

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra managementu

Implementace průmyslu 5.0 v automobilovém odvětví
Bakalářská práce

Autor: Stasis Kandilakis
Studijní obor: Ekonomika a management

Vedoucí práce: prof. Ing. Hana Mohelská, Ph.D.

Hradec Králové

Duben 2024

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 25.4.2024

vlastnoruční podpis

Statis Kandilakis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Haně Mohelské, Ph.D. za metodické vedení, cenné rady a trpělivost při vypracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá konceptem průmyslu 5.0 a s tím souvisejícími aspekty, jako je zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost. Zároveň jsou popsány technologie, které hrají klíčovou roli při implementaci průmyslu 5.0. V teoretické části je využita rešerše vhodné odborné literatury. Hlavním cílem práce je zjistit míru implementace průmyslu 5.0 v automobilovém odvětví. Pro dosažení cíle bylo nezbytné provést porovnání mezi průmyslem 4.0 a 5.0, zhodnotit, jak technologie podporují implementaci páté průmyslové revoluce, a analyzovat, jak vybrané společnosti v automobilovém průmyslu využívají tyto technologie a jakým způsobem je integrují do svých procesů. K vypracování praktické části je provedeno kvalitativní šetření rešerše. Bylo zjištěno, že souvislost mezi technologiemi a charakteristikami průmyslu 5.0 hraje klíčovou roli ke stanovení míry implementace tohoto konceptu. Míra implementace ve společnostech Volkswagen, Toyota a Ford je na velmi podobné úrovni, což dokazuje dynamiku technologického vývoje a kompetitivnost automobilového průmyslu.

Klíčová slova: průmysl 5.0, zaměření na člověka, udržitelnost, odolnost, koboti

Abstract

Title: Implementation of industry 5.0 in the automotive sector

The bachelor thesis addresses the concept of Industry 5.0 and its related aspects, such as human-centric focus, sustainability, and resilience. Additionally, it describes the technologies that play a crucial role in the implementation of Industry 5.0. The theoretical part utilizes a review of relevant academic literature. The main objective of the thesis is to determine the extent of Industry 5.0 implementation in the automotive industry. To achieve this goal, it was necessary to compare Industry 4.0 and 5.0, evaluate how technologies support the implementation of the fifth industrial revolution, and analyze how selected companies in the automotive industry utilize and integrate these technologies into their processes. The practical part involves conducting a qualitative research review. It was found that the relationship between technologies and characteristics of Industry 5.0 plays a pivotal role in determining the degree of implementation of this concept. The implementation level in companies, such as Volkswagen, Toyota, and Ford, is at a very similar level, demonstrating the dynamics of technological development and competitiveness in the automotive industry.

Keywords: Industry 5.0, human-centric, sustainability, resilience, cobots

Obsah

Úvod.....	1
Cíl a metodika práce.....	3
Teoretická část.....	4
1. Historie průmyslových revolucí.....	4
2. Průmysl 5.0.....	6
2.1. Zaměření na člověka (human centric).....	7
2.2. Udržitelnost (sustainability).....	8
2.3. Odolnost (resiliency).....	9
3. Technologie umožňující implementaci Průmyslu 5.0.....	10
3.1. Kolaborativní roboti (koboti).....	11
3.2. Edge computing.....	12
3.3. Internet věcí a internet všeho.....	13
3.4. Digitální dvojčata.....	13
3.5. Big Data.....	14
3.6. Kvantová výpočetní technika.....	14
3.7. Další podpůrné technologie.....	15
Praktická část.....	18
4. Rozdíl mezi průmyslem 4.0 a 5.0.....	18
5. Souvislost charakteristik a technologií průmyslu 5.0.....	18
6. Míra implementace průmyslu 5.0 v automobilovém odvětví.....	21
6.1. Volkswagen.....	21
6.2. Toyota.....	25
6.3. Ford.....	28
7. Shrnutí a diskuse výsledků.....	32
Závěr.....	33

Seznam použité literatury	34
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek.....	47
Zadání práce	48

Úvod

Tato práce se zabývá průmyslem 5.0 a mírou jeho implementace ve vybraných společnostech automobilového odvětví. Pod pojmem implementace se rozumí zavedení a splnění teoretické myšlenky v praxi.

V dnešní době dynamického technologického pokroku se průmyslové odvětví neustále vyvíjí a přizpůsobuje novým trendům a inovacím. Aktuálně získává na významu koncept průmyslu 5.0. Tento koncept představuje další fázi v evoluci průmyslové výroby a klade důraz na úzkou spolupráci mezi lidmi a automatizovanými systémy za účelem dosažení vyšší efektivity, flexibility a personalizace v průmyslových procesech.

Automobilový průmysl, který je známý svou složitou výrobní a dodavatelskou sítí, není výjimkou v tomto trendu. Implementace průmyslu 5.0 v automobilovém průmyslu může mít zásadní dopad na celý výrobní proces, od návrhu a vývoje vozidel až po jejich výrobu, montáž a servis. Vzhledem k narůstající konkurenci, rostoucím požadavkům na ekologickou udržitelnost a dynamickým preferencím zákazníků se automobilový průmysl musí neustále inovovat a hledat nové způsoby, jak efektivněji a flexibilněji reagovat na tyto změny.

Aktuálně se nacházíme v éře čtvrté průmyslové revoluce, známé také jako průmysl 4.0, která přináší propojení informačních technologií a výrobních procesů za účelem dosažení maximální automatizace a minimalizace lidské interakce. Tento přístup je zaměřen především na snižování nákladů a zvyšování zisku, avšak často opomíjí důležité aspekty lidského života, jako jsou sociální a environmentální hodnoty.

Bakalářská práce se zabývá novým konceptem průmyslu 5.0, který se snaží redefinovat dosavadní průmyslovou revoluci. Namísto toho, aby stroje nahrazovaly lidskou práci, průmysl 5.0 klade důraz na to, aby technologie sloužily lidem a pomáhaly jim dosahovat jejich cílů. Tato filozofie zdůrazňuje potřebu zaměřit se na celkovou prosperitu lidstva, a nejen na efektivitu výroby a maximalizaci zisku.

Trendy současné společnosti, jako je ochrana životního prostředí, udržitelnost a sociální odpovědnost, jsou hlavním zaměřením průmyslu 5.0. Tento přístup se zaměřuje na odstranění nedostatků předchozích průmyslových revolucí a přináší novou vizi, která slibuje blahobyt jak pracovníkům, tak celé společnosti. S důrazem na ochranu životního prostředí, udržitelnost a inovativní přístupy k vývoji, průmysl 5.0 otevírá možnost zlepšení kvality života a podporuje trvale udržitelný rozvoj.

Práce v teoretické části pojednává o teoretickém představení průmyslu 5.0 a s tím související charakteristiky, jako jsou zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost. Dále jsou představeny technologie, které umožňují implementaci tohoto konceptu.

V praktické části jsou přiblíženy rozdíly mezi průmyslem 4.0 a 5.0. Poté je popsáno, jakým způsobem technologie podporují implementaci průmyslu 5.0 a na konec je zkoumána míra implementace průmyslu 5.0 ve vybraných společnostech automobilového odvětví.

Cíl a metodika práce

Hlavním cílem bakalářské práce je představit koncept průmyslu 5.0, vymežit technologie umožňující jeho zavedení a zjistit míru implementace ve vybraných společnostech automobilového odvětví.

Ke zpracování teoretické části bakalářské práce byla využita literární rešerše vhodné odborné literatury. Na danou problematiku je nahlíženo z více pohledů a zdrojů. V teoretické části je představen koncept průmyslu 5.0, a s tím související pojmy: zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost. Dále jsou přiblíženy technologie umožňující implementaci průmyslu 5.0.

K dosažení cílů této práce jsou stanoveny tři výzkumné otázky (VO):

- VO1: Jaký je rozdíl mezi průmyslem 4.0 a 5.0?
- VO2: Jak technologie umožňují implementaci průmyslu 5.0?
- VO3: Jaké a jakým způsobem využívají technologie průmyslu 5.0 vybrané společnosti automobilového odvětví?

Ke zpracování praktické části práce bylo využito kvalitativní šetření rešerše odborné literatury a veřejně dostupných zdrojů. U VO1 je provedena srovnávací analýza průmyslu 4.0 a 5.0 na základě jejich definujících rysů a technologií s cílem identifikovat jejich rozdíly. Na základě teoretického pojetí charakteristik a technologií průmyslu 5.0 je provedena párová analýza a syntéza s cílem identifikovat jejich vzájemné souvislosti a odpovědět na VO2. Vzájemné souvislosti jsou pak pro přehlednost uvedeny ve formě tabulky (Tabulka 2). Nakonec byla využita rešerše veřejně dostupných zdrojů k zodpovězení VO3 s cílem zjistit, jaká je míra implementace průmyslu 5.0 ve třech největších automobilových společnostech na světě na základě jejich výnosů za rok 2023.

Míra implementace se hodnotila pomocí tabulky (Tabulky 2) na základě vytvořeného bodového systému: Daná automobilová společnost získala bod za technologii pouze v případě, že ji využívá v souladu s aspoň jednou ze tří charakteristik průmyslu 5.0. Pokud využití technologie společností podporuje více charakteristik, může získat až tři body. Bylo identifikováno deset technologií a tři charakteristiky průmyslu 5.0, což znamená, že automobilová společnost může získat až 30 bodů na základě tohoto bodového systému.

Teoretická část

1. Historie průmyslových revolucí

První průmyslová revoluce (průmysl 1.0), jejíž počátek se považuje 18. století, začala ve Velké Británii a rychle se rozšířila po celém světě. Britské postavení, jakožto nejsilnější obchodní země na světě, pomohlo k prudkému rozvoji obchodu, podnikání a technologií, což hrálo klíčovou roli k nastartování průmyslové revoluce.

Tato éra přinesla výrazné změny v každodenním životě a nastartovala nebývalý růst průměrného příjmu a počtu obyvatel. Lidé se předtím se věnovali hlavně zemědělství na venkově, avšak s příchodem průmyslové revoluce se začali stěhovat do měst za prací v továrnách. Nástup průmyslové revoluce je rozhodujícím momentem v dějinách lidstva, který má podobný význam jako domestikace zvířat a rostlin (Groumos, 2021).

Toto období zaznamenalo významný přechod od ruční výroby k mechanizovaným procesům, podpořený rozsáhlým zavedením parních strojů a zřízením mechanizovaných továren. Parní stroj byl sice znám již mnoho let dříve, ale až jeho použití pro průmyslové účely znamenalo zásadní průlom ve zvýšení produktivity.

Např. mechanizovaná výroba nití oproti ruční výrobě dokázala dosáhnout osminásobného objemu produkce za stejný časový úsek. Průmyslová revoluce podpořila především rozvoj odvětví, jako je textilní výroba, železářství, parní energetika, chemický průmysl, sklářství, zemědělství, výroba papíru atd. Parní stroj nepomohl pouze ke zvýšení efektivity výroby skrze mechanizaci, ale také s příchodem parní lokomotivy se výrazně urychlila doprava osob i zboží (Vinitha et al., 2020).

Druhá průmyslová revoluce (průmysl 2.0), probíhající mezi lety 1870 a 1914, byla obdobím významných inovací a technologického pokroku. Bylo to období, kdy se uskutečnilo mnoho průkopnických vynálezů, které přispěly ke zvýšení produktivity a kvality výrobků (Mokyr & Strotz, 1998).

Průmyslová revoluce se dala do pohybu díky spojení tří hlavních myšlenkových proudů. Za prvé, účetnictví se z pouhého historického záznamu vyvinulo v aplikovanou vědu, která pomáhala podnikatelským rozhodnutím pomocí technik, jako je nákladové účetnictví a analýza zisku. Za druhé, inženýři začali uplatňovat vědecké principy ke zvýšení bezpečnosti a efektivity výrobních procesů, a nahradili metody pokus-omyl přesnými výpočty. Za třetí, zvýšená konkurence mezi výrobcí spolu s klesajícími

cenami vedla k zavádění technik hromadné výroby a zefektivnění výrobních procesů s cílem snížit výrobní náklady (Jevons, 1931).

Mezi klíčové inovace formující průmysl 2.0 patří elektrická energie, spalovací motor, plyn, telegraf, telefon, výrazně vylepšený systém železničních tratí, chemická hnojiva, vodovodní a kanalizační systém. Technologický pokrok druhé průmyslové revoluce urychlil dopravu, komunikaci a výrobu. Průmysl a technologie pokročily v různých odvětvích, včetně výroby železa a oceli, elektrifikace, železničních systémů, výroby papíru, chemického zpracování, rafinace ropy, výroby gumy, námořní techniky, automobilů, výroby hnojiv, telekomunikací, motorů a turbín (Groumpos, 2021; Mokyr & Strotz, 1998; Vinitha et al., 2020).

Velmi výrazný pokrok zaznamenal hlavně automobilový průmysl. Henry Ford využil nové technologie a zmodernizoval proces výroby automobilů. Dříve se na jedné stanici montoval celý automobil, poté se vozidla začala vyrábět postupně na pásové lince, což vedlo k výrazně rychlejší a nákladově efektivnější výrobě (Antoney & Aughusty, 2019; Groumpos, 2021).

Třetí průmyslová revoluce (průmysl 3.0) začala v druhé polovině 20. století krátce po druhé světové válce a přinesla automatizaci výroby s pomocí počítačů. Příkladem jsou roboti provádějící naprogramované sekvence a samostatně přistávající letadla bez asistence pilota (Sharma & Singh, 2020).

Toto období revoluce v automatizaci, zahrnovalo využívání polovodičů, osobních počítačů a internetu. Automatizace řízená elektronikou a počítači, zvýšila spolehlivost a účinnost průmyslových systémů v různých odvětvích, jako je výroba, doprava atd. Výroba byla výrazně rychlejší, efektivnější a precizní, což vedlo ke globalizaci dodavatelského řetězce (Vinitha et al., 2019; Zakoldaev et al., 2019).

Čtvrtá průmyslová revoluce (průmysl 4.0) byla poprvé zmíněna v roce 2011 v Německu jako součást vládní iniciativy na podporu pokročilých výrobních technologií. Koncept průmyslu 4.0 se snaží vytvořit inteligentní továrny, které využívají kyberneticko-fyzické systémy k optimalizaci výroby, zvýšení efektivity a umožnění větší flexibility a přizpůsobení. Spojují se zde digitální a fyzické technologie, jako např. robotika, AI, výpočetní technika, cloud computing, internet věcí, big data a mnoho dalších pokročilých technologií (Echchakoui & Barka, 2020). Někteří autoři (Bragança et al., 2019; Sherwani et al., 2020; Weiss et al., 2021) dokonce zde uvádí technologii kobotů, která je podle jiných autorů (Maddikunta et al., 2022; Nahavandi, 2019; Elangovan, 2021) charakteristická spíše pro průmysl 5.0.

Inteligentní továrna zahrnuje komplexní integraci senzorů a autonomních systémů do výrobních procesů. Využitím chytrých technologií a výpočetní techniky vznikají inteligentní továrny jako autonomní celky schopné samoregulace a řízení (Lucke et al., 2008).

Kyberneticko-fyzické systémy prolínají fyzický a digitální svět na takovou úroveň, že je nelze od sebe lehce rozeznat. Příkladem je oblast preventivní údržby, kde parametry strojů (napětí, provozní doba atd.), které jsou příčinou opotřebení, jsou zaznamenávány digitálně. Skutečný stav systému vyplývá z fyzického objektu a jeho digitálních procesních parametrů.

Současné výrobní systémy zažívají posun směrem k decentralizaci, který je doprovázen rozpadem tradiční výrobní hierarchie a přechodem k decentralizované autonomní organizaci (Lasi et al., 2014).

Lu (2017) uvádí hlavní rysy průmyslu 4.0: digitalizace, automatizace, automatická komunikace a výměna dat s cílem dosáhnout vyšší provozní efektivity, produktivity a automatizace s minimální interakcí s člověkem.

Průmyslová revoluce	První	Druhá	Třetí	Čtvrtá
Rok	1740	1840	1950	2011
Charakteristika	Mechanizace	Elektrifikace	Automatizace	Digitalizace
Prostředek	Parní stroj	Elektrická energie, spalovací motor	Moderní počítače, pokročilé výrobní stroje	Počítače, technologie IoT, cloud, AI

Tabulka 1: Shrnutí průmyslových revolucí, zdroj: autor

2. Průmysl 5.0

Koncept průmyslu 5.0 je nastávajícím trendem v průmyslovém prostředí. Toto téma je velmi nové a neprobádané, a můžeme jej definovat hned několika způsoby. Průmysl 5.0 je spolupráce člověka s kolaborativními roboty (koboty), která umožní výrobu produktů na míru jednotlivých zákazníků s robotickou rychlostí a přesností, ale také s lidskou kreativitou (Østergaard, 2018).

Pátou průmyslovou revoluci Navahandi (2019) definuje jako návrat lidské práce zpět do továren, kde lidé a stroje budou spolupracovat, aby se nadále využívala lidská

inteligence a kreativita. Synergie mezi lidmi a autonomními stroji je klíčem k blahobytu pracovníka, k efektivnějším výrobním procesům, a ke snížení plýtvání a nákladů.

Podle definice Evropské komise prioritou průmyslu 5.0 je blahobyt pracovníků ve středu fabrik, a tím dosáhnout sociální cíle za účelem prosperujícího a udržitelného vývoje společnosti. Dále uvádí tři hlavní charakteristiky průmyslu 5.0: human-centricity (orientace na člověka), sustainability (udržitelnost) a resiliency (odolnost). Tyto tři charakteristiky spolu úzce souvisí a jsou navzájem propojené (European Commission, 2021).

2.1. Zaměření na člověka (human centric)

Z definic průmyslu 5.0 od různých autorů je patrné, že zaměření na člověka je stěžejní myšlenka tohoto konceptu. Orientace na člověka v průmyslovém prostředí znamená tvorbu inkluzivního pracoviště, ochranu zdraví zaměstnanců, a zavedení lidské práce jako hlavní a nejdůležitější prvek výroby (Ivanov, 2023).

Výrobní systém zaměřený na člověka se vyznačuje tím, že pracovník bude mít kontrolu nad výrobním procesem a technologií, čímž se podpoří využití lidských kompetencí. Spolupráce člověka s roboty zaručí navrácení lidí do továren bez narušení preciznosti a rychlosti výroby (Romero et al., 2016).

Zaměření na člověka ve výrobních systémech staví pracovníky do středu výrobního procesu, zohledňují jeho schopnosti, přání a potřeby. Dále očekává, že lidé budou mít kontrolu nad pracovním procesem a zároveň jim zajistí zdravé a interaktivní pracovní prostředí. Také zdůrazňuje nutnost bezpečného prostředí a vytvoření důvěry pracovníka k robotům (Rožanec et al., 2022).

Průmyslové prostředí s orientací na člověka May et al. (2015) klasifikují do tří skupin: pracovník, továrna, externí souvislosti. Za prvé, na pracovníka se nahlíží z pohledu antropometrie (rozměrů člověka) pro zajištění správné ergonomie na pracovišti. Dále na něj nahlíží z pohledu jeho znalostí, fyzických a kognitivních dovedností za účelem ideální alokace práce.

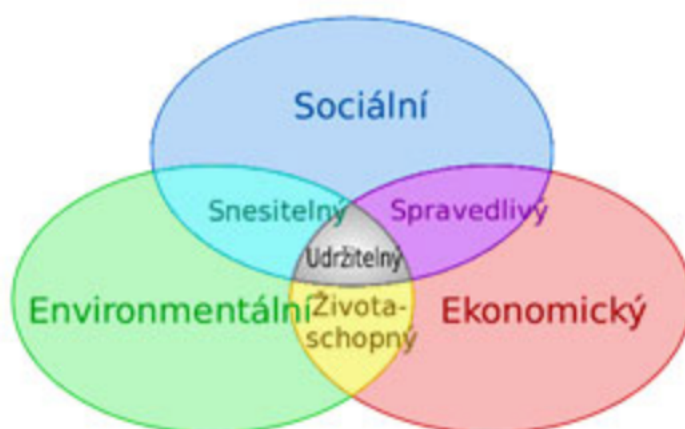
Za druhé, berou v potaz dobré pracovní prostředí, pracovníkovi osobní potřeby, jeho zdraví, bezpečí, pracovní námahu a spravedlivé odměny. Nástroje, roboti, výrobní procesy a organizační struktura továrny jsou optimalizovány dle potřeb pracovníka.

Za třetí, externí souvislosti v tomto kontextu je ekonomické, sociální a environmentální prostředí. Zákazníci, dodavatelé a distributoři musí splňovat očekávání firmy, aby se mohla naplnit strategie s orientací na člověka. Sociální aspekt

zohledňuje osobní potřeby pracovníků pro zlepšení kvality jejich života: fyzická aktivita, zdravá výživa, volný čas, vzdělávací centra, podpora rodiny aj. Dále se továrna musí snažit o snížení znečištění, hluku a tvorbu zelených ploch za účelem zajištění dobrého, zdravého a příjemného životního prostředí pro celou společnost.

2.2. Udržitelnost (sustainability)

Udržitelnost se často spojuje hlavně s životním prostředím. Avšak udržitelnost v kontextu Průmyslu 5.0 má kromě environmentální udržitelnosti, možnost realizovat i ekonomickou a sociální udržitelnost (Kamble et al., 2018). Sociální, environmentální a ekonomický pilíř společnosti spolu úzce souvisí a nelze jeden z nich upřednostnit na úkor ostatních (Ministerstvo životního prostředí, n.d.).



Obrázek 1: Propojenost tří základních pilířů udržitelnosti, zdroj: https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny_rozvoj

Ekonomické udržitelnosti je dosaženo pomocí pokročilé technologie a analýzy provozních dat, která pomáhá identifikovat nedostatky ve výrobě a odstranit je dříve, než k problému dojde. Cílem je zvýšení efektivity, hospodárnosti a předcházení provozních problémů, snížení zmetkovitosti a zkrácení dodacích lhůt (Parida et al., 2019).

Environmentální udržitelnost je odpovědné a vyvážené hospodaření s přírodními zdroji s cílem zajistit dlouhodobou životaschopnost ekosystému a zároveň minimalizovat negativní dopady na životní prostředí. Zahrnuje uspokojování potřeb současnosti, aniž by byla ohrožena schopnost budoucích generací uspokojovat své vlastní potřeby (McKinnon, 2010). Mezi klíčové aspekty patří odpovědné využívání přírodních zdrojů, využití obnovitelných zdrojů energie, redukce znečišťování, emisí skleníkových plynů a redukce odpadu (Škrdlíková, 2019).

Sociální udržitelnost se týká dlouhodobého blahobytu jednotlivců a komunit ve společnosti. Zahrnuje různé aspekty, jako je sociální spravedlnost, inkluze, rozvoj dovedností, kvalita života, zdraví a bezpečnost (Vallance et al., 2011). V dnešní technologicky rychle se rozvíjející společnosti je nutné školení pracovníků, aby udrželi krok s dynamickým rozvojem. Dále je důležité etické, opatrné a vyvážené využívání umělé inteligence a robotů, za účelem zachování dostupnosti a rozmanitosti pracovních míst pro lidi. S cloudovými úložišti a rostoucí konektivitou je nezbytné mít dostatečnou ochranu osobních údajů a dat (Grybauskas et al., 2022).

2.3. Odolnost (resiliency)

„Odolnost poskytuje schopnost rychle se zotavit ze změn, potíží nebo neštěstí. Je spojena s pružností, vzletností a přizpůsobivostí“ (Pulley & Wakefield, 2001, 2). Woods (2005) popisuje odolnost jako schopnost se přizpůsobit nebo absorbovat narušení, poruchy a změny. Odolnost podobně vysvětlují i Hollnagel et al. (2006), dále doplňují a zdůrazňují roli předvídání poruch a negativních událostí v odolném průmyslovém prostředí. Mezi hlavní aspekty odolného prostředí patří diversifikace, flexibilita, inovace, finanční stabilita, risk management a připravenost na krizové situace.

Poptávka, potřeby a nákupní chování spotřebitelů je velmi různorodé a neustále se mění. Pro podniky je velmi obtížné oslovit všechny zákazníky na trhu. Proto vznikla potřeba rozdělit trhy na segmenty podle mnoha faktorů, jako jsou demografické, socioekonomické, kulturní a psychografické. Pro každý segment je potřeba použít jiné marketingové strategie. Jednou z těchto strategií je diverzifikace výrobků (Armstrong et al., 2014).

Podniky mohou diverzifikovat své produkty směrem dolů, nahoru nebo oběma směry. Rozšířením směrem dolů produkty s nízkou cenou a kvalitou mohou oslovit zákazníky, jejichž kupní síla je omezená. Při rozšíření směrem nahoru může podnik produkovat výrobky, které oslovují skupinu s vysokými příjmy. Podniky se mohou rozhodnout diverzifikovat své produkty oběma směry (Bilgili et al., 2016).

Častým způsobem diverzifikace výrobních firem je rozšíření výrobního programu. Cílem této strategie je rozšíření nabízených produktů za účelem snížení rizika. V tomto kontextu riziko je pokles poptávky po určitém produktu, které kompenzuje zvýšení poptávky po jiném produktu.

Diverzifikace může být vertikální či horizontální. Při vertikální diverzifikaci výroby může podnik nákup komponentů zaměnit za vlastní výrobu. Dále může hotové výrobky

prodávat ve vlastní prodejně a neprodávat je skrze cizí prodejní síť. Snižuje se tak závislost na dodavatelích, distributorech či dealerech. Při horizontální diverzifikaci podnik rozšiřuje svou nabídku o produkty, které souvisí se stávající nabídkou a vychází z výrobního know-how firmy nebo podnik může také rozšiřovat své produktové řady i do nepříbuzných oborů.

Dále se často uplatňuje diverzifikace geografická, kde firma expanduje do zemí s lepšími podmínkami pro podnikání. Také se uplatňuje diverzifikace dodavatelů, kde dodávky strategických surovin jsou rozloženy na více dodavatelů (Smejkal, 2010).

Důležitým aspektem odolnosti průmyslu je také flexibilita. Pružnost výroby je schopnost přizpůsobit se měnícím okolnostem či nestabilitě způsobené prostředím (Gupta & Goyal, 1989). Rozděluje se na flexibilitu strojů, procesů, pracovních sil a manipulace materiálu. Flexibilita strojů se týká jejich schopnosti provádět rozmanité operace ve výrobním procesu, jejich přemístění ve výrobním systému a možnosti konfigurace jejich výrobních parametrů, nastavení a programů za účelem výroby jiných produktů či optimalizace výroby.

Flexibilita procesů znamená schopnost měnit pořadí operací potřebných k výrobě každého výrobku v průběhu výrobního procesu. Tato pružnost ovlivňuje strukturu výrobků a jejich schopnost přizpůsobit se různým požadavkům.

Flexibilita pracovní síly se týká rozsahu operací, které dokáže pracovník splnit v rámci odpovídajících časů zpracování, a schopnosti pracovníků být přemísťován ve výrobním systému. Dále obnáší rychlé přizpůsobení počtu a kvalifikace pracovníků, zahrnující přeškolení zaměstnanců nebo využití dočasných pracovníků.

Flexibilita manipulace s materiálem je důležitá pro přepravu komponentů mezi zdroji výrobního systému. Tato forma flexibility je klíčová pro efektivní využití zdrojů a optimalizaci výrobního procesu. Dalším aspektem je pružnost při výběru materiálu, což znamená schopnost pracovat s různými materiály bez velkých změn ve výrobním procesu (Francas et al., 2011; Weckenborg et al., 2023).

3. Technologie umožňující implementaci Průmyslu 5.0

Pro implementaci Průmyslu 5.0 je nutné splnit kritéria a požadavky orientace na člověka, udržitelnosti a odolnosti. V dnešní době je několik prostředků, které mohou podpořit dosažení cílů Průmyslu 5.0. Mezi takové prostředky patří např. technologie edge computing, digitální dvojčata, kolaborativní roboti (koboti), internet věcí, internet všeho, Big Data, blockchain a síť 6G (Maddikunta et al., 2022).

Jako další podpůrné technologie Globakhloo et al. (2023) udávají umělou inteligenci, technologie interakce s lidmi a rozpoznávání, rozšířená, virtuální a smíšená realita, průmyslová chytrá nositelná zařízení, inteligentní systém správy energie a inteligentní správa životního cyklu produktu.

3.1. Kolaborativní roboti (koboti)

V kontextu Průmyslu 5.0 je technologie kolaborativních robotů často skloňovaná, avšak myšlenka kobotů je starší než myšlenka páté průmyslové revoluce. Prvního kobota vynalezli v roce 1996 J. Edward Colgate a Michael Peshkin.

Ve své práci Colgate et al. (1996) definují kobota, jako robotické zařízení, které pracuje v blízkosti lidského pracovníka bez fyzických bezpečnostních bariér ve výrobní hale. Kobot bezpečně funguje v bezprostřední blízkosti člověka díky nastavení virtuálních povrchů, které lze využít k omezení a vedení pohybu. Avšak první koboti jsou ve své podstatě pasivní a pouze umožňují bezpečně sdílet s lidmi pracovní prostor.

Analýza 25 německých firem využívající koboty poukazuje na to, že aktuálně lidé a koboti pouze vedle sebe pracují. Sdílejí společný prostor a současně plní své vlastní úkoly, ale nepracují současně na stejném výrobku. Dalším vývojem kolaborativní robotiky je kolaborativní aplikace, což znamená, že člověk a kobot pracují současně na stejném výrobku. Kolaborativní aplikace kobotů v době výzkumu prý prakticky neexistuje (Bauer et al., 2016).

Navahandi (2019) kolaborativní aplikaci kobotů popisuje jako aktivní spolupráci kobota a člověka na stejném výrobku. Na praktickém příkladu vysvětluje, že kobot zná lidský záměr a má schopnost pochopit, kdy lidský pracovník potřebuje pomoc. Takový kobot potřebuje kameru, pomocí které sleduje pracovní proces. Snímaný obraz poté analyzuje a zpracovává počítač. Díky umělé inteligenci se učí vzory, dokáže vyvodit lidský záměr a umí na něj intuitivně reagovat. Klíčovým senzorem k pochopení lidského záměru je funkční spektroskopie v blízké infračervené oblasti (fNIRS). Pomocí senzoru fNIRS kobot získá pokyny a informace bezdrátově přímo z lidského mozku. Tyto pokročilé senzory zaručí bezproblémovou a hladkou spolupráci lidí a kobotů. Avšak Navahandi dodává, že s dnešní úrovní technologie není kolaborativní aplikace kobotů dosažitelná.

Roboti jsou ideální na výrobní procesy ve velkém měřítku, ale chybí jim kreativita a kritické myšlení. Koboti zajistí rychlost, preciznost a přesnost ve výrobním procesu. Člověk naopak výrobnímu procesu dodá personalizaci výrobků, kreativitu a kritické

myšlení. Spolupráce kobotů a lidí zvýší odolnost, flexibilitu, produktivitu a efektivitu výroby a také zlepší výrobky ve formě vyšší personalizace (Aheleroff et al., 2022).

Další výhodou kobotů je ulehčení práce lidským pracovníkům díky lepší ergonomii či plnění monotónní, nudné nebo namáhavé práce (Kildal et al., 2018).

Implementace kobotů může být lidskými pracovníky vnímána jako hrozba pro jejich pracovní pozice. Avšak zakomponování kobotů do výroby vytvoří nové pracovní pozice, které jsou méně fyzicky náročné. Aby byla technologie kobotů pozitivně vnímaná pracovníky je nutné, aby pracovníci byli zapojeni v raných fázích plánování o implementaci kobotů. V této fázi je potřeba pracovníky školit, trénovat a seznámit s touto technologií (Simões et al., 2020).

Navahandi (2019) s myšlenkou nových pracovních míst díky kobotům souhlasí a tvrdí, že vznikne mnoho pracovních míst v oblasti inteligentních systémů, programování kobotů a umělé inteligence, školení a údržby. Dále doplňuje, že po implementaci kobotů lidé nebudou muset dělat monotónní práci, což může podpořit kreativitu ve formě inovativního využití kobotů v pracovním procesu.

Koboti jsou zároveň velmi flexibilní díky jejich lehké programovatelnosti, a tak mají možnost být pružně užíváni v různých částech výrobního procesu (Giberti, et al., 2022).

3.2. Edge computing

Edge computing lze popsat jako rozšíření cloud computingu (cloudu) na „okraj“ internetové sítě. V klasickém cloudu jsou data odesílána prostřednictvím sítě do vzdálených centralizovaných datových serverů pro zpracování. Jedná se např. o cloudové úložiště a vzdálenou výpočetní techniku. (Mell & Grance, 2011).

Avšak komunikací skrze cloud dochází k nemalému zpoždění dat. Edge computing přináší tyto zdroje na „okraj“ sítě, blíže k místu, kde jsou potřebné. Tímto se výrazně snižuje latence proudících dat (Sabella, 2021).

Edge computing dokáže zpracovávat data lokálně, bez nutnosti odesílání dat na veřejný cloud server, což snižuje riziko napadení soukromých dat. V prostředí průmyslové výroby edge computing dovolí výrazné snížení latence dat, zvýšenou ochranu dat a efektivní monitorování procesu výroby. Edge computing dále umožňuje preventivní analýzu, která dokáže identifikovat potenciální poruchu stroje či nutnost předčasné údržby (Sánchez et al., 2022).

Dále Fraga-Lamas et al. (2022) uvádí edge computing jako klíčový faktor umožňující využití technologie internetu věcí a internetu všeho.

3.3. Internet věcí a internet všeho

Internet věcí (Internet of Things – IoT) představuje koncept propojení fyzických objektů a zařízení pomocí sítě, tak aby dokázaly vzájemně komunikovat a vyměňovat data. Fyzické objekty jsou vybaveny senzory a čidly, které umožňují sběr dat.

Dále využívají komunikační protokoly, např. internet, RFID, Bluetooth, ke vzájemnému propojení. Získaná data jsou následně odeslána na místní server ke zpracování (Burian, 2014).

Zpracované informace lze díky technologii edge computingu sledovat v reálném čase. Tyto informace lze využít k preventivní analýze, monitorování a optimalizaci výrobního procesu, což vede ke snížení provozních nákladů (Adel, 2022).

Internet všeho (Internet of Everything – IoE) ve zkratce můžeme popsat jako rozšíření internetu věcí. Internet všeho nezahrnuje pouze propojení fyzických zařízení, ale také vytváří inteligentní ekosystém, kam integruje lidi, informace i procesy (Maddikunta et al., 2022).

Lidé jsou na tento ekosystém napojeni díky chytrým nositelným zařízením. Tato zařízení vypadají jako předměty každodenní potřeby, např. brýle, hodinky, náramky či oblečení. Takové zařízení má senzory, které dokážou snímat tělesnou teplotu, aktuální polohu, pohyb a biometrické hodnoty. Tyto údaje lze využít k zajištění pohody pracovníků a k prevenci nehod. Chytrá nositelná zařízení lze také využít k instantní komunikaci mezi pracovníky a chytrými stroji (DeNardis, 2020).

Ekosystém internetu všeho dokáže v reálném čase také získávat data o počasí, satelitní snímky, data o dopravě atd. Veškerá shromážděná data lze využít k optimalizaci spotřeby energie, výroby, logistiky a dalších záležitostí průmyslu. Využití internetu všeho je velmi široké. Na chytrý ekosystém lze napojit prakticky cokoli a shromážděná data použít k čemukoliv (Snyder & Byrd, 2017).

3.4. Digitální dvojčata

Digitální dvojče (Digital Twin – DT) je digitální replika reálného objektu, výrobního systému, produktu, stroje či dokonce celých měst, která je v reálném čase aktualizována informacemi ze svého reálného protějšku (Lu et al., 2020).

Analýza a zkoumání digitálního dvojčete dokáže odhalit slabiny fyzického protějšku a předcházet problémům v reálném světě. Digitální dvojče umí překonat technické problémy, tak že je rychleji identifikuje, určí položky, které lze rekonfigurovat nebo které je nutné obnovit na základě jejich produktivity, předpovídá

budoucí poruchy a zabraňuje finančním ztrátám. To přináší velký přínos ve formě snížení nákladů na údržbu a zlepšení výkonnosti výrobního systému (Jiang et al., 2021).

3.5. Big Data

Termín Big Data (velká data) představuje velmi rozsáhlý a různorodý soubor informací shromážděných ze všech typů zdrojů. Shromážděná data je obtížné analyzovat a zpracovávat vzhledem ke složitosti správy těchto druhů informací, rychlosti růstu databází a zdrojů, které informace produkují (Ortiz, 2020).

Big data získává informace z mobilních telefonů, sociálních sítí, IoT, IoE, chytrých strojů, call center atd. Big Data umožňuje shromažďovat velké množství dat k nalezení užitečných informací. Analýza velkých dat zahrnuje zpracování a analýzu velkých souborů dat s cílem odhalit vzory, trendy, korelace a další užitečné informace, které mohou napomoci rozhodování a strategickému plánování.

Avšak větší množství dat hned neznamená, že se jedná o užitečná data. Právě z tohoto důvodu se na data pohlíží z pohledu množství, rychlosti a různorodosti. Technologie umělé inteligence a machine learningu dokážou tyto data zpracovávat, dále dokážou rozpoznat a eliminovat data neúžitečná. Tímto způsobem umí produkovat relevantní, užitečné a hodnotné informace (Tsai et al., 2015).

Analýza velkých dat lze využít k lepšímu pochopení chování spotřebitelů za účelem optimálního nastavení cen, zjištění požadavků na výrobek a zlepšení designu výrobku. Dále z velkých dat lze zjistit (např. ze zdrojů IoT a IoE) zjistit slabiny a výkonnost výrobního procesu za účelem jeho optimalizace a zvýšení kvality produkce. V neposlední řadě lze z velkých dat zjistit minulá a aktuální spotřeba energie ve výrobním procesu. Tyto údaje nabízejí velký potenciál pro snížení spotřeby energie a zlepšení rozhodování v oblasti řízení energetických zdrojů (Majeed et al., 2021).

3.6. Kvantová výpočetní technika

Kvantový počítač je jako klasický počítač, ale s otevřenější logickou reprezentací. Má 0 (vypnuto), 1 (zapnuto) a obojí současně, označované jako superpoziční stav, informace je uložena ve formě qubitů. Účelem takového vynálezu je řešit složité problémy, které dnešní nejvýkonnější klasické superpočítače nedokážou vyřešit (Huang et al., 2020).

Kvantové počítače mají potenciál se využít v různých oblastech průmyslu. Jednou z těchto oblastí je optimalizace procesů, kde kvantové algoritmy mohou přinést

efektivnější řešení pro složité průmyslové procesy a řízení dodavatelských řetězců. Další možností je využití kvantových počítačů pro simulace a modelování průmyslových systémů.

Díky těmto počítačům lze vytvářet přesnější simulace a modely, což pomáhá lépe porozumět chování materiálů, zařízení nebo celých výrobních procesů. V průmyslu 5.0 je bezpečnost klíčová, a zde mohou kvantové počítače ovlivnit oblast kryptografie. Jsou schopny prolomit některé současné šifrovací metody, což pak vyžaduje vývoj nových, kvanty odolných šifrovacích technologií.

Další oblastí, ve které se kvantové počítače mohou uplatnit, je optimalizace logistiky. V tomto ohledu by mohly poskytnout efektivnější plánovací algoritmy pro distribuci a logistiku v rámci řízení dodavatelského řetězce. Nakonec lze kvantové počítače také využít pro umělou inteligenci a strojové učení, což by mohlo přinést rychlejší analýzu dat (Burkacky et al., 2020).

3.7. Další podpůrné technologie

6G hraje kritickou roli v implementaci technologií průmyslu 5.0 (IoT, IoE, DT, edge computing, koboti, rozšířená realita), jelikož aktuální sítě 4G a 5G nedokážou zaručit efektivní fungování těchto technologií (Chowdhury et al., 2020; De Alwis et al., 2021).

Síť 6G poskytuje rozšířené možnosti sítě 5G, jako je nižší latence (v milisekundách), vyšší rychlost přenosu dat (v terabajtech za sekundu), vyšší energetická účinnost a spolehlivost sítě. Výhody sítě 6G zaručí hladké, efektivní a spolehlivé fungování technologií průmyslu 5.0 (Taneja et al., 2023).

Blockchain je síť vzájemně propojených bloků, které bezpečně ukládají data decentralizovaným způsobem odolným proti kybernetickým útokům. V průmyslovém prostředí blockchain nabízí decentralizaci a pomáhá řešit problémy spojené s centrálně řízenými průmyslovými procesy.

Bloky jsou seskupením transakcí či informací v blockchainu, které mají časový záznam a tvoří chronologickou řadu. Každý blok se uzavírá každých 10 minut, a má svůj unikátní identifikátor, nazývaný hash, který je výsledkem matematické funkce aplikované na obsah bloku. Před přidáním bloku do blockchainu musí síť počítačů dosáhnout shody o jeho platnosti pomocí matematických funkcí. Schválený a potvrzený blok se přidá do blockchainu, který navazuje na poslední blok v řetězci obsahující odkaz na předchozí blok. Tím se vytváří trvalý a neměnný řetězec transakcí.

Jakýkoli pokus o změnu obsahu bloku by narušil hash přidruženého bloku, čímž by se tento blok stal neplatným spolu s navázaným hashem (Sarmah, 2018).

Blockchain v průmyslu 5.0 má potenciál změnit finanční transakce, jak je známe. Dosud spoléháme na třetí strany, které potvrzují obchody, zabraňují duplicitám transakcí, registrují a ověřují finanční aktivity a působí jako zástupci klientů nebo společníků. S příchodem blockchainu však můžeme nahradit dvě z těchto rolí. Blockchain zabraňuje duplicitám transakcí a bezpečně registruje a ověřuje finanční aktivity. To znamená, že klienti nemohou provést více plateb přesahujících jejich závazky. Navíc blockchain slouží jako neměnný registr finančních transakcí a usnadňuje kolektivní ověřování (Al-Jaroodi & Mohamed, 2019; Leng et al., 2023).

Blockchain lze také využít k podpoře procesů logistiky spojených se sledováním a správou pohybu surovin, výrobků a služeb mezi výrobcí a spotřebiteli. Blockchain umožňuje efektivní a bezpečné plánování, rozvrhování, koordinaci, monitorování a ověřování logistických operací. Distribuované účetní knihy blockchainu slouží k ověřování a ukládání logistických transakcí, což snižuje čas, náklady a lidské chyby spojené s jejich správou. Integrovaní inteligentních smluv dále zjednodušuje dohody mezi společnostmi a umožňuje rychlejší a nákladově efektivnější tvorbu smluv (Li et al., 2022).

Blockchain také umožňuje efektivní a bezpečné sdílení výrobního know-how. Cloud a edge computing mohou také využívat blockchain pro bezpečné a decentralizované architektury a sdílení znalostí. Blockchain také pomáhá v boji proti padělání a ochraně autorských práv v oblasti aditivní výroby (3D tisk), zajišťuje pravost a kvalitu vytištěných dílů. Blockchain umožňuje bezpečnou výměnu a sdílení výrobních informací mezi výrobcí, což přináší bezpečnost, sledování a kontrolu dat (Al-Jaroodi & Mohamed, 2019).

Rozšířená realita (AR) je definována jako pohled na fyzické prostředí reálného světa v reálném čase, který je obohacen přidáním virtuálních informací vytvořených počítačem. Tato technologie je interaktivní, využívá 3D zobrazení a spojuje reálné a virtuální objekty pomocí chytrých brýlí, telefonu či tabletu (Carmigniani et al., 2011).

Technologie AR lze integrovat do výrobního prostředí pro úkoly jako je montáž, údržba a kontrola. AR systém technikům na pracovišti poskytuje interaktivního průvodce v reálném čase pro diagnostiku a opravy zařízení, snižující dobu učení a mentální úsilí. Dokonce i nezkušení jednotlivci mohou provádět údržbu pomocí aplikací AR na mobilních zařízeních, následováním 2D nebo 3D instrukcí. AR

zjednodušuje operace poskytováním pracovníkům relevantní informace v reálném čase, minimalizuje mentální úsilí s animovanými nebo statickými 2D či 3D informacemi, které vedou postupy, nástroje a úkoly. V oblasti školení a vzdělávání může AR umožnit interaktivní výuku přímo v reálném pracovním prostředí, což může zlepšit dovednosti pracovníků a zkrátit dobu potřebnou k zaškolení nových zaměstnanců (Boboc, et al., 2020; Masoni et al., 2017).

Virtuální realita (VR) je sofistikované rozhraní mezi člověkem a počítačem, které napodobuje realistické prostředí. Uživatelé mají možnost pohybovat se ve virtuálním světě, pozorovat ho z různých perspektiv, interagovat s ním, sahat do něj, uchopovat předměty, a dokonce si prostředí upravovat podle svých představ (Zheng et al., 1998). Hlavní rozdíl mezi AR a VR je, že VR uživatele kompletně vtáhne do syntetického světa bez jakékoli interakce s reálným fyzickým světem (Carmigniani, et al., 2011).

VR dokáže nahradit fyzické makety či prototypy za virtuální, což snižuje náklady a zjednodušuje proces výzkumu. Rovněž umožňuje úpravy prototypů v reálném čase a eliminuje chyby v raných fázích výzkumu. VR lze ve výrobním procesu využít pro zlepšení rozhodování, snížení nákladů a zlepšení opatření proti rizikům ve výrobních procesech. VR dále dokáže simulovat pracovní prostředí a zvládá virtuální montáž a demontáž virtuálních objektů, což umožňuje evaluaci blahobytu pracovníků, zdravotních a bezpečnostních opatření. VR zrychluje implementaci nových designů a nástrojů, zlepšuje kvalitu produktů a snižuje čas na vývoj nových produktů. Školení ve VR se ukazuje jako účinnější než tradiční metody učení, zlepšuje plnění úkolů a retenci informací (Lawson et al., 2016).

Smíšená realita (MR) pracovníkům umožňuje interakci s fyzickým a virtuálním prostředím zároveň a spojuje prvky VR a AR (Pan et al., 2006).

MR je slibná technologie, která umožní vzdálenou podporu v průmyslovém prostředí. Vzdálená podpora umožňuje zaměstnancům provádět servisní a údržbářské úkony pomocí např. chytrých brýlí, které promítají pracovní pokyny přímo do jejich zorného pole. Navíc, pomocí kamery na brýlích, může obraz být přenášen vzdáleným odborníkům, kteří mohou poskytovat další pokyny přes digitální překryvy. Místní technici mohou díky MR precizně vykonávat úkony a přistupovat k datům v reálném čase, což zjednodušuje a urychluje jejich každodenní práci. Vzdálená podpora zvyšuje efektivitu, zajišťuje bezpečnost a přesnost práce a také řeší problémy tradičních metod školení. Díky MR je možné poskytovat pracovníkům precizní asistenci, která jim

umožňuje efektivně vykonávat své úkoly a dlouhodobě snižovat náklady na servis a údržbu (Moser et al., 2018).

Praktická část

4. Rozdíl mezi průmyslem 4.0 a 5.0

Na základě poznatků z první kapitoly je patrné, že obecně průmyslová revoluce přináší technologický pokrok, který výrazně zvyšuje produktivitu práce a průmyslových operací. Pátá průmyslová revoluce nepřináší výrazný technologický pokrok. Je možné uvažovat spíše o používání technologií, které jsou již známé ze čtvrté průmyslové revoluce (koboti, cloud computing, internet věcí, big data a další). Více patrný rozdíl je pak v cílech průmyslových revolucí. Čtvrtá průmyslová revoluce se snaží o automatizaci s minimální lidskou interakcí. Pátá průmyslová revoluce cílí na navrácení lidské práce do výrobních procesů s výrazným aspektem zaměření na člověka, udržitelnosti a odolnosti.

Právě tyto rozdíly mezi průmyslem 4.0 a 5.0 dávají odpověď na první výzkumnou otázku (VO1: Jaký je rozdíl mezi průmyslem 4.0 a 5.0?).

5. Souvislost charakteristik a technologií průmyslu 5.0

Na základě poznatků z druhé a třetí kapitoly je jasné, že hlavní charakteristiky průmyslu 5.0 (zaměření na člověka, udržitelnost, odolnost) jsou důležité k popisu cílů tohoto konceptu. Klíčovou roli také mají technologie, které umožňují dosažení těchto cílů. Uvedení autoři v třetí kapitole sice popisují, jak technologie fungují a jaké mají benefity, avšak jasná souvislost mezi charakteristikami a technologiemi průmyslu 5.0 chybí.

Následující tabulka (Tabulka 2) tuto problematiku řeší pomocí jednoduché matice. První sloupec obsahuje tři hlavní charakteristiky průmyslu 5.0 (zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost) a první řádek obsahuje technologie průmyslu 5.0 (koboti, edge computing, IoT, IoE atd.). Výsledkem poté je, zda daná charakteristika má souvislost s danou technologií, na základě teoretické rešerše literatury.

	Koboti	Edge computing	IoT	IoE	Digitální dvojčata	Big Data	Kvantový počítač	5G/6G	Blockchain	AR, VR, MR
Zaměření na člověka	ANO (Kildal et al., 2018; Navahandi, 2019)	NE	NE	ANO (DeNardis, 2020)	NE	NE	NE	NE	NE	ANO (Boboc, et al., 2020; Masoni et al., 2017)
Udržitelnost	NE	ANO (Sánchez et al., 2022)	ANO (Adel, 2022)	ANO (Snyder & Byrd, 2017)	ANO (Jiang et al., 2021)	ANO (Majeed et al., 2021)	ANO (Burkacky et al., 2020)	ANO (Taneja et al., 2023)	NE	ANO (Lawson et al., 2016)
Odolnost	ANO (Giberti et al., 2022)	ANO (Sánchez et al., 2022)	NE	ANO (Snyder & Byrd, 2017)	NE	ANO (Majeed et al., 2021)	NE	ANO (Taneja et al., 2023)	ANO (Li et al., 2022; Al-Jaroodi & Mohamed, 2019)	NE

Tabulka 2: Matice na základě souvislostí mezi technologiemi a charakteristikami průmyslu 5.0, zdroj: autor

Pro implementaci průmyslu 5.0 je nutné splňovat požadavky jeho tří hlavních charakteristik (zaměření na člověka, udržitelnost, odolnost), které mohou být dosaženy prostřednictvím různých technologií.

Na základě poznatků z druhé a třetí kapitoly zaměření na člověka v průmyslu 5.0 podporuje technologie kobotů, IoE, AR, VR a MR. Kolaborativní robotika zlepšuje ergonomii pracovníků, nahrazuje namáhavou a monotónní práci a vytváří bezpečné pracovní prostředí. IoE díky chytrým nositelným zařízením sleduje biometrické hodnoty pracovníků na základě, kterých posuzuje jejich stav a dokáže tak předcházet nehodám na pracovišti. Technologie AR, VR a MR ulehčují práci a snižují námahu díky interaktivnímu průvodci, který dodává relevantní informace v zorném poli pracovníka. Dále tyto technologie dokáží simulovat celé pracovní prostředí, což umožňuje evaluaci a zajištění bezpečnosti, blahobytu a zdraví pracovníků. Tyto uvedené technologie splňují požadavky zaměření na člověka v průmyslovém prostředí a podporují implementaci průmyslu 5.0.

Na základě poznatků z druhé a třetí kapitoly udržitelnost v průmyslu 5.0 podporují technologie edge computing, IoT, IoE, digitální dvojčata, kvantová výpočetní technika, Big Data, 6G, AR, VR a MR. Edge computing výrazně snižuje latenci proudících dat, jelikož data zpracovává lokálně bez nutnosti je odesílat na vzdálený externí server. IoT funguje v harmonii s edge computingem. IoT propojuje všechna zařízení ve výrobě a edge computing zaručuje vysokou rychlost přenosu a zpracování dat. Díky rychlejší odezvě mezi zařízeními IoT a lokálním edge serverem, je možné rychle a spolehlivě

odhalit nedostatky a předpovídat poruchy ve výrobním procesu a předejít tak velkým ekonomickým ztrátám či dlouhým odstávkám výroby. IoE, jako nadstavba IoT, získává i externí data jako např. data o počasí, dopravě, cenách energií atd. Big data následně obrovské množství dat ze zdrojů IoT a IoE, díky umělé inteligenci, dokáže vytrždit a zpracovat. Ze zpracovaných dat lze optimalizovat logistiku, výrobní proces a také energetickou spotřebu. Digitální dvojče vytváří přesnou kopii fyzického objektu, produktu, stroje či celého výrobního systému, které je aktualizováno v reálném čase. Dokáže tak odhalit slabiny a předpovídat poruchy jeho fyzického protějšku. Kvantová výpočetní technika dokáže řešit problémy, které dnešní počítače zkrátka vyřešit neumí. Kvantové algoritmy dokážou efektivně řešit nejsložitější výrobní procesy a optimalizovat proces logistiky. 5G a 6G síť má vysokou energetickou účinnost, což přispívá k dosažení environmentální udržitelnosti. AR, VR a MR dovolují vývoj nových produktů a prototypů ve virtuálním prostředí, což snižuje náklady na inovaci a potřebný materiál na inovaci fyzických produktů. Dále školení s pomocí VR se jeví jako efektivnější, což přispívá k sociální udržitelnosti. Výše uvedené technologie přispívají především k ekonomické udržitelnosti ve formě snížení provozních nákladů. Výjimkou je 6G, které podporuje environmentální udržitelnost, a VR podporující sociální udržitelnost.

Na základě poznatků z druhé a třetí kapitoly odolnost v průmyslu 5.0 podporuje technologie kobotů, edge computing, IoE, Big Data, 5G, 6G a blockchain. Kolaborativní roboti jsou lehce programovatelní a mají velmi flexibilní využití. Např. po přenastavení lze kobota využít v jiné části výrobního procesu. Edge computing zvyšuje ochranu citlivých dat, jelikož je ukládá lokálně bez nutnosti je posílat na externí server, kde často dochází ke kybernetickým útokům. IoE společně s technologií Big Data získávají a interpretují data v reálném čase, které urychlují reakci na náhlé narušení. Dále je možné sledovat v reálném čase chování spotřebitelů a situace na trhu. 5G a 6G sítě jsou vysoce spolehlivé, což je klíčové v dnešní době pro odolnost, protože komunikace patří k nejdůležitějším aspektům ve výrobním procesu. Blockchain díky své architektuře nabízí pokročilou ochranu dat.

Následující tabulka (Tabulka 3) zobrazuje shrnutí, jak jednotlivé technologie a jejich benefity souvisí s danou charakteristikou. V prvním sloupci se nachází hlavní charakteristiky průmyslu 5.0, ve druhém sloupci technologie a ve třetím benefit jednotlivých technologií.

Charakteristika průmyslu 5.0	Technologie průmyslu 5.0	Benefit technologie
Zaměření na člověka	Koboti	Lepší ergonomie, náhrada namáhavé práce
	IoE	Prevence nehod
	AR, VR, XR	Ulehčení práce, efektivnější školení, evaluace bezpečnosti a zdraví pracovníků
Udržitelnost	Edge computing	Preventivní údržba
	IoT	Preventivní údržba, snížení provozních nákladů
	IoE	Snížení provozních nákladů
	Digitální dvojčata	Preventivní údržba, snížení nákladů na vývoj produktů
	Kvantový počítač	Preventivní údržba, optimalizace výroby a logistiky
	Big Data	Snížení spotřeby energie
	5G/6G	Vysoká energetická účinnost
	AR, VR, XR	Snížení nákladů na vývoj prototypů
Odolnost	Koboti	Flexibilní využití a programovatelnost
	Edge computing	Vyšší ochrana dat, kybernetická bezpečnost
	IoE	Data v reálném čase urychlují reakci na narušení
	Big Data	Zjištění slabin produkce, lepší pochopení chování spotřebitelů a situace na trhu
	5G/6G	Vysoká spolehlivost sítě
	Blockchain	Pokročilá ochrana dat

Tabulka 3: Souvislost charakteristik průmyslu 5.0 s technologiemi na základě jejich benefitů, zdroj: autor

Tato kapitola podrobně vysvětlila, jakým způsobem technologie umožňují dosažení cílů charakteristik průmyslu 5.0, a zároveň odpovídá na druhou výzkumnou otázku (VO2: Jak technologie umožňují implementaci průmyslu 5.0?).

6. Míra implementace průmyslu 5.0 v automobilovém odvětví

Předmětem zkoumání je míra implementace konceptu průmyslu 5.0 u tří největších automobilových společností na světě podle výnosů za rok 2023: Volkswagen, Toyota a Ford (Companiesmarketcap, n.d.).

6.1. Volkswagen

Společnost Volkswagen Group je vedoucím světovým výrobcem automobilů, který v roce 2023 dosáhla výnosů ve výši 350 miliard dolarů. Jejich portfolio zahrnuje

širokou škálu značek, od cenově dostupných a spolehlivých vozidel po luxusní automobily nejvyšší třídy. Pod Volkswagen Group patří známé značky automobilů: Volkswagen, Škoda, Seat, Cupra, Audi, Lamborghini, Bentley a Porsche (Volkswagen Group, n.d.; Companiesmarketcap, n.d.).

Hodnoty společnosti zahrnují inovace, kvalitu, zodpovědnost a udržitelnost, které jsou jádrem všech činností. Volkswagen Group je oddán snižování emisí skleníkových plynů a podporuje posun směrem k elektromobilům a alternativním pohonům s cílem přispět k ochraně životního prostředí a budoucnosti naší planety (Volkswagen Group, n.d.).

Koboti

Volkswagen integroval do svého výrobního procesu kolaborativní roboty, kteří účinně pomáhají jeho zaměstnancům. Koboti nyní provádějí finální kontrolu aut a hodnotí přesnost mezer mezi panely karoserie vozu. V mexické výrobní lince modelu Tiguan kobot efektivně vyhodnocuje 26 kontrolních bodů za méně než minutu, což představuje průkopnické využití této technologie v rámci celosvětového koncernu Volkswagen (Dunn, 2021).

Seat využívá deset kolaborativních robotů UR10e od společnosti Universal Robots, aby automatizovala vykládání ozubených kol převodových skříní. Koboti byly vybrány pro jejich snadné programování, integraci a malé rozměry, které jim umožňují bezpečně pracovat vedle operátorů bez větších změn v uspořádání výrobního procesu. Integrace kolaborativních robotů odlehčila operátorům od manuálních úkonů a umožnila jim soustředit se na činnosti s přidanou hodnotou, jako je kontrola kvality a zlepšování procesů. Celkově, používání kobotů zvyšuje efektivitu, snižuje počet chyb a zvyšuje bezpečnost pracovníků (Universal Robots, 2023).

Edge computing

Audi je průkopníkem v integraci edge computingu do svých výrobních procesů, což představuje významný pokrok v automatizaci výroby na bázi IT. Nasazením lokálních edge serverů v Audi zefektivňuje provoz, snižuje závislost na průmyslových počítačích a zvyšuje efektivitu zpracování dat. Tento inovativní přístup umožňuje analýzu a řízení dat v reálném čase na okraji sítě, což zajišťuje rychlejší odezvu a vyšší spolehlivost (Audi Media Center, 2023)

Volkswagen Group využívá služby Amazon Web Services (AWS), např. IoT, machine learning a edge k posílení svého průmyslového cloudu a propojení dat z 124 výrobních závodů ke zlepšení efektivity provozu závodu, flexibility výroby a kvality

vozidel. Koncern Volkswagen využívá edge služby ke snížení závislosti na centralizovaných serverech. Využitím edge computingu dosahuje rychlejší odezvy, nižší latence a vyšší spolehlivosti svých operací. Tato technologie je obzvláště cenná v aplikacích, jako je konektivita vozidel, prediktivní údržba a automatizace výroby, kde jsou rozhodující okamžité opatření (AWS, n.d.).

IoT

Volkswagen Group využívá technologii IoT, včetně inteligentních kamer a strojového učení, k zajištění přesného označování vozidel s údaji o bezpečnosti, použitelnosti a specifikacích podle regulací. IoT detekuje chyby v označování v reálném čase a včas na to upozorňuje pracovníky. S více než 25 štítky a tisíci variantami označení tento systém usnadňuje úkoly, snižuje chyby a zlepšuje kvalitu vozidel (Partida, 2021).

Digitální dvojčata

Volkswagen využívá digitální dvojčata k rychlejšímu a efektivnějšímu uvedení výrobních systémů. Díky spolupráci se společností Siemens zefektivňuje vytváření simulačních modelů pro složité systémy, jako jsou montážní linky. Tyto digitální repliky umožňují virtuální testování a optimalizaci, což výrazně snižuje náklady a čas spojený s uvedením výrobního systému do provozu (Barnard, 2019).

Big Data

Volkswagen se spoléhá na Big Data, aby zvýšil efektivitu a udržitelnost svých operací. IT laboratoř koncernu analyzuje obrovské objemy dat pomocí lidského uvažování a umělé inteligence. Prostřednictvím prediktivní analýzy řeší otázky zaměřené na budoucí vývoj událostí a optimalizují procesy, jako je předpovídání poptávky, spotřeby energie a řízení dodavatelského řetězce. Využitím pokročilých systémů strojového učení získává Volkswagen cenné poznatky, které umožňují chytřejší rozhodování a inovativní řešení pro budoucnost (Kulawik & Schlesag, 2018).

Kvantová výpočetní technika

Volkswagen do kvantové informatiky hluboce investuje a spolupracuje s předními inovátory na aplikaci této technologie na skutečné výzvy v automobilovém průmyslu. Od roku 2016 aktivně zkoumá a vyvíjí kvantové aplikace se zaměřením na praktické případy využití. Volkswagen dosáhl významných pokroků, včetně vývoje systému pro aktivní řízení dopravy, optimalizace výroby, optimalizace procesu lakování, stanovení cen vozidel a plánování infrastruktury pro elektromobily. Volkswagen považuje kvantovou výpočetní techniku za klíčový faktor umožňující efektivitu a inovace (Volkswagen, 2021).

5G/6G

Volkswagen využívá potenciál technologie 5G ve svém hlavním závodě v německém Wolfsburgu, kde zavedl soukromou síť. Tato síť, dodaná společností Nokia, umožňuje bezdrátové odesílání dat do vozidel a usnadňuje inteligentní komunikaci mezi roboty a montážními stroji. Volbou privátní sítě 5G si společnost Volkswagen zajišťuje spolehlivý výkon přizpůsobený svým provozním potřebám a zároveň si zachovává kontrolu nad citlivými daty (Miller, 2022).

Blockchain

Skupina Volkswagen spolupracuje se společností Minespider na zvýšení transparentnosti dodavatelského řetězce pomocí technologie blockchain. Sledováním globálního dodavatelského řetězce olova chce Volkswagen zajistit odpovědné zadávání zakázek a splnění standardů udržitelnosti. Blockchain umožňuje digitální sledování surovin, čímž podporuje transparentnost a bezpečnost. Tato iniciativa odráží závazek společnosti Volkswagen k udržitelným postupům a odpovědnému zásobování (Bothge & Scherelis, 2019).

AR, VR, MR

Koncern Volkswagen zavádí revoluci v oblasti vzdělávání zaměstnanců, a to díky masivnímu nasazení technologie VR. V rámci globální iniciativy projde 10 000 zaměstnanců značek Audi, SEAT, ŠKODA a Volkswagen školením VR, které se bude týkat různých aspektů, jako je montáž vozů a zákaznický servis. Tyto VR zážitky, vyvinuté společností Innoactive, umožňují zaměstnancům školit se vlastním tempem bez geografických omezení. Cílem společnosti Volkswagen je vytvořit efektivnější pracovní postupy a podpořit spolupráci napříč svými značkami a závody po celém světě (Carlton, 2018).

V oblasti technického vývoje umožňují VR simulátory jízdy inženýrům vyhodnocovat koncepty vozidel již v počáteční fázi, což zlepšuje použitelnost a zákaznickou zkušenost a zároveň zrychluje rychlost vývoje. Virtuální workshopy pro plánování montáže nahrazují tradiční metody VR simulacemi, což zúčastněným stranám umožňuje optimalizovat nastavení montážní linky a dříve odhalit chyby. V logistice se VR používá k zefektivnění procesů, kdy nahrazuje statické reprezentace interaktivními simulacemi, které zlepšují porozumění a spolupráci mezi zaměstnanci (Volkswagen Newsroom, 2022).

Volkswagen závod v Chattanooga využívá technologii (AR) ke zlepšení výrobních procesů pro vozidla jako nový Atlas Cross Sport a připravované elektrické

modely. Inženýři používají AR brýle k návrhu výrobních linek a identifikaci potenciálních problémů efektivněji. Rychlý vývoj a přímá spolupráce umožňují rychlejší rozhodování a včasnou detekci problémů, což zlepšuje efektivitu a kvalitu výrobků. Univerzálnost systému naznačuje možné aplikace i mimo tovární prostředí (Volkswagen US Media, 2020).

	Koboti	Edge computing	IoT	IoE	Digitální dvojčata	Big Data	Kvantový počítač	5G/6G	Blockchain	AR, VR, MR	Celkem
Zaměření na člověka	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Udržitelnost	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	6
Odolnost	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	5

Tabulka 4: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Volkswagen, zdroj: autor

Společnost Volkswagen získala celkem 13 bodů ze 30 možných (43 %). V rámci zaměření na člověka využívá 2 technologie, v udržitelnosti 6 technologií a v odolnosti 5 technologií. Celkově míra implementace průmyslu 5.0 ve Volkswagenu je 43 %.

6.2. Toyota

Toyota Corporation je jedna z předních firem ve světě automobilového průmyslu, která dosáhla v roce 2023 výnosů ve výši 307 miliard dolarů. Pyšní se dlouholetou historií inovace, kvality a spolehlivosti. Její hlavní značka, Toyota, je známá po celém světě díky širokému spektru vozidel, které zahrnují osobní automobily, SUV, dodávky a hybridní vozy (Companiesmarketcap, n.d.).

Jednou z nejslavnějších inovací Toyoty bylo uvedení prvního masově vyráběného hybridního automobilu, modelu Prius. Tento krok posílil pozici Toyoty jako průkopníka v oblasti hybridní technologie a podnítil další vývoj ekologičtějších pohonů.

Kromě značky Toyota má korporace také několik dceřiných automobilových značek. Mezi nejznámější patří Lexus, který se specializuje na luxusní vozidla a nabízí širokou škálu elegantních a výkonných automobilů. Další dceřinou značkou společnosti je Daihatsu, která se zaměřuje na výrobu menších vozidel a mikroaut (Toyota, n.d.).

Koboti

Toyota se rozhodla využít koboty jako součást své strategie posílení výrobní struktury. Cílem společnosti je zlepšit své výrobní procesy a dosáhnout stabilní produkce s vysokou efektivitou, přičemž zároveň chce zlepšit pracovní podmínky svých zaměstnanců.

Proces nakládání ozubených kol na výrobní linku byl v minulosti obtížný a fyzicky náročný pro operátory. S pomocí kobotů společnost dosáhla významného zlepšení. Koboti nyní provádějí rutinní úkoly, jako je nakládání a přenášení součástek, což umožňuje operátorům zaměřit se na složitější úkoly a zlepšuje jejich pracovní podmínky. Kombinace kobotů s lidskými operátory umožňuje společnosti dosáhnout vyšší úrovně flexibility a reagovat na změny výrobního procesu (Universal Robots, 2022).

Edge computing

Toyota a Siemens spolupracují na využití edge computingu a vývoji umělé inteligence pro predikci abnormalit produktů při odlévání hliníku, klíčového procesu výroby kompresorů pro automobilové klimatizace. Tato iniciativa zlepšuje kvalitu a produktivitu pomocí umělé inteligence v rámci edge computingové platformy Siemens Industrial Edge.

Analýzou velkého množství dat v reálném čase jsou předpovězeny a je zabráněno defektům, což zvyšuje kvalitu a efektivitu výroby. Toto řešení edge computingu umožňuje okamžitou analýzu výrobních dat, což vede k zvýšené produktivitě a transformaci pracovních postupů (Toyota Industries Corporation, 2021).

IoT

Internet Initiative Japan (IIJ) vytvořil systém IoT pro novou výrobní linku Toyoty. Systém umožňuje sběr dat z různých zařízení na výrobní lince a vytváří platformu pro vizualizaci a analýzu těchto dat. Je navržen ke zlepšení kvality a produktivity poskytováním informací o provozu zařízení v reálném čase a využitím komunikace cloud a edge sítí pro sběr dat a vzdálený přístup. S IoT optimalizují provoz zařízení a spotřebu energie, s plány na rozšíření a využití prediktivní údržby a zlepšení bezpečnosti sítě (IIJ, 2020).

Digitální dvojčata

Toyota využívá technologii digitálních dvojčat k vytvoření virtuálních replik svých evropských výrobních závodů s cílem analyzovat a přesně plánovat implementaci možných změn a zároveň snížit environmentální zátěž svých operací.

Virtuální repliky otevírají možnosti simulovat a optimalizovat výrobní procesy, spotřebu energie, snižovat náklady a identifikovat bezpečnostní a ergonomické vylepšení montážních procesů. Digitální dvojčata také umožňují simulaci rizik a změn ve výrobních systémech bez rizika pro bezpečnost a kvalitu (Toyota EU, 2023).

Big Data

Toyota využívá technologii velkých dat ke zlepšení bezpečnosti jízdy, předpovědi tržních trendů a zvýšení spokojenosti zákazníků. Analyzováním rozsáhlých datových sad, Toyota plánuje bezpečnější trasy jízdy a snižuje provozní náklady. Ve spolupráci s cloudovými službami Amazon vyvinula projekt Toyota Big Data Center China, využívající architekturu serverů AWS pro úspory nákladů a efektivitu provozu (Liu, 2022).

Kvantová výpočetní technika

Výzkumné centrum společnosti Toyota se od roku 2021 intenzivně zabývá aplikovaným výzkumem v oblasti kvantových počítačů.

Jedním z prvních projektů je využití kvantových počítačů k optimalizaci uspořádání skladovacích regálů v dílenských centrech. Zaměstnanci díky tomu ušetřili 6km chůze za měsíc. Další možná využití zahrnují simulaci a optimalizaci výrobních procesů, což může vést ke zlepšení efektivity a úsporám nákladů. Toyota věří, že výzkum v oblasti kvantových technologií může přinést inovativní řešení pro výrobu a logistiku (Kigure, 2023).

5G/6G

Toyota využívá technologii 5G ve výrobním komplexu v Indianě ve spolupráci se společností Ericsson. Soukromá síť 5G zajišťuje kritické operace na ploše téměř 19 tisíc metrů čtverečních. Mezi klíčové operace patří: rychlejší dodávky zboží zákazníkům, spolehlivá komunikace mezi pracovníky, prediktivní údržba na základě dat z IoT, sledování a optimalizace provozu vozidel a skladových operací (Ericsson, 2024).

Blockchain

Toyota spustila v roce 2019 organizaci Toyota Blockchain Lab, která zkoumá využití technologie blockchain s cílem ověřit její užitečnost pomocí testů. Laboratoř zkoumá potenciální aplikaci blockchainu v zákaznickém servisu a dodavatelském řetězci (Ashraf, 2023). Je nutné podotknout, že Toyota využití blockchainu aktuálně jen zkoumá a aktivně ho zatím nevyužívá.

AR, VR, MR

Toyota využívá technologie VR a AR k posílení různých aspektů svých obchodních operací a zážitku zákazníků. Online nákup automobilů vzrostl a Toyota nabízí virtuální prohlídku nabízených aut díky AR. Technologie umožňuje zákazníkům podrobně si prohlédnout virtuální showroomy a auta s realistickým zážitkem z jízdy bez nutnosti návštěvy fyzického showroomu. VR a AR technologie pomáhají prodejcům snižovat

náklady tím, že eliminují potřebu fyzických showroomů a rozsáhlého školení zaměstnanců. V oblasti školení technologie umožňuje vytváření interaktivních virtuálních prostředí, ve kterých zaměstnanci mohou simulovat různé pracovní situace a získávat praktické dovednosti a znalosti (De Vivo, 2020).

	Koboti	Edge computing	IoT	IoE	Digitální dvojčata	Big Data	Kvantový počítač	5G/6G	Blockchain	AR, VR, MR	Celkem
Zaměření na člověka	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Udržitelnost	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	7
Odolnost	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3

Tabulka 5: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Toyota, zdroj: autor

Společnost Toyota získala celkem 12 bodů ze 30 možných (40 %). V rámci zaměření na člověka využívá 2 technologie, v udržitelnosti 7 technologií a v odolnosti 3 technologie. Celkově míra implementace průmyslu 5.0 v Toyotě je 40 %.

6.3. Ford

Ford Group je globální automobilový gigant s bohatou historií, která sahá až do začátku 20. století, kdy Henry Ford založil společnost Ford Motor Company. Od té doby se stal jedním z předních hráčů v automobilovém průmyslu. Nabízí širokou škálu produktů skrze své ikonické značky – Ford a Lincoln. Ford Group má silné postavení v automobilovém průmyslu s výnosy ve výši 175 miliard dolarů (Companiesmarketcap, n.d.).

Kromě toho se společnost zaměřuje na inovace, jako je vývoj elektrických vozidel a autonomního řízení, aby na trhu zůstala konkurenceschopná. Zároveň se Ford aktivně angažuje v udržitelnosti, snižuje emise a vyvíjí ekologicky šetrná vozidla, což dokládá její závazek k ochraně životního prostředí (Ford, n.d.).

Koboti

Ford v rumunském závodě nainstaloval čtyři modely kobotů UR10. Tři z nich byly přímo integrovány do pracovních procesů a pracují vedle zaměstnanců na montážní lince, kde přebírají opakující se úkoly. Jeden UR10 provádí mazání hřídelí, další plní motor olejem a třetí kontroluje únik oleje v motoru pomocí UV světla a kamery. Čtvrtá jednotka UR10 se používá k testování a školení zaměstnanců.

Koboti ulehčují monotónní úkoly, což operátorovi dává příležitost přispívat kreativním způsobem ve výrobním procesu. Výhody kobotů dále zahrnují rychlou

integraci do výrobního procesu, zvýšení rychlosti a efektivity výroby a flexibilní možnosti nasazení (Universal Robots, 2019).

Kobot Robbie pomáhá lidem s postižením a omezenou pohyblivostí vykonávat úkoly na montážní lince Fordu. Dietmar Brauner, který trpí omezenou pohyblivostí, díky němu může vykonávat širší škálu pracovních úkolů. Společně s Robbiem pracují na připojování krytů k motorům. Kobot Robbie umožňuje větší inkluzi a rozšíření pracovních příležitostí (Ford Media Center, 2022).

Edge computing

V oblasti inovací výroby Fordu má edge computing klíčovou roli. Umožňuje zpracování dat v reálném čase přímo v továrně, což zajišťuje minimální latenci a rychlou odezvu. Analýzou dat na okraji sítě může Ford optimalizovat výrobní procesy, zlepšit kontrolu kvality a minimalizovat výpadky, aniž by to ovlivnilo rychlost nebo spolehlivost. Lokalizované zpracování dat na okraji sítě umožňuje Fordu rychle učinit informovaná rozhodnutí, což zvyšuje efektivitu a konkurenceschopnost na vysoce kompetitivním trhu (Inform, 2021).

IoT

Ford Motor Company se aktivně věnuje implementaci průmyslu 4.0. V rámci této iniciativy využívají IoT ve svém závodě na výrobu převodovek v Michiganu. Technologie umožňuje operátorům monitorovat data z různých pracovních stanic, sledovat jednotlivé díly a provádět preventivní údržbu a inspekce během výroby (Koenig, 2019).

Digitální dvojčata

Ford využívá technologii digitálních dvojčat k přesné detekci ztrát energie, určení oblastí, kde lze energii šetřit, a zlepšení celkového výkonu výrobních linek. Digitální model dvojčete spáruje virtuální reprezentaci mechanických systémů s reálnými daty, které proudí v reálném čase ze zařízení IoT. Virtuální model dodává přehled o provozu zařízení pro včasné zásahy a zlepšení návrhu a výstavby fyzických výrobních systémů (Better Buildings, n.d.).

Big Data

Ford využívá Big Data v několika oblastech. Jednak pomáhají identifikovat nové služby a najít tak nové zdroje příjmů. Prediktivní údržba je další oblastí, ve které analýza dat pomáhá identifikovat možné poruchy strojů předem. Sledování vstupů materiálů a procesních parametrů zase zajišťuje kvalitu produktů na výrobních linkách.

Bezpečnost vozidel se zlepšuje pomocí analýzy velkých dat, které přispívají k vývoji pokročilých bezpečnostních systémů. Přírodní katastrofy, uzavření hranic nebo zpoždění v dopravě, může vést k zásadnímu narušení dodavatelského řetězce. Analýza velkých dat narušení předvídá a zmírňuje jeho dopad. Efektivní využití velkých dat je pro Ford klíčové pro řešení problémů, zlepšování provozu a udržení konkurenceschopnosti v automobilovém průmyslu (Ross, 2022).

Kvantová výpočetní technika

Ford využítá kvantové počítače k modelování materiálů baterií nové generace elektrických vozidel. Tento výzkum se zaměřil na zlepšení hustoty, výkonnosti, životnosti a recyklovatelnosti baterií. Výzkumníci společnosti Ford zkoumali nové způsoby simulace chemie lithium-iontových baterií. Tento přístup slibuje urychlení a snížení nákladů vývoje baterií elektrických vozidel s vyšší kapacitou, rychlejším dobíjením a delší životností (Lovati, 2023).

5G/6G

Ford USA aktivně využívá technologii 5G, zprostředkovanou společností AT&T, ve svém provozu. Má vlastní soukromou síť 5G s výpočetním systémem MEC (multi-access edge computing), kterou využívá pro výrobu svého prvního plně elektrického vozu Ford F-150 Lightning. Síť umožňuje vysokorychlostní komunikaci s nízkou latencí (Marek, 2022).

Továrna na motory společnosti Ford ve Valencii využívá síť 5G společnosti Ericsson v rámci iniciativy podporované Evropskou komisí, která má podpořit pokrok v oblasti průmyslu 4.0. Síť 5G Fordu umožňuje výzkum v oblasti autonomního řízení, aplikace VR, s cílem optimalizovat efektivitu výroby (Ericsson, 2021).

Blockchain

Ford využívá technologii blockchain, spolu s dynamickým geofencingem (virtuální hranice) k redukci znečištění ovzduší v evropských městech. Jakmile vozidlo přejede virtuální hranici „zelené zóny“, automaticky přepne na elektrický pohon. Integrováním blockchainu s geofencingem Ford zajišťuje bezpečný záznam pohybů vozidel a dodržování environmentálních předpisů (Borras, 2021).

Ford také využívá blockchain k optimalizaci dodavatelských řetězců a sledování zdrojů materiálů a dílů. Tato technologie zajišťuje transparentnost a zabezpečení dodavatelských řetězců, což pomáhá zajistit kvalitu produkce a splnění vládních předpisů (Vignesh, 2023).

AR, VR, MR

Ford využívá technologii AR, konkrétně HoloLens od společnosti Microsoft, ve svém procesu návrhu designu vozů. Designéři nosí AR brýle k digitálnímu překrývání 3D prvků vozidel na hliněné modely aut, což jim umožňuje rychle vyhodnotit a upravit nové návrhy vozidel. Propojení digitálního a fyzického světa zlepšuje spolupráci mezi inženýry a designéry a urychluje proces návrhu. Ford v současné době využívá AR ke zdokonalování detailů, nikoliv k návrhu celého designu. Celkově AR zlepšuje proces návrhu, činí ho efektivnějším, jednodušším a příznivějším pro spolupráci designerů a inženýrů (Adams, 2017).

Ford ve spolupráci se společností Bosch přináší VR pro školení techniků, kteří servisují elektrické vozy Mustang Mach-E. Tato technologie umožňuje technikům školení bez nutnosti přístupu k reálným vozidlům, čímž se zvyšuje efektivita a bezpečnost jejich práce. Technici používají VR brýle k simulaci úkolů, jako je diagnostika a servis vysokonapěťového systému (Ford Newsroom, 2020).

Ford využívá MR k posílení svého procesu návrhu vozidel. Díky MR designéři mohou společně sledovat a upravovat návrhy vozidel ve virtuálním prostředí v reálném čase. To urychluje proces návrhu, minimalizuje potřebu fyzických prototypů a ulehčuje spolupráci mezi globálními týmy designérů (Meikle, 2024).

	Koboti	Edge computing	IoT	IoE	Digitální dvojčata	Big Data	Kvantový počítač	5G/6G	Blockchain	AR, VR, MR	Celkem
Zaměření na člověka	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Udržitelnost	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	7
Odolnost	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	5

Tabulka 6: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Ford, zdroj: autor

Společnost Ford získala celkem 14 bodů ze 30 možných (47 %). V rámci zaměření na člověka využívá 2 technologie, v udržitelnosti 7 technologií a v odolnosti 5 technologií. Celkově míra implementace průmyslu 5.0 ve Fordu je 47 %.

Tato kapitola detailně popisuje technologie využívané automobilovými společnostmi Volkswagen, Toyota a Ford a jejich konkrétní využití v kontextu principů (zaměření na člověka, udržitelnost, odolnost) páté průmyslové revoluce. Na základě těchto poznatků je poté provedeno hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve zmíněných společnostech. Kapitola zároveň odpovídá na třetí výzkumnou otázku (VO3: Jaké a jakým způsobem využívají technologie průmyslu 5.0 vybrané společnosti automobilového odvětví?).

7. Shrnutí a diskuse výsledků

Čtvrtá kapitola pojednává o rozdílech mezi průmyslem 4.0 a 5.0. Čtvrtá průmyslová revoluce přináší výrazný technologický pokrok v automatizaci výrobních procesů. Pátá průmyslová revoluce se spíše zaměřuje na využití již známých technologií s důrazem na navrácení lidské práce do výroby s výrazným aspektem zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost.

Zatímco předchozí průmyslové revoluce jasně charakterizuje technologický pokrok výrazně zvyšující produktivitu práce, průmysl 5.0 takový technologický skok nepředstavuje, a proto v tomto kontextu nedává logickou návaznost na předchozí průmyslové revoluce.

Průmysl od počátku věků směřuje k dosažení maximálních zisků a produktivity. Avšak v dnešní době pokročilé automatizace a umělé inteligence je tento cíl často provázen rizikem ztráty pracovních míst a negativními dopady na životní prostředí a ekonomickou pohodu budoucích generací, zejména vzhledem k vysoké spotřebě neobnovitelných zdrojů energie.

Právě koncept průmyslu 5.0 se na tyto nedostatky předchozích průmyslových revolucí zaměřuje s cílem dosáhnout sociální, ekonomické a enviromentální udržitelnosti a odolného průmyslu. Proto je možné uvažovat o průmyslu 5.0 jako o revoluci v morálních hodnotách, nikoliv technologického pokroku.

V páté kapitole byla přiblížena souvislost technologií a charakteristik průmyslu 5.0. Z ní vyplývá, že pouze tři technologie podporují charakteristiku zaměření na člověka, což se zdá málo na to, že se jedná o nejdůležitější aspekt páté průmyslové revoluce. Je tedy nutné kreativní využití stávajících technologií či vývoj nových, které tento aspekt budou splňovat. Protiargumentem však může být tvrzení Evropské komise, že charakteristiky průmyslu 5.0 jsou vzájemně propojené a úzce spolu souvisejí. V takovém případě by existovala možnost, že všechny technologie podporují všechny charakteristiky průmyslu 5.0, byť nepřímo.

Šestá kapitola se zabývá mírou implementace průmyslu 5.0 ve společnostech Volkswagen, Toyota a Ford. Všechny tři společnosti mají velmi podobou míru implementace, což potvrzuje dynamiku technologického vývoje a kompetitivnost automobilového průmyslu.

Společnosti mají nízké využití technologií se zaměřením na člověka (každá jen 2). Pro dosažení vyšší míry zaměření na člověka by společnosti mohly investovat do vývoje nových technologií nebo zkoumat možnosti využití již existujících technologií.

Závěr

Bakalářská práce se zabývala průmyslem 5.0 a jeho mírou implementace v automobilových společnostech Volkswagen, Toyota a Ford.

Ve čtvrté kapitole byly vysvětleny rozdíly čtvrté a páté průmyslové revoluce. Bylo zjištěno, že průmysl 5.0 nepřináší výrazný technologický pokrok a využívá technologie známé již z průmyslu 4.0. Odlišnost je potom patrná v cílech a hodnotách revoluce. Proto vznikla potřeba najít jakým způsobem technologie podporují implementaci průmyslu 5.0 v kontextu jeho hlavních charakteristik (zaměření na člověka, udržitelnost a odolnost).

V páté kapitole je zkoumána souvislost charakteristik s technologiemi průmyslu 5.0 a vysvětluje, jak benefity technologií podporují koncept páté průmyslové revoluce. Tento krok byl klíčový k nalezení míry implementace průmyslu 5.0 ve vybraných automobilových společnostech. Bez identifikace těchto souvislostí by se jednalo pouze o míru implementace průmyslu 4.0.

V šesté kapitole je analyzováno, jaké a jakým způsobem využívají technologie vybrané společnosti automobilového odvětví. Na základě poznatků z páté a šesté kapitoly je pak dosažený hlavní cíl práce: míra implementace průmyslu 5.0 ve společnostech Volkswagen, Toyota a Ford.

Seznam použité literatury

Adams, E. (2017, 28. září). Ford's Using Augmented Reality to Design Better Cars. Wired. <https://www.wired.com/story/ford-design-microsoft-hololens/>

Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 1-15.

Aheleroff, S., Huang, H., Xu, X., & Zhong, R. Y. (2022). Toward sustainability and resilience with Industry 4.0 and Industry 5.0. *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2, 951643.

Al-Jaroodi, J., & Mohamed, N. (2019). Blockchain in industries: A survey. *IEEE Access*, 7, 36500-36515.

Antoney, Laly & Augusthy, Theresa. (2019). Block Chain Accounting-The Face Of Accounting & Auditing In Industry 4.0. 2528-9810.

Armstrong, G., Adam, S., Denize, S., & Kotler, P. (2014). *Principles of marketing*. Pearson Australia.

Ashraf, A. (2023, 1. února). Toyota to Experiment With Blockchain Use Cases by Sponsoring Astar Network's Hackathon. Coindesk. <https://www.coindesk.com/web3/2023/01/31/toyota-to-experiment-with-blockchain-use-cases-by-sponsoring-astar-networks-hackathon/>

Audi Media Center. (2023, 13. července). Edge Cloud 4 Production: IT-based factory automation enters series production. <https://www.audi-mediacenter.com/en/press-releases/edge-cloud-4-production-it-based-factory-automation-enters-series-production-15464>

AWS. (n.d.). The Volkswagen Group on AWS. <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/innovators/volkswagen-group/>

Barnard, A. (2019, 15. května). Full speed on the production line. Siemens. <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/digitaltwin/digital-twin-cars-production-line.html>

Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P. E. T. E. R., & Scholtz, O. (2016). Lightweight robots in manual assembly–best to start simply. *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart, 1*.

Better Buildings. (n.d.). Ford Motor Company: Dearborn Campus Uses A Digital Twin Tool For Energy Plant Management. <https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/implementation-models/ford-motor-company-dearborn-campus-uses-digital-twin-tool-energy-plant>

Bilgili, B., Özkul, E., & Candan, B. (2016). An outlook on “all inclusive” system as a product diversification strategy in terms of consumer attitudes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 235*, 493-504.

Boboc, R. G., Gîrbacia, F., & Butilă, E. V. (2020). The application of augmented reality in the automotive industry: A systematic literature review. *Applied Sciences, 10*(12), 4259.

Borras, J. (2021). How Ford Is Using Blockchain Technology To Improve Urban Air Quality. Clean Technika. <https://cleantechnica.com/2021/02/25/how-ford-is-using-blockchain-technology-to-improve-urban-air-quality/>

Bothge, L., & Scherelis, G. (2019, 23. dubna). From mine to factory: Volkswagen makes supply chain transparent with blockchain. Volkswagen Group. <https://www.volkswagen-group.com/en/press-releases/from-mine-to-factory-volkswagen-makes-supply-chain-transparent-with-blockchain-16623>

Bragança, S., Costa, E., Castellucci, I., & Arezes, P. M. (2019). A brief overview of the use of collaborative robots in industry 4.0: Human role and safety. *Occupational and environmental safety and health, 641-650*.

Burian, P. (2014). *Internet inteligentních aktivit*. Grada Publishing as.

Burkacky, O., Pautasso, L., & Mohr, N. (2020). Will quantum computing drive the automotive future. *Mckinsey & Company, 1*, 33-38.

Carlton, B. (2018, 5. března). Volkswagen Will Train 10,000 Employees Using VR This Year. VR Scout. <https://vrscout.com/news/volkswagen-employee-training/#>

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia tools and applications*, 51, 341-377.

Colgate, J. E., Wannasuphprasit, W., & Peshkin, M. A. (1996, November). Cobots: Robots for collaboration with human operators. In *ASME international mechanical engineering congress and exposition* (Vol. 15281, pp. 433-439). American Society of Mechanical Engineers.

Companiesmarketcap. (n.d.). Top publicly traded automakers by revenue. <https://companiesmarketcap.com/automakers/largest-automakers-by-revenue/>

De Alwis, C., Kalla, A., Pham, Q. V., Kumar, P., Dev, K., Hwang, W. J., & Liyanage, M. (2021). Survey on 6G frontiers: Trends, applications, requirements, technologies and future research. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 836-886.

De Vivo, M. (2020, 19. října). How Toyota is Using Augmentative & Virtual Reality. Relay Cars. <https://blog.relaycars.com/toyota-augmented-virtual-reality/>

DeNardis, L. (2020). *The Internet in everything*. Yale University Press.

Dunn, J. (2021, 12. srpna). AI, apps, and automation: How Volkswagen aims to transform North American manufacturing with digital drive. AMS. <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/digitalisation-and-automation/ai-apps-and-automation-how-volkswagen-aims-to-transform-north-american-manufacturing-with-digital-drive/42181.article?adredir=1>

Echchakoui, S., & Barka, N. (2020). Industry 4.0 and its impact in plastics industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100172.

Elangovan, U. (2021). *Industry 5.0: The future of the industrial economy*. CRC Press.

Ericsson. (2021, 8. února). Ford engine production to benefit from Ericsson connectivity in pilot EU initiative. <https://www.ericsson.com/en/news/2021/2/ford-engine-production-5g-dedicated-network>

Ericsson. (2024, 27. února). Toyota Material Handling transforms production operations with Ericsson Private 5G. <https://www.ericsson.com/en/news/2024/2/toyota-material-handling-transforms-production-operations-with-ericsson-private-5g>

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. (2021). Industry 5.0 : towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, Publications Office of the European Union.

Ford Media Center. (2022, 25. května). Robbie The Cobot Helps Disabled People And Those With Reduced Mobility Tackle Ford Assembly Work. <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2022/05/25/robbie-the-cobot-helps-disabled-people-and-those-with-reduced-mo.html>

Ford Newsroom. (2020, 14. února). How Ford, Bosch Are Using Virtual Reality To Train Technicians On All-Electric Mustang Mach-E. <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2020/02/14/ford-bosch-virtual-reality-technician-training-mustang-mach-e.html>

Ford. (n.d.). About us. <https://corporate.ford.com/about.html>

Fraga-Lamas, P., Barros, D., Lopes, S. I., & Fernández-Caramés, T. M. (2022). Mist and edge computing cyber-physical human-centered systems for industry 5.0: A cost-effective IoT thermal imaging safety system. *Sensors*, 22(21), 8500.

Francas, D., Löhndorf, N., & Minner, S. (2011). Machine and labor flexibility in manufacturing networks. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 165-174.

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*, 1-16.

Giberti, H., Abbattista, T., Carnevale, M., Giagu, L., & Cristini, F. (2022). A methodology for flexible implementation of collaborative robots in smart manufacturing systems. *Robotics*, 11(1), 9.

Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 464-471.

Grybauskas, A., Stefanini, A., & Ghobakhloo, M. (2022). Social sustainability in the age of digitalization: A systematic literature Review on the social implications of industry 4.0. *Technology in Society*, 70, 101997.

Gupta, Y. P., & Goyal, S. (1989). Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements. *European journal of operational research*, 43(2), 119-135.

Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate Publishing, Ltd..

Huang, H. L., Wu, D., Fan, D., & Zhu, X. (2020). Superconducting quantum computing: a review. *Science China Information Sciences*, 63, 1-32.

Chowdhury, M. Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., & Jang, Y. M. (2020). 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975.

IIJ. (2020, 3. srpna). IIJ builds IoT system for new production line at Toyota Motor Hokkaido. <https://www.iiij.ad.jp/en/news/pressrelease/2020/0803.html>

Inform. (2021, 7. června). 5GEM use case: Ford optimizes quality with 5G and hybrid cloud. <https://inform.tmforum.org/features-and-opinion/5gem-use-case-ford-optimizes-quality-with-5g-and-hybrid-cloud>

Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1683-1695.

Jevons, H. S. (1931). The second industrial revolution. *The Economic Journal*, 41(161), 1-18.

Jiang, Y., Yin, S., Li, K., Luo, H., & Kaynak, O. (2021). Industrial applications of digital twins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2207), 20200360.

- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process safety and environmental protection*, 117, 408-425.
- Kigure, H. (2023, 8. prosince). Quantum Computational Research at the Frontier Research Center. Toyota. <https://global.toyota/en/mobility/frontier-research/40116363.html>
- Kildal, J., Tellaeché, A., Fernández, I., & Murtua, I. (2018). Potential users' key concerns and expectations for the adoption of cobots. *Procedia CIRP*, 72, 21-26.
- Koenig, B. (2019, 20. března). Ford Provides Peek of Its Digital Manufacturing Strategy. SME. <https://www.sme.org/ford-provides-peek-of-its-digital-manufacturing-strategy>
- Kulawik, J., & Schlesag, M. (2018, 26. června). Data scientists at Volkswagen work on the pre-dictive analysis of large data volumes. Volkswagen Group. <https://www.volkswagen-group.com/en/press-releases/data-scientists-at-volkswagen-work-on-the-pre-dictive-analysis-of-large-data-volumes-16688>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6, 239-242.
- Lawson, G., Salanitri, D., & Waterfield, B. (2016). Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer. *Applied ergonomics*, 53, 323-330.
- Leng, J., Zhong, Y., Lin, Z., Xu, K., Mourtzis, D., Zhou, X., ... & Shen, W. (2023). Towards resilience in Industry 5.0: A decentralized autonomous manufacturing paradigm. *Journal of Manufacturing Systems*, 71, 95-114.
- Li, G., Xue, J., Li, N., & Ivanov, D. (2022). Blockchain-supported business model design, supply chain resilience, and firm performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102773.
- Liu, X. (2022). Demonstration of Supply Chain Management in Big Data Analysis from Walmart, Toyota, and Amazon. *BCP Business & Management*, 34, 1198-1203.

Lovati, S. (2023, 19. března). Ford Enlists Quantum Computing in EV Battery Materials Hunt. EE Times. <https://www.eetimes.eu/ford-enlists-quantum-computing-in-ev-battery-materials-hunt/>

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10.

Lu, Y., Liu, C., Kevin, I., Wang, K., Huang, H., & Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 61, 101837.

Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing. In *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: The 41 st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26–28, 2008, Tokyo, Japan* (pp. 115-118). Springer London.

Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.

Majeed, A., Zhang, Y., Ren, S., Lv, J., Peng, T., Waqar, S., & Yin, E. (2021). A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 102026.

Marek, S. (2022, 25. února). Drilling down on 6G's ambitious goals. Fierce Network. <https://www.fierce-network.com/5g/mareks-take-drilling-down-6gs-ambitious-goals>

Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., ... & Di Donato, M. (2017). Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *Procedia manufacturing*, 11, 1296-1302.

May, G., Taisch, M., Bettoni, A., Maghazei, O., Matarazzo, A., & Stahl, B. (2015). A new human-centric factory model. *Procedia CIRP*, 26, 103-108.

McKinnon, A. (2010). Environmental sustainability. *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics*. London.

Meikle, T. (2024, 3. dubna). Here's how Ford is living in a mixed reality. Stuff. <https://stuff.co.za/2024/04/02/heres-how-ford-is-living-in-a-mixed-reality/>

Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing.

Miller, D. (2022, 3. února). Volkswagen Deploys Private 5G Network. Automation World. <https://www.automationworld.com/communication/article/22031163/volkswagen-nokia-private-5g-wolfsburg-germany>

Ministerstvo životního prostředí. (n.d.). Udržitelný rozvoj. <https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny-rozvoj>

Mokyr, J., & Strotz, R. H. (1998). The second industrial revolution, 1870-1914. *Storia dell'economia Mondiale*, 21945(1).

Moser, T., Hohlagschwandtner, M., Kormann-Hainzl, G., Pözlbauer, S., & Wolfartsberger, J. (2019). Mixed reality applications in industry: challenges and research areas. In *Software Quality: The Complexity and Challenges of Software Engineering and Software Quality in the Cloud: 11th International Conference, SWQD 2019, Vienna, Austria, January 15–18, 2019, Proceedings 11* (pp. 95-105). Springer International Publishing.

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.

Ortiz, J. H. (2020). Industry 4.0: Current status and future trends.

Østergaard, E. H. (2018). Welcome to industry 5.0. *Retrieved Febr, 5, 2020.*

Parida, V., Sjödin, D., & Reim, W. (2019). Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: Past achievements and future promises. *Sustainability*, 11(2), 391.

Partida, D. (2021, 8. listopadu). How the Internet of Things (IoT) is Used by Volkswagen Group, BigBelly Solar, Deep Sky Vineyards, Citizen Care Pod, and Canutillo Independent

- School District: Case Studies. Datamation.
<https://www.datamation.com/networks/internet-of-things-iot-use-cases/>
- Pulley, M. L., & Wakefield, M. (2001). *Building resiliency: How to thrive in times of change*. Center for Creative Leadership.
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016, October). Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. In *proceedings of the international conference on computers and industrial engineering (CIE46), Tianjin, China* (pp. 29-31).
- Ross, L. (2022, 10. srpna). How Big Data Is Steering Ford Motor. THOMAS.
<https://www.thomasnet.com/insights/how-big-data-is-steering-ford-motor/>
- Rožanec, J. M., Novalija, I., Zajec, P., Kenda, K., Tavakoli Ghinani, H., Suh, S., ... & Soldatos, J. (2022). Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications. *International Journal of Production Research*, 1-26.
- Sabella, D. (2021). *Multi-access edge computing: Software development at the network edge* (pp. 3-379). Springer.
- Sánchez, J. M. G., Jörgensen, N., Törngren, M., Inam, R., Berezovskyi, A., Feng, L., ... & Tan, K. (2022). Edge computing for cyber-physical systems: A systematic mapping study emphasizing trustworthiness. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems (TCPS)*, 6(3), 1-28.
- Sarmah, S. S. (2018). Understanding blockchain technology. *Computer Science and Engineering*, 8(2), 23-29.
- Sharma, A., & Singh, B. J. (2020). Evolution of industrial revolutions: A review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(11), 66-73.
- Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020, March). Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0). In *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)* (pp. 1-5). IEEE.

Simões, A. C., Soares, A. L., & Barros, A. C. (2020). Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of engineering and technology management*, 57, 101574.

Smejkal, V. (2010). *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích-3., rozšířené a aktualizované vydání*. Grada Publishing as.

Snyder, T., & Byrd, G. (2017). The internet of everything. *Computer*, 50(06), 8-9.

Škrdlíková, H (2019). Možnosti aplikace principů environmentální udržitelnosti na Univerzitě Palackého v Olomouci [Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci] Theses. <https://theses.cz/id/a59dia/>

Taneja, A., Rani, S., Raza, S., Jain, A., & Sefat, S. M. (2023). Energy efficient IRS assisted 6G network for Industry 5.0. *Scientific Reports*, 13(1), 12814.

Toyota EU. (2023, 22. srpna). Our manufacturing companies have digital twins. <https://www.toyota-europe.com/news/2023/our-manufacturing-companies-have-digital-twins>

Toyota Industries Corporation. (2021, 12. dubna). Toyota Industries Corporation and Siemens cooperate on digital transformation for die casting. <https://www.toyota-industries.com/news/2021/04/12/005049/index.html>

Toyota. (n.d.). About Company. <https://global.toyota/en/>

Tsai, C. W., Lai, C. F., Chao, H. C., & Vasilakos, A. V. (2015). Big data analytics: a survey. *Journal of Big data*, 2(1), 1-32.

Universal Robots. (2019, 31. července). UR10 Cobots Optimize the Assembly Line. <https://www.universal-robots.com/case-stories/ford-motor-company/>

Universal Robots. (2022, 24. července). Streamlining operating rates with cobot automation. <https://www.universal-robots.com/case-stories/toyota-motor-hokkaido-inc/>

Universal Robots. (2023, 14. listopadu). 10 Cobots Improve Quality and Guarantee 'Just in Time' Manufacture. <https://www.universal-robots.com/case-stories/seat-components/>

Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342-348.

Vignesh, N. (2023, 13. září). BMW, Tesla and Ford: How the Automobile Giants Are Using Blockchain. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/bmw-tesla-ford-how-automobile-giants-using-blockchain-vignesh-n/>

Vinitha, K., Prabhu, R. A., Bhaskar, R., & Hariharan, R. (2020). Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3956-3960.

Volkswagen Group. (n.d.). About Us. <https://www.volkswagen-group.com/en/about-us-16013>

Volkswagen Newsroom. (2022, 3. ledna). Development using VR glasses: How Volkswagen uses virtual workflows. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/development-using-vr-glasses-how-volkswagen-uses-virtual-workflows-15786>

Volkswagen US Media. (2020, 12. března). Volkswagen brings augmented reality to life along the factory line. <https://media.vw.com/en-us/releases/1266>

Volkswagen. (2021, 15. července). Volkswagen takes the quantum computing revolution from the lab to the factory. <https://www.vw.com/en/newsroom/future-of-mobility/quantum-computing.html>

Weckenborg, C., Schumacher, P., Thies, C., & Spengler, T. S. (2023). Flexibility in manufacturing system design: A review of recent approaches from Operations Research. *European journal of operational research*.

Weiss, A., Wortmeier, A. K., & Kubicek, B. (2021). Cobots in industry 4.0: A roadmap for future practice studies on human-robot collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 335-345.

Woods, D. D. (2005). Creating foresight: lessons for enhancing resilience from Columbia. *Organization at the limit: lessons from the Columbia disaster*.

Zakoldaev, D. A., Shukalov, A. V., Zharinov, I. O., & Zharinov, O. O. (2019, May). Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*(Vol. 537, No. 3, p. 032005). IOP Publishing.

Zheng, J. M., Chan, K. W., & Gibson, I. (1998). Virtual reality. *Ieee Potentials*, 17(2), 20-23.

Seznam obrázků

Obrázek 1: *Propojenost tří základních pilířů udržitelnosti, zdroj: https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny_rozvoj8*

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Shrnutí průmyslových revolucí, zdroj: autor</i>	6
<i>Tabulka 2: Matice na základě souvislostí mezi technologiemi a charakteristikami průmyslu 5.0, zdroj: autor.....</i>	19
<i>Tabulka 3: Souvislost charakteristik průmyslu 5.0 s technologiemi na základě jejich benefitů, zdroj: autor</i>	21
<i>Tabulka 4: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Volkswagen, zdroj: autor.....</i>	25
<i>Tabulka 5: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Toyota, zdroj: autor.....</i>	28
<i>Tabulka 6: Hodnocení míry implementace průmyslu 5.0 ve společnosti Ford, zdroj: autor.....</i>	31

Zadání práce



Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

Zadání bakalářské práce

Autor: Statis Kandilakis

Studium: I2000803

Studijní program: B0413A050021 Ekonomika a management

Studijní obor: Ekonomika a management

Název bakalářské práce: Implementace průmyslu 5.0 v automobilovém odvětví

Název bakalářské práce AJ: Implementation of Industry 5.0 in the automotive sector

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cíl: Vymezení konceptu průmyslu 5.0 a jeho míra implementace ve vybraných podnicích automobilového odvětví.

Osnova:

1. Úvod
2. Cíl a metodika práce
3. Teoretická část - Vymezení konceptu průmyslu 5.0
4. Praktická část - Míra implementace průmyslu 5.0 ve vybraných podnicích
5. Závěr

V souladu s Výnosem děkana 1/2000 ve znění pozdějších úprav.

Tuzemské a zahraniční odborné zdroje, databáze Web of Science a Scopus

Zadávací pracoviště: Katedra managementu,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: prof. Ing. Hana Mohelská, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 15.10.2021