

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Diplomová práce

Analýza a vizualizace dat modelu výrobní linky

**Analysis and visualization of production line model
data**

Bc. Karina Nguyenová

Plzeň 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

„Analýza a vizualizace dat modelu výrobní linky“

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

Plzeň dne

v. r. *Karina Nguyenová*

Zásady pro vypracování práce

1. Vymezte pojmy digitalizace a Industry 4.0.
2. Charakterizujte datové modelování.
3. Proveďte analýzu dat současného stavu.
4. Realizujte datovou analýzu a vizualizaci dat pomocí datového analytického nástroje.
5. Navrhněte vhodná rozšíření datového modelu o další atributy.

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Šimonovi, PhD. za odborné vedení jeho rady a trpělivost. Také děkuji konzultantům doc. Ing. Pavlovi Raškovi, PhD. a Ing. Miroslavu Malagovi, PhD. za ochotu a zodpovídání velkého množství dotazů spojených s model výrobní linky. Dále bych chtěla velmi poděkovat všem svým kolegům jmenovitě především Ing. Ondřeji Musilovi a Bc. Václavovi Sikovi za jejich cenné rady v oblasti databází. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a všem svým blízkým za jejich nekonečnou podporu, trpělivost, motivaci a pochopení.

Obsah

Úvod	6
1 Průmysl a průmyslové revoluce	7
1.1 Historický vývoj průmyslu	7
1.2 Čtvrtá průmyslová revoluce.....	9
1.3 Současnost	13
2 Digitalizace	16
2.1 Smart technologie	16
2.1.1 Internet of things (IoT)	17
2.1.2 AI (Artificial Intelligence).....	20
2.1.3 Robotika.....	24
3 Datové modelování	27
3.1 Typy datového modelování	27
3.2 Datový model.....	28
3.3 Microsoft SQL	30
3.4 Nástroje pro grafické znázornění	30
4 Model Fischertechnik	32
4.2 Datový model.....	38
4.3 Databáze.....	40
4.3.1 Pohledy	41
5 Vizualizace v PowerBI	43
5.1 Informace o zpracovaných obrocích.....	44
5.2 Popisná statistika.....	47
5.3 Oprava strojů.....	53

5.4	Vnější vlivy	57
5.5	Zmetkovitost	65
6	Návrh opatření a rozšíření datového modelu	69
6.1.1	Náklady na proces (ProcessCosts)	69
6.1.2	Materiál (Materials)	70
6.1.3	Zaměstnanci (Employees)	72
6.1.4	Závady (Faults)	72
6.1.5	Záznamy o opravách (RepairRecords)	73
6.2	Datový model rozšířen o návrh opatření	75
6.3	Další návrhy opatření	76
6.3.1	Kontrola kvality	76
6.3.2	Konzistentnost	77
	Závěr	78
7	Seznam použitých zdrojů	79
8	Seznam tabulek	86
9	Seznam obrázků	87
	Seznam příloh	89

Přílohy

Abstrakt

Abstract

Úvod

V dnešní době rychlého technologického pokroku a stále se zvyšující digitalizace průmyslových procesů se stává téma Průmyslu 4.0 stále aktuálnější. Průmysl 4.0 představuje revoluční přístup v integraci automatizace, datového modelování, robotizace a technologií internetu věcí (IoT) do průmyslové výroby. Tato diplomová práce se zabývá teoretickým popisem těchto klíčových prvků Průmyslu 4.0, s důrazem na digitalizaci, robotizaci a význam databází, které jsou zásadní pro moderní průmyslové prostředí.

Cílem této práce je nejen popsat teoretické základy Průmyslu 4.0 a jeho aplikace, ale také prakticky demonstrovat využití těchto technologií na konkrétním příkladu. V praktické části je použita databáze SQL, na které jsou vytvářeny různé pohledy a následně jsou data vizualizována a analyzována pomocí nástroje Power BI. Součástí praktické aplikace je i návrh rozšíření datového modelu o ekonomické aspekty, jako jsou přehled zaměstnanců, závad, nákladů na materiál a procesy. Tato integrace umožňuje lepší pochopení a optimalizaci průmyslových procesů v kontextu Průmyslu 4.0.

Struktura práce je navržena tak, aby postupně vedla od teoretických základů k praktickému využití technologií Průmyslu 4.0. Po úvodu následuje teoretická část, která popisuje jednotlivé technologické aspekty a jejich význam v průmyslové praxi. Po teoretické části se přechází k praktické aplikaci. V závěrečné části jsou navrženy možnosti dalšího rozvoje a integrace ekonomických dat do modelu.

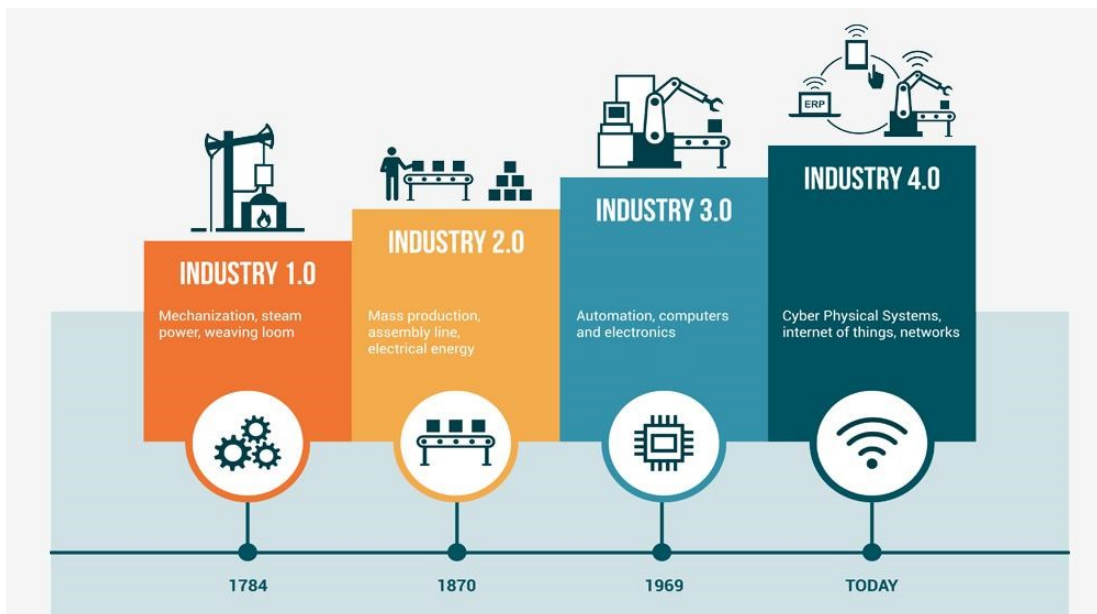
1 Průmysl a průmyslové revoluce

Průmysl představuje důležitý segment ekonomiky, jehož hlavním posláním je výroba produktů prostřednictvím vysoce mechanizovaných a automatizovaných procesů. Od počátku industrializace došlo k mnohým technologickým inovacím, které přinesly převratné změny. Tyto převratné momenty jsou zpětně nazývány jako průmyslové revoluce. (Lasi et al., 2014)

1.1 Historický vývoj průmyslu

Během posledních třech staletí se vývoj průmyslu odehrál ve čtyřech zlomových obdobích, přičemž každé období bylo spojeno s jednou průmyslovou revolucí. Tyto revoluce přinesly zásadní změny a inovace, které měly vliv na průmysl a ekonomiku celosvětově a vymezují klíčové momenty v technologickém vývoji, které formovaly průmyslový sektor. Průmyslové revoluce ovlivnily způsob výroby, zpracování informací a interakce s technologiemi. Přinášejí také významné změny v průmyslových postupech a celkovém ekonomickém prostředí. V následujících několika podkapitolách budou jednotlivé průmyslové revoluce v krátkosti představeny a jejich grafické znázornění je na Obr. 1.

Obr. 1: Grafické znázornění jednotlivých průmyslových revolucí



Zdroj: (Yadin, 2021)

1. První průmyslová revoluce

První průmyslová revoluce začala ve Velké Británii a odehrála se na konci 18. a začátku 19. století.

Jednalo se o jeden z nejvýznamnějších zlomů v historii lidstva. Během tohoto období se přešlo z ruční na mechanizovanou výrobu. Lidská a zvířecí práce byla nahrazena strojními zařízeními jako je parní stroj, který umožnil mechanizaci mnoha průmyslových procesů. (Yáñez, 2017) (Mohajan, 2019)

2. Druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce, která se datuje kolem roku 1850, měla v Americe zásadní dopad na společnost a ekonomiku. Tato éra transformovala strukturu společnosti přechodem z venkovského prostředí k urbanizaci a rozvoji městských oblastí. Klíčové vynálezy této revoluce jako elektřina, spalovací motory, chemický průmysl, těžba ropy, nové slitiny, elektrické komunikační technologie a tekoucí voda vnitřním potrubím, znamenaly revoluční posun ve výrobě a průmyslových postupech. Tyto vynálezy poskytly základ pro masovou výrobu, která zásadně změnil ekonomický model a způsob, jakým byly vyráběny výrobky. Elektrifikace, využití motorů a nové materiály umožnily značný technologický pokrok, který ovlivnil širokou škálu odvětví. (Yáñez, 2017) (Mohajan, 2020) (Library of Congress, b.r.)

3. Třetí průmyslová revoluce

V padesátých letech 20. století došlo ke třetí průmyslové revoluci, která představovala přechod od mechanických a analogových elektronických technologií k digitální elektronice. Klíčové hnací síly této revoluce zahrnují informační technologie, 3D tisk a robotiku, které zásadně změnily průmyslové a technologické postupy. Během této transformace vzniklo mnoho nových obchodních organizací a byly vytvořeny miliony pracovních míst, což ovlivnilo ekonomiku a zaměstnanost významným způsobem. V důsledku třetí průmyslové revoluce se světová ekonomika zhruba desetkrát zvětšila, což naznačuje rozsah a sílu této transformace v průmyslu a obchodu. Tato éra technologické inovace výrazně ovlivnila prakticky všechna odvětví. (Yáñez, 2017) (Mohajan, 2021)

1.2 Čtvrtá průmyslová revoluce

Současná čtvrtá průmyslová revoluce, která se také nazývá jako Průmysl 4.0 představuje zásadní období ve 21. století. Jedná se o jedinou průmyslovou revoluci, která byla pojmenována dopředu, tedy popisovala něco, co ještě neproběhlo. Tato revoluce nese vizionářský pohled na plnou automatizaci výroby a vznik inteligentních sítí, které mají schopnost autonomního řízení, a to napříč celým hodnotovým řetězcem. Tímto posunem se předpokládá přechod k novým formám automatizace, kde systémy a technologie budou schopny nezávislého rozhodování a reakcí na změny prostředí či požadavků trhu. Tato vize inteligentních sítí a plné automatizace zahrnuje propojení řízení, analyzování dat v reálném čase a možnost predikce, což umožní efektivnější a adaptivnější provoz. (Yáñez, 2017) (Popkova, Ragulina & Bogoviz, 2019)

Průmysl 4.0 označuje fázi, která se významně zaměřuje na automatizaci výroby, strojové učení, propojení a získávání dat v reálném čase. Je charakteristické využívání digitálních technologií k efektivnější a flexibilnější výrobě, která dokáže lépe reagovat na potřeby zákazníka. Hlavním cílem této průmyslové revoluce je zavedení inteligentních továren, které umožňují vyšší flexibilitu ve výrobě, efektivní rozdělování zdrojů a propojení procesů s cílem vytvořit plně integrované a neustále optimalizované výrobní prostředí. Tento proces zahrnuje monitorování zařízení od počátku výroby až po konečné dodání. Za pomoci internetu, bezdrátových technologií, softwaru a dalších pokročilých technologií, jsou schopny nahrazovat opakující se jednoduché úkony, které před nástupem průmyslu 4.0 vykonávali lidé. (CEMI MBA Studies s.r.o, 2022) (Evans, 2011)

Průmysl 4.0 v podnikání

Implementace průmyslu 4.0 do podniků s sebou přinášela velké obavy. Zaměstnanci se báli o svá pracovní místa, že budou nahrazeni novými technologiemi. Pro firmy zavedení průmyslu 4.0 znamenalo riziko velké investice. Štěpán Jurajda z CERGE – EI vysvětlil na konferenci, že dlouhodobé výzkumy z Německa ukazují, že firmy, které zavádějí Průmysl 4.0, nepropouštějí své zaměstnance, ale naopak. Firmy, které tyto technologie nezavádějí postupně ztrácejí své postavení na trhu a o zaměstnance přicházejí. (Gbelec, 2020)

Průmysl 4.0 neovlivňuje pouze výrobní procesy, ale také rozvoj podnikání. Firmy, které si osvojily změny průmyslu 4.0, měly mnohem větší šanci na úspěch oproti konkurenci.

Digitální transformace může podniku pomoci zvýšit jeho produktivitu, předvídat peněžní toky, nebo nastavení zásob. V rozvoji podnikání má průmysl 4.0 velkou roli ve zvyšování produktivity. Z toho důvodu je velmi důležité předvídat a předcházet prostojům, optimalizovat efektivitu a údržbu zařízení. Digitální technologie mohou pomoci zaměstnancům k vyšší efektivitě. Zásahu na tom mají především senzory a řídicí funkce, kterými je vybaveno nejen stále více produktů a přístrojů, ale i celé výrobní jednotky. Ty jsou propojeny pomocí internetu, a mohou tak být jednoduše programovány a řízeny (IoT). Díky tomu je možné reagovat s výrazně větší flexibilitou na nové požadavky nebo podmínky v oblasti výroby a při kontaktu se zákazníky.

V kontextu rozvoje podnikání má průmysl 4.0 také vliv na snižování provozních nákladů. Úspory na nákladech mohou plynout z procesu monitorování výroby a kontroly kvality v reálném čase s cílem snížit plýtvání a přepracování. Na základě prediktivní údržby je předcházeno neplánovaným odstávkám nebo nákladným opravám výrobních strojů. Náklady snižuje také samotná automatizace, která přináší úspory nákladů na pracovní sílu. (CEMI MBA Studies s.r.o, 2022) (Čičvácová, 2017)

Vývoj průmyslu 4.0

Hainera Lasi (2014) charakterizoval vývoj Průmyslu 4.0 dvěma směry:

1) Obecné sociální, ekonomické a politické změny

- Krátká výrobní období – zkrácení času potřebného od výroby produktu po jeho uvedení na trh hraje klíčovou roli, jelikož inovační schopnost se stává základním faktorem úspěchu pro mnoho podniků.
- Flexibilita – nové požadavky vyžadují vyšší flexibilitu v procesu vývoje produktů, zejména v oblasti výroby.
- Decentralizace – k dosažení stanovených cílů je nutné zavedení rychlejších rozhodovacích postupů, což obvykle vyžaduje redukci organizační hierarchie.
- Efektivita zdrojů – rostoucí nedostatek a zvýšení cen zdrojů v kombinaci se změnami sociálními a ekologickými aspekty vyžadují intenzivnější zaměření na udržitelnost v průmyslovém kontextu. Cílem je dosažení ekonomické a ekologické udržitelnosti a zvýšení efektivity využití zdrojů.

2) Technologický tlak

- Zvyšování mechanizace a automatizace – v pracovním prostředí se očekává další využívání technologických prostředků pro podporu fyzické práce. Navíc

automatická řešení přijmou provádění všestranných operací, které se skládají z provozních, dispozičních a analytických komponent, jako jsou „autonomní“ výrobní buňky, které nezávisle řídí a optimalizují výrobu v různých krocích.

- Digitalizace a vytváření sítí – narůstající digitalizace výrobních a podpůrných nástrojů zaznamenává exponenciální nárůst dat od aktérů a senzorů, což podporuje funkce kontroly a analýzy. Tento digitální pokrok přináší zvýšené propojení technických prvků a přispívá k rozšíření digitalizovaného prostředí.
- Miniaturizace – Současný trend směřuje k miniaturizaci technologií. Dnes lze zařízení s podobným výkonem jako zařízení, které ještě před několika lety zabíralo významný prostor instalovat na malém prostoru, což otevírá nové možnosti v oblasti výroby a logistiky.

Nástroje průmyslu 4.0

Pro komplexnější popsání průmyslu 4.0 je vhodné představit jeho základní nástroje. Michaela Adámková (2021) ve svém článku definuje základní nástroje průmyslu 4.0 jako:

- **Digitální ekonomika** – jedná se o koncept, který umožňuje rozmach informací společnosti. Představuje nový způsob využívání stávajících zdrojů, díky vzniku nových informačních a komunikačních technologií.
- **Kyber-fyzikální systémy** – označují systémy složené z několika fyzických částí řízené počítačovými algoritmy, které umožňují autonomní rozhodování a spolupráci všech jednotek. Jedná se o velmi komplexní systém propojující kybernetiku, mechatroniku a oblast výroby. S využíváním kyber-fyzikálních systémů se pojí velké množství výhod, jako je generování velkého množství dat k dalšímu použití.
- **Internet věcí (IoT) a internet služeb (IoS)** – internet služeb a internet věcí vycházejí z velmi podobného principu. Internet věcí se zakládá na poskytování služeb pro všechny články uvnitř systému, zatímco internet věcí zajišťuje propojení všech zařízení s člověkem a vzájemně mezi sebou. (Adámková, 2021)

V tomto silně datově orientovaném průmyslovém modelu jsou důležité zejména technologie velkých dat (Big Data) a pokročilé analytické technologie, které umožňují mimo jiné odhalovat neefektivnost, předvídat selhání, optimalizovat a simulovat výrobní procesy. (Yáñez, 2017)

9 Pilířů průmyslu 4.0

Koncept průmyslu 4.0 se opírá o devět základních technologických pilířů, které tvoří základ pro transformaci průmyslové výroby a řízení. Tyto pilíře zahrnují:

- 1) Internet věcí (IoT) – umožňuje vzájemnou komunikaci strojů, zařízení a systémů v reálném čase
- 2) Kyberneticko-fyzikální systémy (CPS) – propojují digitální a fyzický svět pro tvorbu inteligentních výrobních prostředí
- 3) Cloudové služby – online ukládání dat přes internetové služby
- 4) Analýzu velkých dat (Big data) – umožňuje efektivní zpracování rozsáhlých datových souborů pro optimalizaci rozhodovacích procesů
- 5) Aditivní výrobu – aditivní výroba se dá chápat také jako 3D tisk, který přináší rychlost a adaptabilitu ve výrobě s komplexními strukturami
- 6) Autonomní robotiku – umožňuje robotům bezpečně koexistovat s lidskými pracovníky a zvyšuje produkční efektivitu
- 7) Simulace a virtuální dvojčata – platformy pro testování a zdokonalení výrobních procesů v digitálním formátu
- 8) Horizontální a vertikální integraci systémů – zajišťují hladkou komunikaci a koordinaci mezi různými úrovněmi organizace
- 9) Kybernetickou bezpečnost – bezpečnost je základní pro ochranu dat a systémů před kybernetickými útoky

Integrace těchto pilířů Průmyslu 4.0 zvyšuje produktivitu a adaptabilitu výrobních procesů. Zároveň také podněcuje inovace a umožňuje vznik nových obchodních modelů. Na základě těchto technologií může Průmysl 4.0 přizpůsobit výrobu individuálním potřebám zákazníka, zatímco zajišťuje vysokou úroveň kvality a udržitelnosti. (Polívka & Dvořáková, 2022) (Huček, 2022) (Hodová, 2020) (Procházková, 2018) (Polívka & Dvořáková, 2019)

1.3 Současnost

V současné době je za další budoucí krok v průmyslových revolucích označována pátá průmyslová revoluce, se kterou se lze často také setkat pod názvem Průmysl 5.0. Cílem průmyslu 5.0 by mělo být využití spolupráce lidí s inteligentními, efektivními a přesnými stroji tak, aby bylo dosaženo účinnějších a uživatelsky příznivějších řešení ve srovnání s průmyslem 4.0. Myšlenkou je zvýšit kvalitu výroby a produkci tím, že opakující se a monotónní úkoly budou přiděleny strojům a úkoly, které vyžadují kritické myšlení budou prováděny lidmi. V literatuře se lze setkat s několika způsoby, jak definovat průmysl 5.0. (Maddikunta et al., 2022)

Definice

Michael Rada (zakladatel a vůdce průmyslu 5.0) definuje průmysl 5.0 jako revoluci založenou na principu 6R (Recognize, Reconsider, Realize, Reduce, Reuse and Recycle), což lze volně přeložit jako rozpoznat, přehodnotit, uvědomit si, redukovat, znovu použít a recyklovat, a myšlenkou je prevence vzniku odpadu a zvýšení logistické efektivity. (Rada, 2018)

Nahavandi (2019) uvádí průmysl 5.0 jako spojení stroje a lidské kreativity pro zvýšení efektivity prostřednictvím integrace pracovních postupů s inteligentními systémy.

Maddikunta (2022) udává průmysl 5.0 jako řešení zaměřené na člověka, kde člověk spolupracuje s koboty (kolaborativními roboty – robotické rameno, které zvládne široký rozsah aplikací), a které umožňuje autonomní výrobu prostřednictvím firemních inteligentních sítí. Tento zdroj se svou další definicí shoduje s předchozími, že kolaborativní roboti budou využíváni pro opakující se úkoly a náročnou práci, zatímco člověk bude mít na starost kritické myšlení.

Vývoj Průmyslu 5.0

Obecně se dá říci, že ačkoliv je průmysl 4.0 stále poměrně novou záležitostí, vlivem rychlosti neustálého vývoje technologií, roste i potřeba zdokonalení průmyslových procesů. Za deset let své existence se ale podle Evropské komise poněkud odklonil od principů sociální spravedlnosti a udržitelnosti a soustředil se pouze na digitalizaci a technologie poháněné umělou inteligencí. Průmysl 5.0 staví na základech průmyslu 4.0 a

jeho vize se zaměřují na udržitelnější budoucnost a integraci inteligentních systémů a robotů do lidské práce. (ElektroPrůmysl.cz, 2023) (Kříž, 2023)

Zavedení průmyslu 5.0 je postavené na pozorování či předpokladu toho, že průmysl 4.0 se zaměřuje více na digitalizaci a technologie řízené umělou inteligencí pro zvýšení efektivity a flexibility výroby než na původní principy sociální spravedlnosti a udržitelnosti. Proto průmysl 5.0 poskytuje jiný úhel pohledu a zdůrazňuje význam výzkumu a inovací pro podporu průmyslu s ohledem na životní prostředí. Před formálním zavedením pojmu průmysl 5.0 se již vedly diskuse o „věku rozšiřování“, ve kterém se člověk a stroj smiřují a pracují v symbióze. (Xu et al., 2021)

Z praktičtějšího pohledu má průmysl 5.0 zefektivnit výrobu a snížit náklady, zvýšit výkonnost zaměstnanců a ponechat jim kontrolní roli, opětovně zvednout laťku bezpečnosti práce i produktů a zdůraznit význam a potřebu kontinuálního vzdělávání nebo zvýšit konkurenceschopnost na nových trzích. (Kříž, 2023)

Rozšíření průmyslu 4.0

Na základě zmiňovaných informací Průmysl 5.0 tolik nepředstavuje další průmyslovou revoluci, ale spíše slouží k rozšíření technologií Průmyslu 4.0 posílením spolupráce mezi lidmi a roboty. S průmyslem 5.0 je devět pilířů Průmyslu 4.0 rozšířeno o snahu umístit lidskou tvořivost a spokojenost do centra průmyslu. (SAP, 2024)

Přijetí Průmyslu 5.0 jako doplňku k Průmyslu 4.0 může významně posílit pracovní sílu. Zejména přivádí vysoce kvalifikované pracovníky a kolaborativní roboty (koboty) do práce vedle sebe. Tím se zvyšuje hodnota, kterou přináší do výroby každý z nich. Tato vyvinutá generace strojů je vybavena senzory, akumulátory a AI ovladači, které umožňují pracovat vedle člověka bezpečným způsobem. Pod pojmem kolaborativní robot neboli „kobota“ si lze představit robota, který pracuje po boku člověka jako průvodce nebo asistent. Rozdíl mezi kobotem a autonomním robotem je takový, že ve chvíli, kdy je autonomní robot naprogramován, pracuje samostatně. Kolaborativní roboti jsou navrženi tak, aby reagovali na lidské instrukce a akce. (SAP, 2024) (Maddikunta et al., 2022)

Hlavní rozdíly v průmyslu 4.0 a průmyslu 5.0

Jak již bylo zmíněno, tak se Průmysl 5.0 považuje spíše za doplnění Průmyslu 4.0. Přesto ale tyto dvě revoluce přinášejí značně rozdílné charakteristiky.

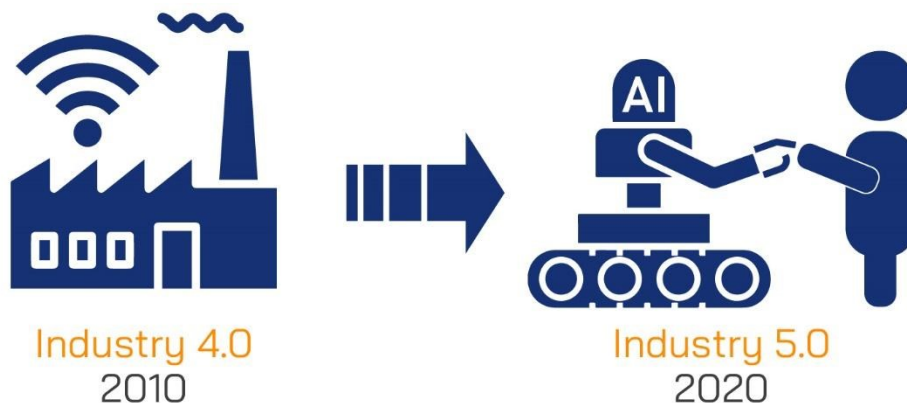
Průmysl 4.0

- Zaměřuje se na zvýšení efektivity prostřednictvím digitální konektivity a umělé inteligence
- Technologicky se soustředí na kombinované kyberneticko-fyzikální cíle.
- Zaměřuje se na minimalizaci nákladů a maximalizaci zisku
- Nezaměřuje se na design a výkonnostní dimenze nezbytné pro systémovou transformaci a oddělení využívání zdrojů a materiálů od negativních dopadů na životní prostředí, klima a společnost

Průmysl 5.0

- Vytváří rámec, který spojuje konkurenceschopnost s udržitelností a umožňuje průmyslu využít jeho potenciál jako jedno z pilířů transformace společnosti
- Posiluje postavení pracovníků prostřednictvím používání digitálních zařízení a podporuje přístup k technologiím zaměřený na člověka
- Vytváří cesty přechodu k environmentálně udržitelnému využívání technologií
- Rozšiřuje odpovědnost korporací na celé jejich hodnotové řetězce
- Zavádí ukazatele, které v každém průmyslovém ekosystému indikují pokrok dosažený na cestě ke spokojenosti, oddanosti a celkové udržitelnosti (Kříž, 2023)

Obr. 2: Ukázka přechodu od průmyslu 4.0 k průmyslu 5.0



Zdroj obrázku: (AEWIN Technologies Co. Ltd., 2024)

2 Digitalizace

Digitalizace je pojem, který nelze jednoduše definovat, důvodem je, že se vyvíjí v rámci rozmanitých kontextů a aplikací. V IT slovníku je pojem digitalizace definován jako *„proces konverze informací do digitálního formátu, ve kterém jsou informace uspořádány do bitů. Výsledkem je reprezentace objektu, obrazu, zvuku, dokumentu nebo signálu vytvořením řady čísel, které popisují diskrétní množinu bodů.“* (IT slovník.cz, b.r.)

Nicméně obecně se dá říct, že v základním smyslu představuje transformaci informací, dat, procesů a činností z analogového formátu do digitální podoby. Proces digitalizace umožňuje data uchovávat, zpracovávat a sdílet efektivněji než dřívější analogová podoba, tím usnadňuje přístup k informacím a modernizuje tak způsob, jakým společnost funguje. (Ustundag & Cevikcan, 2017)

Digitalizace z pohledu podniků může být klíčem k udržení konkurenceschopnosti. Zrychlující tempo změn a procesy globalizace ovlivňují organizace i jednotlivce.

Digitalizace se mimo konverzi dat do elektronické podoby využívá také ke zlepšení procesů, automatizaci rutinních úkolů a zavedení inovativních přístupů ke komunikaci a řízení. (Ustundag & Cevikcan, 2017)

2.1 Smart technologie

V současné době se stále častěji setkáváme s označením produktů jako „chytrý“ a „inteligentní“. Avšak toto označení je často používáno bez zvažování jeho opravdových vlastností. Podle Wordena (2003) je klíčovým aspektem otázka, zda produkt, který je prezentován jako chytrý skutečně splňuje kritéria chytré technologie. Tato kritéria zahrnují schopnost produktu rozpoznat a chápat svoji aktuální situaci a zda je schopný na ni reagovat. Pod zmiňovanou situací si lze představit schopnost produktu vnímat okolní prostředí, ve kterém se nachází, jeho stav nebo pohyb. Na základě těchto informací by měl upravit své funkce nebo reagovat přizpůsobením se nové situaci. (Worden et al., 2003)

2.1.1 Internet of things (IoT)

Z historie se v 80. letech komunikace omezovala na hlasové telefonní linky nebo na dopisy. Postupem času vznikl internet a komunikace dostala novou platformu. Dnešní doba nechala koncept internetu daleko za sebou a přišla s novým termínem Internet of things.

Internet věcí změnil způsob, jakým lidé komunikují s technologiemi. Jeho pomocí se hladce integrují zařízení, senzory a systémy a vytváří rozsáhlou síť propojených objektů, které si vyměňují data a usnadňují inteligentní rozhodování. Výsledkem je otevření nových oblastí inovací, které příležitostem v různých odvětvích. (IFACET IIT Kanpur, 2023)

Definice

Internet věcí zůstává v oblasti, která se stále vyvíjí a formuje, což vede k absenci jednotné a konečné definice. Definice závisí na kontextu a perspektivě, ve které je zkoumána.

V průběhu let došlo v této oblasti k četným pokrokům. Existuje několik definic odvozených různými organizacemi pracující v této oblasti. Každá organizace pojmenovala definici IoT v kontextu svých funkčních schopností. ITU-T nazvala IoT jako „globální infrastrukturu pro informační společnost, umožňující pokročilé služby propojením fyzických a virtuálních věcí založených na existujících a vyvíjejících se informačních a komunikačních technologiích. Jedná se o třídílný vztah mezi aspekty lidí, internetu a věcí, kdy zmiňovaný IoT vzniká v průsečíku těchto tří aspektů. (Khanna & Kaur, 2020) (Elkhodr et al., 2013)

Obecně se může považovat IoT za síť fyzických objektů, jako jsou zařízení, přístroje, vozidla, budovy a další předměty, které jsou vybaveny elektronikou, obvody, softwarem, senzory a síťovým připojením. To umožňuje těmto objektům sbírat a sdílet data, čímž integruje fyzický svět do digitálních systémů a přispívá ke zvýšení efektivity a přesnosti. (Čolaković, 2023)

Klíčovou schopností IoT je schopnost těchto zařízení komunikovat nezávisle na lidském zásahu. Tato autonomní komunikace umožňuje efektivní sběr a výměnu dat mezi objekty v síti.

Při konstrukci IoT byla klíčovým požadavkem propojenost mezi jednotlivými prvky sítě. Stavba infrastruktury IoT sehrává klíčovou roli při zajištění bezproblémového propojení fyzického a virtuálního světa. Dynamická povaha zařízení v rámci IoT, která jsou schopna pohybu a komunikace v reálném čase, kladla na konstrukci zvýšené nároky. (Gubbi et al., 2013)

Architektura

Architektura Internetu věcí (IoT) se skládá z 5 klíčových vrstev zahrnujících vrstvu vnímání, síťovou vrstvu, vrstvu middlewaru, aplikační vrstvu a obchodní vrstvu.

- Vrstva vnímání obsahuje fyzická zařízení, jako jsou senzory a RFID čipy, které sbírají data a předávají je do síťové vrstvy.
- Síťová vrstva funguje jako přenosné médium pro doručení informací do systému zpracování.
- Vrstva middlewaru zpracovává informace získané ze síťové vrstvy a provádí rozhodování prostřednictvím výpočtů.
- Aplikační vrstva využívá zpracované informace pro globální správu a zařízení.
- Obchodní vrstva řídí celkový systém, aplikace a služby, vizualizuje informace a statistiky plánuje budoucí strategie.

Celkově lze IoT architekturu modifikovat podle specifických potřeb aplikačních domén. Kromě vrstveného frameworku existují v IoT systému funkční bloky, které podporují různé aktivity, včetně snímání, autentizace, identifikace, kontroly a řízení. (Kumar et al., 2019)

Taková propojenost a flexibilita architektury IoT umožňuje zařízením dynamicky komunikovat mezi sebou, což podporuje efektivní výměnu informací a bezproblémové fungování celé sítě. Tento dynamický aspekt je klíčový pro úspěšnou implementaci a provoz internetu věcí. (Gokhale et al., 2018)

Internet věcí v průmyslu

IoT se v posledních letech kromě oborů jako je například zdravotnictví rozvinul také v oblasti průmyslu. Moderní průmyslové zařízení a požadavky jsou natolik intenzivní, že funkční schopnost IoT jsou buď upravovány nebo navrženy speciálně tak, aby vyhovovaly potřebám průmyslu. (Khanna & Kaur, 2020)

Za některé z pokroků IoT v oblasti průmyslu mohou být považovány následující:

- Duerkop a kol. zdůraznili mechanismy běhu a další nástroje, které výrazně zjednodušují uvádění do provozu, provoz a údržbu složitých výrobních procesů. (Duerkop et al., 2012)
- Reaidy a kol. navrhli infrastrukturu IoT pro kolaborativní sklad. Studie integrovala přístup zdola nahoru s mnoha mechanismy, jako jsou systémy podpory rozhodování, samoorganizace a vyjednávací protokoly mezi agenty založené na konceptu konkurence a spolupráce. (Reaidy et al., 2015)

Kromě výše zmiňovaných pokroků se za další výhodu IoT dá považovat automatizace průmyslových odvětví. IoT poskytuje převratná řešení pro digitalizaci továren, řízení zásob, kontrolu kvality, logistiku a optimalizaci řízení dodavatelského řetězce. (Kumar et al., 2019)

Trendy IoT

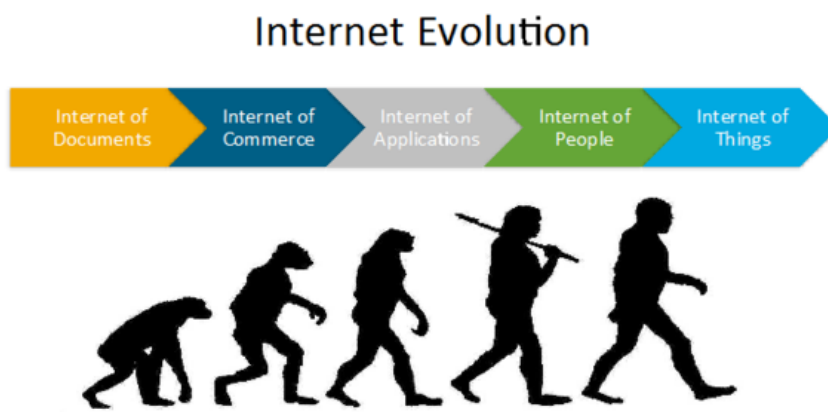
Do budoucna se od IoT očekává, že bude pokračovat v růstu a v rozšiřování do dalších oblastí. Dosavadní pozoruhodný růst trhu IoT slouží jako důkaz jeho neomezeného potenciálu. Podle společnosti Statista se předpokládá, že hodnota trhu IoT dosáhne do roku 2025 zhruba 1,6 bilionu. Kromě toho se také očekává, že do roku 2030 se počet zařízení IoT na celém světě ztrojnásobí z 9,7 miliardy na více než 29 miliard. Zejména se očekává, že Čína povede tuto expanzi. Takovýto exponenciální růst přináší slibné příležitosti a významné výzvy. Mezi prozatím nové trendy v IoT lze zařadit:

- Hraniční architektura (edge computing) – jedná se o přístup, který zpracovává data přímo na zařízeních místo toho, aby je posílal do cloudu k analýze. Přichází s několika výhodami, jako je snížení latence, lepší spolehlivost a zvýšení efektivity zpracování dat.
- Umělá inteligence (AI) a strojové učení (ML) – tyto technologie umožňují využití dat z IoT k vytváření přesnějších a inteligentnějších systémů.
- Smart cities – využívání IoT k napomáhání rozvoji infrastruktury, jako jsou environmentální senzory, dopravní kamery a jednotky pro nakládání s odpady. Cílem je zaměřit se na zvýšení kvality života obyvatel.
- Blockchain – využívá se ke zvýšení bezpečnosti a soukromí. Využitím Blockchainu se data ze zařízení IoT bezpečně ukládají do decentralizované účetní knihy odolné proti neoprávněné manipulaci.

- Digital twins – poskytuje virtuální reprezentaci jakéhokoli druhu fyzického objektu nebo postupu v reálném čase. Má několik použití, včetně diagnostiky, optimalizace, monitorování a kontroly hodnocení výkonu.

Mezi další současné trendy v oblasti IoT lze zahrnout rozšířenou realitu, 5G sítě a robotiku. (IFACET IIT Kanpur, 2023)

Obr. 3: Ukázka vývoje internetu



Zdroj obrázku: (Gilmore, 2024)

2.1.2 AI (Artificial Intelligence)

Umělou inteligenci lze obecně definovat jako dílčí disciplínu informatiky zabývající se vývojem systémů zpracování dat, které vykonávají funkce normálně spojené s lidskou inteligencí, jako je uvažování, učení a sebezdokonalování. (Chae et al., 2023)

Z **historického hlediska** se dá umělá inteligence rozdělit do 4 období

1. Zrození umělé inteligence (1950–1970)

Kořeny umělé inteligence sahají až do 50. let 20. století. Toto období bylo počátkem umělé inteligence, včetně vývoje prvních AI programů, jako byly ELIZA a Shakey. Tyto programy byly schopny simulovat konverzaci s lidmi. Jednalo se o dobu optimismu a rychlého pokroku s klíčovými postupy v algoritmech a teoriích. Významné příspěvky zahrnovaly vývoj algoritmů učení zpětného šíření, které položily základ pro hluboké učení (deep learning) a zkoumání symbolické umělé inteligence. (Karjian, 2023) (Landsteiner, 2005)

2. Pády umělé inteligence (1980)

Toto období je charakteristické výrazným zpomalením výzkumu a vývoje v oblasti umělé inteligence. Velký podíl na to má nesplnění vysokých očekávání, která se na umělou inteligenci od počátku kladla. Snížení financování a deziluze vedly k období stagnace. Přestože došlo k několika zpětným krokům, v tomto období započal vývoj neuronových sítí a počátky strojového učení, které se později staly stěžejním pro výzkum. (Gold, 2023)

3. Obnova a expanze (1990)

V 90. letech 20. století výzkum umělé inteligence opět nabral na tempu. Toto období bylo také nazýváno jako pokrok v expertních systémech, zpracování přirozeného jazyka (NLP) a počítačové vidění. V tomto období vidělo použité statistických metod a strojového učení pro zpracování dat, stejně jako vývoj vlivných modelů. (Gold, 2023)

4. Big Data a hluboké učení (2000 - současnost)

Era Big Data je charakterizována explozí dat a pokrokem v počítačové síle, toto období bylo svědkem významného pokroku pro umělou inteligenci. Nástup Big Data poskytl obrovské množství dat pro trénink AI modelů, zatímco zlepšení výpočetního výkonu umožnilo efektivnější běh složitějších algoritmů. Toto období je součástí průlomů v různých oblastech, včetně hlubokého učení, rozpoznání obrazu, zpracování přirozeného jazyka a vývoje rozsáhlých jazykových modelů, jako je GPT. (Karjian, 2023) (Gold, 2023)

Každé z těchto období odráží vývoj umělé inteligence, její výzvy i potenciál. Období zasahující do současnosti je charakterizováno rychlým pokrokem a rostoucí integrací umělé inteligence do různých aspektů života a průmyslu. Do budoucna se od umělé inteligence očekává, že přinese ještě transformační změny. (Karjian, 2023)

Umělá inteligence je nástrojem současného technologického pokroku, je založena na několika klíčových principech a metodách, které představují základní kameny. Mezi nejvýznamnější z těchto metod patří strojové učení a hluboké učení.

Strojové učení je možné popsat, jako způsob, jakým počítače získávají schopnost učit se a dělat predikce nebo rozhodnutí na základě dat i bez toho, aby byl naprogramován k tomuto účelu. Podstatou tohoto procesu je, že algoritmy analyzují datové vzory a na základě nich se učí.

Základní myšlenkou strojového učení je použití algoritmu, který zlepšuje jeho výkon učení se z dat. Čtyři nejdůležitější typy problémů, které je potřeba vyřešit pomocí strojového učení jsou: predikce, shlukování, klasifikace a redukce rozměrů. S ohledem na klasifikaci metod učení lze strojové učení rozdělit do čtyř kategorií: (Zhang & Lu, 2021)

- Učení pod dohledem – využívá data s předem určenými odpověďmi k tréninku modelu, který poté dokáže předpovídat odpovědi pro nová data. Ideální pro rozpoznávání obrazu nebo predikci cen.
- Učení bez dozoru – pracuje s neomezenými daty, což znamená, že vstupní data nejsou předem klasifikována. Model se snaží najít vzory nebo strukturu v datech samostatně, a to prostřednictvím shlukování nebo dimenzionality.
- Polořízené učení – spojuje učení pod dohledem a bez dozoru tím, že využívá jak označená, tak neoznačená data pro výcvik modelu. Využívá se v případě většího množství neoznačených dat a malého množství označených dat, pomáhá zlepšit přesnost modelů, pokud je získání označených dat složité.
- Učení na posílení – model se zde učí dělat akce, které mu přinášejí největší odměnu. Rozhoduje se na základě toho, co vidí a jakou odměnu dostane, aby dosáhl svého cíle. Používá se především v hrách, robotice nebo pro automatické strategie.

Hluboké učení je speciálním případem strojového učení, kde se využívají neuronové sítě (složité struktury s mnoha vrstvami, které dokážou automaticky vybírat a učit se složitých vlastností z dat. Tato vlastnost umožňuje systémům zpracovávat a interpretovat vysoko dimenzionální a komplexní informace, což může být klíčové v rozpoznávání obrazu nebo jazyka. (Agrawal & Nargund, 2024)

Strojové i hluboké učení představují dvě transformační síly v oblasti umělé inteligence, které mění možnosti využívání a interpretaci dat. Strojové učení umožňuje počítačům rozpoznávat vzory a provádět předpovědi založené na datech bez potřeby konkrétního programování. To se používá v široké škále aplikací od rozpoznávání obrazu a řeči až po odhalení anomálií. Hluboké učení zasahuje ještě dále tím, že umožňuje systémům automaticky zpracovávat a interpretovat velmi složitá data, což najde uplatnění ve vyspělých aplikacích jako jsou autonomní vozidla nebo pochopení přirozeného jazyka.

Strojové učení je považováno za podmnožinu umělé inteligence a má těsné vazby na další obory jako je datová těžba, optimalizace a statistika. (Paul & Rao, 2019)

Umělá inteligence v průmyslu

Umělá inteligence se stala nepostradatelnou součástí mnoha oborů, přičemž významnou roli hraje zejména v průmyslu. Průmyslová umělá inteligence je disciplínou, která se systematicky zabývá vývojem, ověřováním, implementací a udržitelnou údržbou různých forem umělé inteligence, které jsou zaměřeny na průmyslové aplikace. Tato oblast výzkumu spojuje mnoho disciplín, včetně strojového učení (ML), zpracování přirozeného jazyka (NLP) a robotiky. Průmyslová umělá inteligence umožňuje systémům vnímat své okolí, analyzovat získaná data a efektivně řešit složité úkoly. Tyto technologie mají schopnost učit se z předchozích zkušeností a adaptovat se na různé situace a problémy, což vede k jejich schopnosti neustále se zdokonalovat a řešit specifické úkoly či situace. (Zong et al., 2023) (Peres et al., 2020) Průmyslová umělá inteligence představuje klíčový nástroj pro průmyslové procesy, umožňuje automatizaci a optimalizaci výroby, zlepšuje kvalitu služeb a řeší komplexní technické úkoly. Její využití napříč průmyslovými odvětvími jako je výroba, zpracování dat, logistika a energetika přináší efektivitu a konkurenční výhodu. (Peres et al., 2020)

Budoucí trendy

Od umělé inteligence se do budoucna očekává, že bude mít hluboký vliv na širokou škálu sektorů, podporovat inovace a vytvářet nové metody v průmyslovém rozvoji. Rychlá evoluce modelů a aplikací umělé inteligence naznačuje do budoucna, že bude klíčovým faktorem v integraci nově vznikajících technologií, jako jsou grafické a procesorové jednotky, což zvyšuje výpočetní schopnosti a podporuje vývoj inteligentních systémů. (Lu, 2019)

Dále má umělá inteligence potenciál v oblasti medicíny, kde zdůrazňuje svou roli v revoluci zdravotní péče tím, že transformuje klinické praxe prostřednictvím pokročilé diagnostiky, personalizované léčby a péče o pacienty. (Buch et al., 2018)

Ve stavebním inženýrství a managementu se předpokládají významné změny, které nastanou s přijetím umělé inteligence a budou souviset se zlepšením výsledků projektu prostřednictvím zvýšení efektivity a bezpečnosti. (Zhang & Lu, 2021)

Tyto trendy naznačují, že umělá inteligence se v budoucnu stane nezbytnou součástí každodenních operací a strategického plánování, což povede k rozvoji inteligentnějších, udržitelnějších a více personalizovaných řešení v různých odvětvích.

2.1.3 Robotika

Robotika jako obor, se věnuje generování počítačem řízených pohybů fyzických objektů v široké škále nastavení. Důležitou roli v robotice mají geometrické prezentace a výpočty, jelikož fyzické objekty definují prostorová rozložení v 3D prostoru. (Halperin et al., 2017)

Při pohledu do historického vývoje robotiky lze pozorovat, že zdokonalování robotů má přímý vliv na zvyšování počtu jejich možných aplikací v různých oblastech lidské činnosti. Vytvoření, vyvíjení a zdokonalování robotů předcházela myšlenka a potřeba nahradit člověka při těžké manuální a opakující se práci.

Robotiku jakožto obor lze dělit do tří různých směrů. Prvním z nich je průmyslová robotika, kde se jedná o průmyslově programovatelné víceúčelové manipulátory s možností programování ve třech a více osách. Robot může být ve vymezeném pracovním prostoru pevně fixován, ale může být také ve vymezeném prostoru schopen pohybu za účelem plnění daných úkolů.

Druhým ze směrů je kolaborativní robotika, jako nová etapa vývoje, kde je předpoklad pro současnou úzkou spolupráci robotů a lidských pracovníků. Tato spolupráce bude díky senzorům a systémům vidění pro lidské pracovníky bezpečná.

Třetím směrem je tzv. servisní robotika, která zahrnuje mobilní autonomní nebo poloautonomní robotické sestavy včetně kolaborativních robotů. Mělo by se jednat o roboty pro vykonávání servisních úkonů pro zařízení. (Halperin et al., 2017) (Galin & Meshcheryakov, 2019)

Robot podle Hornyaka (2006) vyjadřuje touhu po virtuálních lidech nebo modelech lidí, kdy jsou zachovány pouze podstatné vlastnosti. Dále uvádí, že robot je vystavěný na principech umělé inteligence a trendů. Očekává se, že roboti do budoucna proniknou do všech úrovní života, a to od domácností, lékařství, průmysl až po prozkoumávání hlubin moře. Pojem robot se může vztahovat jak k fyzickým, tak virtuálním robotům.

Mezinárodní organizace pro standardizaci definici robota v normě ISO 8373, robota definovala jako „*automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích*“.

Hornýak (2006), ve své knize definuje vlastnosti, které by robot měl mít:

- Nemá přirozený původ, tzn. je uměle vytvořený
- Vnímá své životní prostředí a manipuluje s předměty v něm nebo je s nimi v interakci
- Má určitou schopnost provádět výběr podle daného prostředí, často s použitím automatického řízení nebo předem naprogramované sekvence
- Je programovatelný
- Pohybuje se v jedné nebo více rotačních nebo sekvenčních rovinách
- Provádí pohotové koordinované pohyby
- Jeví se, jako by měl záměr nebo působnost

Tyto vlastnosti se však v průběhu let a vývoje měnily, tedy nejsou pro typického robota nezbytné. (Volná & Kotyrba, 2013)

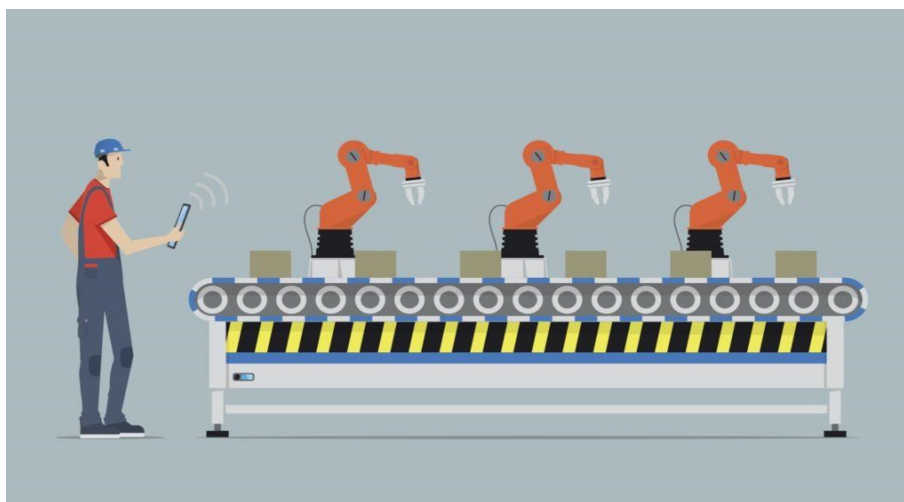
Kolaborativní a průmyslové roboty

Průmyslové roboty – průmyslové roboty jsou navrženy pro vysoce specializované výrobní úlohy v kontrolovaném průmyslovém prostředí. Tyto roboti jsou obvykle velké, rychlé a schopné provádět opakované úkoly s vysokou přesností a rychlostí, jako je svařování, montáž, malování nebo manipulace s těžkými materiály. Průmyslové roboty jsou programovány pro autonomní provoz bez přímé interakce s člověkem během svého provozu, což zvyšuje efektivitu a snižuje riziko chyb. (Pan et al., 2012)

Kolaborativní roboti (cobot) – tyto roboti, jsou navrženy tak, aby pracovali společně s lidmi ve sdíleném pracovním prostoru. Tyto roboti jsou flexibilní, menší a vybaveny senzory, které jim umožňují rozpoznávat a přizpůsobovat se přítomnosti člověka, čímž zajišťují bezpečnou spolupráci. Kolaborativní roboti se používají v aplikacích, kde je potřeba lidské dovednosti kombinovat s robotickou přesností a vytrvalostí. Oproti tradičním průmyslovým robotům nabízejí větší flexibilitu a snadnější integraci do stávajících výrobních procesů bez nutnosti bezpečnostních opatření. (Vicentini, 2020)

Tyto dva druhy robotů se od sebe liší především svým zaměřením a interakcí s lidmi. Zatímco průmyslové roboty jsou optimalizovány pro vysokou efektivitu a autonomii ve specifických úlohách, kolaborativní roboti jsou navrženi tak, aby byly flexibilní a bezpečně spolupracovali s lidmi, což přináší nové možnosti pro automatizaci. (Derková, 2024)

Obr. 4: Ukázka výrobní linky s kolaborativní roboty



Zdroj obrázku: (LiquidPlanner Inc., 2022)

3 Datové modelování

V praktickém životě, zejména v průmyslu, je zapotřebí evidovat údaje o některých skutečnostech. Může se jednat o informace ohledně skupiny lidí jako jsou zaměstnanci, o počtu provedených chyb v průběhu výroby, o neplánovaných odstávkách apod. Vést evidenci znamená udržovat o takových jevech přehled, mít vhodně uspořádané údaje tak, aby se dalo dobře vyhledávat v případě potřeby. Jevy se obvykle popisují podle vlastností a při evidenci se předem rozhodne, které vlastnosti se budou sledovat. (Šarmanová, 2007)

Definice

Scott Ambler (2004) ve své knize definoval datové modelování jako *"Datové modelování je zkoumání datově orientovaných struktur. Stejně jako datové modely mohou být použity k různým účelům, jako jsou jiné modelovací artefakty. Účely, od konceptuálních modelů na vysoké úrovni až po fyzické datové modely."* (Ambler, 2004)

Za cíl si klade návrh logického datového modelu. Snaží se nalézt a zkoumá jednotlivé entity informačního systému a jaké jsou vztahy mezi jednotlivými entitami. U každé entity (předmětu našeho pozorování) je potřeba přemýšlet o jejích vlastnostech, které nás zajímají. Dobře vytvořený datový model je podkladem pro návrh konkrétní databázové základny. (Skřivan, 2008)

Základní pojmy

Pro lepší porozumění a orientaci v následujícím textu je vhodné nejprve definovat základní pojmy. Šarmanová (2007) je definuje takto:

- Data – údaje získané měřením, pozorováním nebo zaznamenáváním reálné skutečnosti.
- Informace – smysluplné interpretace dat a vztahů mezi nimi.
- Entita – libovolný objekt reálného světa rozlišitelný a existující nezávisle na ostatních.
- Atribut – vlastnost dané entity, která je předmětem zájmu z hlediska evidence.

3.1 Typy datového modelování

V oblasti správy dat existují různé přístupy k modelování dat, které napomáhají efektivně využívat informační zdroje. Tyto metody se liší podle úrovně detailů, účelu a vztahu

k technologii. Mezi základní typy patří koncepční, fyzické a logické datové modelování. Každý z těchto přístupů má své specifické výhody a slouží k různým účelům v rámci procesu správy dat. (Etechblogcz, 2023) je specifikoval takto:

- **Koncepční datové modelování**

Koncepční datové modelování se zaměřuje na získání širšího přehledu o datech, Jeho hlavním cílem je ukázat data na velmi obecné úrovni, aniž by se zabíhalo do podrobností o tom, jak jsou data ve skutečnosti v databázích uložena nebo jaké technologie se při tom používají.

- **Fyzické datové modelování**

Fyzické modelování dat se zabývá technickými aspekty ukládání a načítání dat. Tento proces určuje, jak budou data uložena v databázi, včetně struktur jako jsou tabulky, indexy a omezení, které jsou klíčové pro efektivní fungování databázového systému.

- **Logické datové modelování**

Logické datové modelování stojí mezi koncepčním a fyzickým přístupem k datům. Slouží jako detailní návrh databáze, který pomáhá udržet spojení a plynulou komunikaci obchodními a technickými týmy. Tento proces zajišťuje, že data zůstanou konzistentní a integrovaná napříč různými platformami a aplikacemi.

3.2 Datový model

Datový model je základním konceptem používaným při návrhu informačních systémů. Slouží k definování a strukturování dat, která jsou uložena v databázi. Konkrétně datový model popisuje druhy dat, které budou ukládána, a to, jak budou organizována – definuje entity, jejich atributy, typy a vzájemné vztahy. To zajišťuje, že data jsou uspořádána logicky a přípustná pro různé operace, jako je zápis, aktualizace nebo získávání. (Simsion & Witt, 2004) (Huňka & Mácha, 2009) (Hendl, 2021)

Databáze

Databáze je podle Skřivana (2008) definovaná jako soubor dat, který slouží k reprezentaci reálného světa nebo jeho specifických částí. Jedná se o nástroj pro ukládání a správu dat, které mají specifickou strukturu, nejčastěji jsou strukturovány do tabulek a záznamů. Tato

struktura umožňuje efektivní manipulaci s daty, což je užitečné zejména při vyhledávání specifických informací nebo při aktualizaci dat.

Databázové modely

Databázový model se rozděluje do tří typů v závislosti na tom, jakou strukturu mají data uložená v databázi. Existují tři základní typy:

- Hierarchický model – popisuje stromovou strukturu databáze
- Síťový model – popisuje grafovou strukturu databáze
- Relační model – popisuje strukturu databáze s tabulkami, v současné době se jedná o nejpoužívanější model. (Skřivan, 2008) (Hebák, 2015)

Relace

Relace označují druhy vztahů, které mezi sebou mohou mít navzájem různé tabulky (nebo entity). Existují čtyři hlavní typy relací:

- **0** - mezi tabulkami není žádný přímý vztah. Data v jedné tabulce jsou nezávislá na datech v jiné tabulce.
- **1:1** - každý záznam v jedné tabulce je přímo spjat s jedním záznamem v jiné tabulce. Tento typ relace se často využívá, když se jedná o velmi specifické a individuální informace.
- **1:N** - jednomu záznamu v první tabulce odpovídá více záznamů v druhé tabulce.
- **M:N** - více záznamů v jedné tabulce může mít vztahy s více záznamy v jiné tabulce. Hodí se pro komplexnější situace. (Velich, 2022)

Relační databáze

Relační databázové systémy jsou založeny na principu relačního modelu a představují nejběžnější kategorii databází, se kterými se lze setkat. Jedná se o typ databázového systému, který ukládá a poskytuje přístup k datům tak, že je rozděluje do tabulek. Tyto tabulky jsou vzájemně propojeny pomocí relací. Data v relační databázi jsou organizována do řádků a sloupců, kde každý řádek představuje jedinečný záznam a sloupce reprezentují atributy těchto záznamů. (Skřivan, 2008) (Hendl, 2021)

Mezi nejpoužívanější relační databázové systémy patří MS Access, MS SQL, Oracle.

3.3 Microsoft SQL

Jak již bylo zmíněno, MS SQL patří k nejpobulárnějším databázovým systémům. Značná část praktické části této práce byla vytvořena v SQL management studio, což je součástí MS SQL. Z těchto důvodů bude tato databáze blíže představena.

SQL Server je relační databázový systém také známý jako RDBMS (relational database management system) vyvinutý společností Microsoft. Jedná se o programovací jazyk, ale také o zkratku, která znamená Structured Query Language (strukturovaný dotazovací jazyk), což je jazyk používaný pro komunikaci s databázemi. (McQuillan, 2015)

RDBMS je soubor služeb, které dohromady podporují ukládání a získávání relačních dat z určitého typu úložiště.

SQL Server Management Studio je konkrétní nástroj, který byl pro další část práce použit. Jedná se o rozšířený a respektovaný nástroj, které poskytuje efektivní prostředky pro správu databázových serverů. Podporuje automatizaci řady úloh pomocí skriptů, což může výrazně ušetřit čas a efektivní práci s databází. (McQuillan, 2015)

3.4 Nástroje pro grafické znázornění

Vizualizace dat z databáze SQL převádí komplexní informace do jasných vizuálních formátů, což usnadňuje pochopení vzorců a souvislostí, které mohou být skryté v datech. Grafické znázornění dat zvyšuje přehlednost a umožňuje rychlejší interpretaci a sdílení informací.

Microsoft PowerBI

Pro účely této práce byl jako nástroj pro vizualizaci dat zvolen Microsoft PowerBI. Jedná se o platformu určenou pro vizualizaci dat, která se skládá z rozsáhlé sady softwarových služeb a aplikací, které jsou navrženy tak, aby společně spolupracovaly. Jejím hlavním úkolem je poskytování informací, které jsou založeny na datech, které mohou být excelové tabulky nebo kolekce dat uložených v cloudových či hybridních datových skladech na místní úrovni. Power BI má za cíl transformovat rozptýlené a nesouvisající data do souvislých, vizuálně působivých a interaktivních vizualizací. Tím umožňuje uživatelům jednoduché připojení k různým zdrojům dat, jejich efektivní vizualizaci a objevování toho co je důležité. (Coursera, 2024) (Microsoft, 2024)

Použití Power BI

- Vytváření sestav a řídicích panelů, které reprezentují datové sady několika způsoby pomocí vizuálů
- Propojení různých zdrojů dat, jako jsou tabulky Excel, datové sklady na místní a cloudové úložiště dat, a jejich následná transformace na obchodní statistiky
- Přetváření dat do široké škály různých vizuálů, včetně výsečových grafů, dekompozičních stromů, měrných grafů, KPI, kombinovaných grafů, sloupcových grafů a pásových grafů. (Ferrari & Russo, 2016)

4 Model Fischertechnik

V této kapitole bude popsán model výrobní linky Fischertechnik, na základě, jehož dat byla zpracována praktická část této diplomové práce. Model bude popsán včetně jednotlivých pracovišť, ze kterých se model skládá. Dále v této části práce bude představena databáze a práce s ní a vytvořené vizualizace a jejich hodnocení.

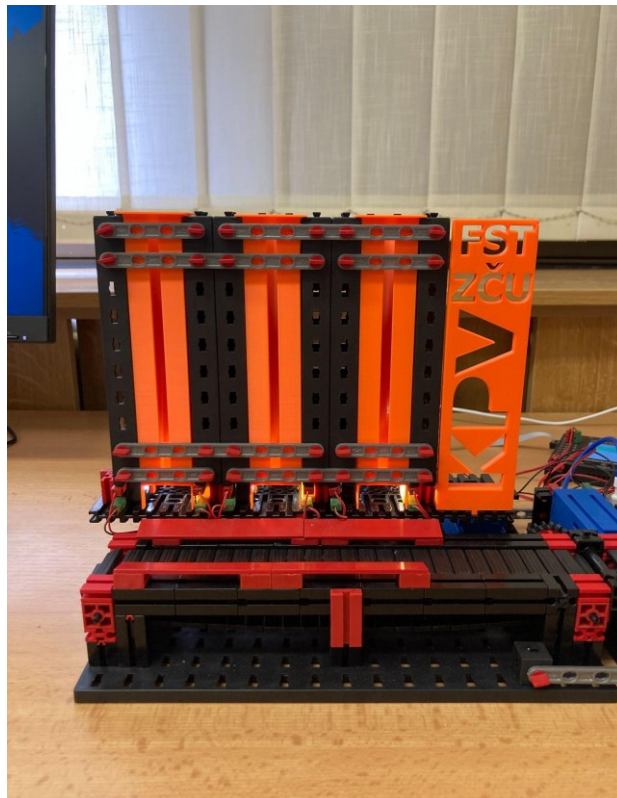
Model Fischertechnik byl vyvinut jako demonstrativní model v rámci vzdělávacího procesu, který má za cíl přiblížit studentům realitu provozu moderního výrobního závodu využívající technologie Průmyslu 4.0. Umožňuje pozorovat výrobu produktu na plně automatizované výrobní lince. Jak již bylo zmíněno tato linka má však pouze demonstrativní charakter, funguje bez skutečných změn na výrobcích. Procesy jako frézování nebo svařování jsou simulovány, aby prezentovaly typy aktivit, které by se na takovém pracovišti odehrávaly, zatímco samotný výrobek zůstává beze změn.

Model Fischertechnik se skládá z celkem z 5 modelů, přičemž každý z nich reprezentuje jedno výrobní pracoviště. Jedná se o sklad, rentgenovou kontrolu kvality, manipulačního robota, obráběcí linku a svařovací linku. (Velich, 2022)

Sklad

Prvním stanovištěm modelu je sklad. Sklad slouží k uskladnění a vyskladnění materiálu, který je opracováván v průběhu celého výrobního procesu. Za materiál jsou považované puky (obrobky) ve třech barvách – červená, modrá a bílá. Jak je možné vidět na Obr. 5 sklad obsahuje tři zásobníky, do kterých jsou puky vkládány ručně a odtud jsou automaticky odebírány na výrobní pás. Puky jsou ze zásobníků odebírány v pořadí, ve kterém jsou umístěny zásobníky. Tedy nejprve jsou vyjmuty všechny puky z prvního zásobníku, pokud je tento zásobník prázdný, pracoviště automaticky začne odebírat puky z druhého zásobníku a následně třetího zásobníku, dokud nejsou všechny zásobníky prázdné. Pokud je celý sklad prázdný, linka upozorní zvukovým signálem. Po vyjmutí ze zásobníku je puk přepraven pásovým dopravníkem na druhé pracoviště, kterým je kontrola kvality.

Obr. 5: Ukázka skladu obrobků v modelu linky



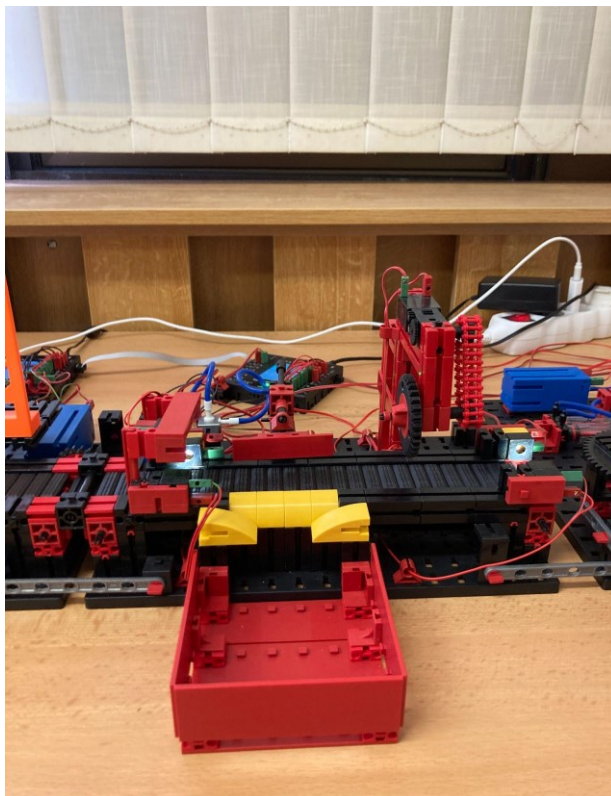
Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Kontrola kvality a řezání

Druhým stanovištěm výrobního modelu, kam je puk přepraven ze skladu je kontrola kvality Obr. 6. Toto stanoviště provádí pomocí rentgenu kontrolu kvality daného obrobku, na základě této kontroly se vyhodnocuje, zda se jedná o zmetek nebo obrobek kvalitou vyhovuje pro další opracování. Ve skutečnosti se jedná pouze o demonstrativní operaci, která může nabýt pouze dvou hodnot “výrobek je zmetek” a “výrobek není zmetek”. Tyto hodnoty jsou systémově generovány náhodně na základě předem definované pravděpodobnosti. Po rentgenové kontrole je puk pásově dopraven k vyřazovacímu systému, kde v případě, že byl vyhodnocen jako zmetek je ze systému vyřazen. Vyřazen je v podobě vystrčení obrobku z linky do připravené ohrádky. Pokud bylo vyhodnoceno, že puk vyhovuje standardům kvality je dopraven k další výrobní operaci.

Další výrobní operací je řezání, kam je puk od kontroly kvality dopraven. Ve chvíli, kdy puk dorazí na stanoviště spustí se automatizované řezání. Po jeho dokončení puk pokračuje po výrobní lince. Stroj na řezání je možné vidět na Obr. 6 v pravé polovině.

Obr. 6: Ukázka stanoviště kontroly kvality a řezání

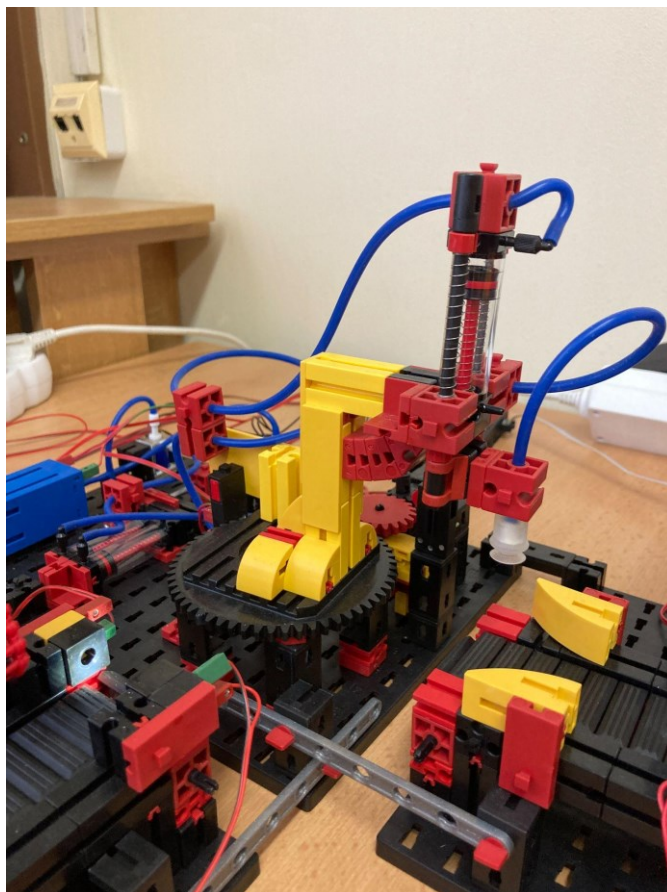


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Manipulační robot

Výrobní linka je sestavena do tvaru L což komplikuje transport obrobků po stanovištích. Tato komplikace je vyřešena umístěním manipulačního robota do bodu zlomu (rohu) linky. Jedná se o manipulačního robota s podtlakovou přísavkou. Funguje tak, že ve chvíli, kdy je obrobek dopraven na konec pracoviště kontroly, přistaví manipulační robot pomocí ramene podtlakovou přísavku na povrch obrobku z vrchní strany. Pomocí podtlaku obrobek uchopí a otočením o 90 stupňů přemístí obrobek nad pásový dopravník pracoviště obrábění. Poté je podtlak uvolněn a obrobek je uvolněn od přísavky a pokračuje dále ve výrobním procesu k obrábění.

Obr. 7: Ukázka manipulačního robota

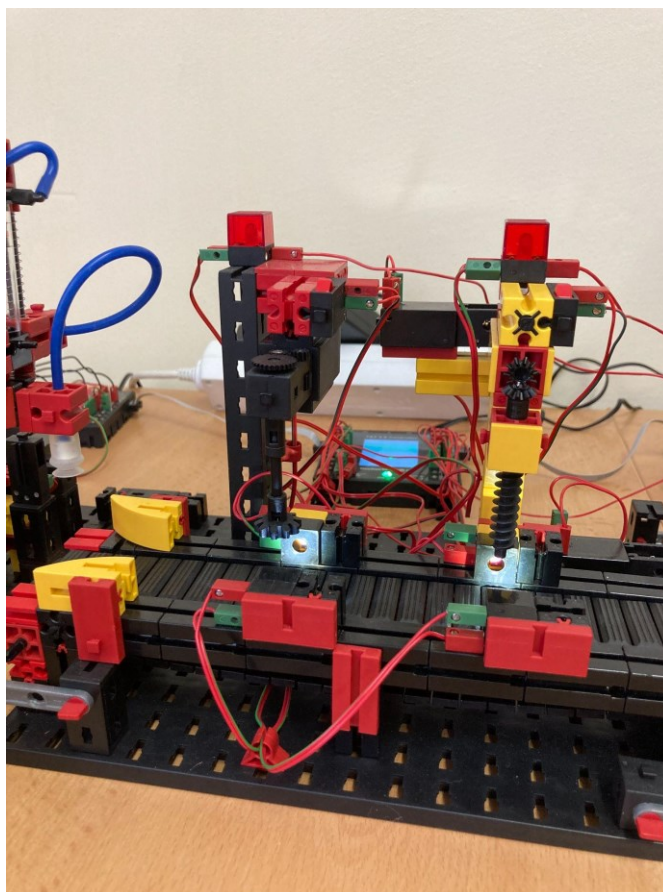


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obrábění

Po uvolnění puku z manipulačního robota je dále přesunut na pracoviště obrábění. Obrábění se skládá z dvou akcí. Nejprve je dopraven k frézování, kde je puk opracován a dále je dopraven k vrtačce. U těchto dvou strojů jako jediných z celého výrobního procesu je jistá pravděpodobnost výskytu závady. Tyto závady simulují skutečné závady, které by v reálném procesu mohly nastat. Pokud nastane na stroji závada, celá linka se zastaví a nad porouchaným strojem se rozsvítí světelný signál. V tuto chvíli musí dorazit fiktivní pracovník, který stroj opraví. Jinak kontrolka svítí, dokud není fyzicky stlačeno tlačítko umístěno na obráběcím stroji. Toto stlačení symbolizuje hotovou opravu stroje a výrobní linka se vrátí zpět do provozu.

Obr. 8: Ukázka stanoviště obrábění

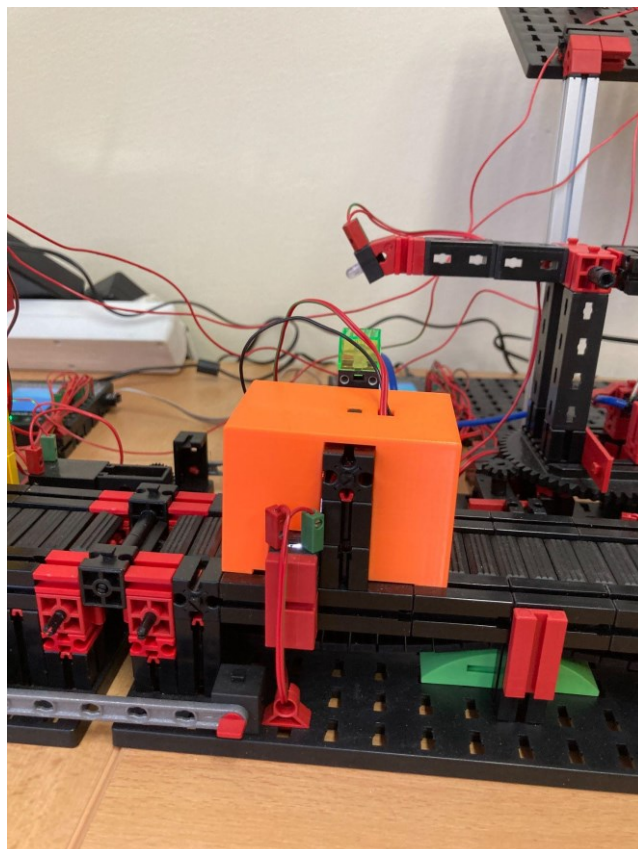


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Svařování

Po dokončení obrábění je puk dopraven na stanoviště sváření, kde je puk nejprve přehřán na požadovanou teplotu v malé peci. Jedná se opět pouze o demonstrativní činnost, ve skutečnosti zde probíhá detekce barvy puku. Barva puku je po celou dobu výrobního procesu neznámá a nepodstatná. Tato informace se zjišťuje až před posledním stanovištěm a je využita k určení doby svařování. Každá barva puku má přednastavenou rozdílnou dobu svařování. Po ohřevu, respektive detekci barvy je puk dále dopraven ke svářecímu robotu. Svářecí robot poté ramenem přisune svářecí zařízení, které symbolicky provede svážení, které je interpretováno rozsvícením žárovky. Po ukončení operace je výrobní proces dokončen a obrobek dopraven na konec výrobní linky, kde je následně hotový výrobek vyřazen ze systému.

Obr. 9: Ukázka stanoviště svařování

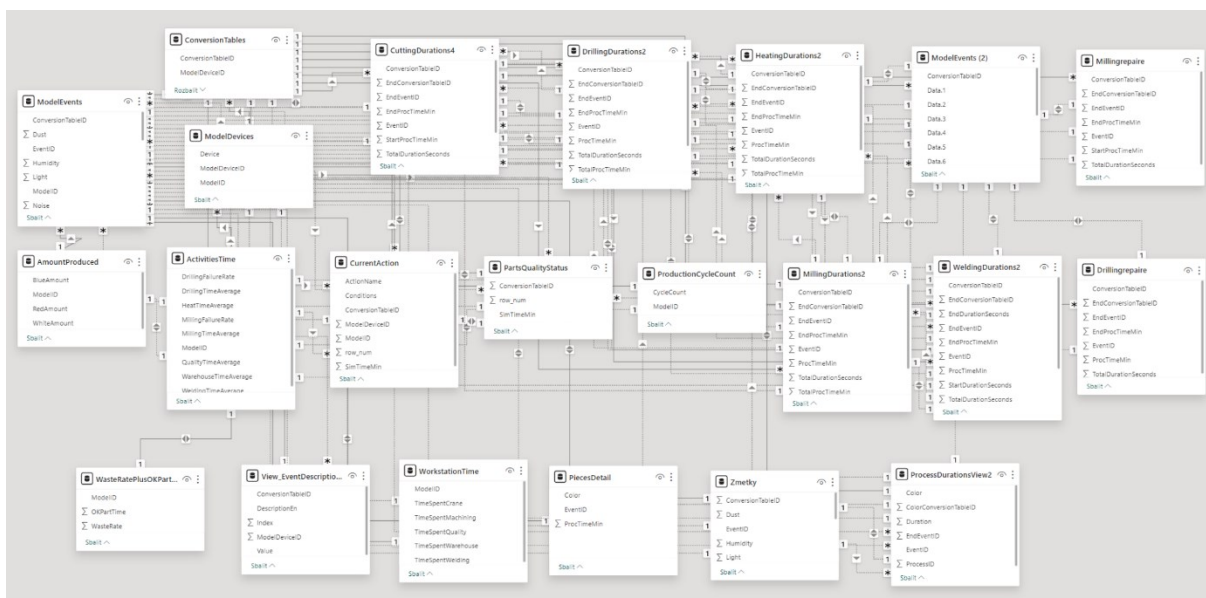


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

4.2 Datový model

Data z modelu Fischertechnik jsou shromažďována a ukládána do SQL databáze. Struktura této databáze je detailně zobrazena na Obr. 10. Obrázek reprezentuje komplexní datový model, zahrnující všechny tabulky, vytvořené pohledy a jejich vzájemné vazby. V rámci této části diplomové práce je kladen důraz především na tři klíčové tabulky, které jsou následně podrobněji popsány. Zbylé části databáze, ať již se jedná o další tabulky nebo specificky vytvořené pohledy, jsou zásadní pro zajištění funkčnosti celého modelu, a budou detailněji rozebrány v další části práce.

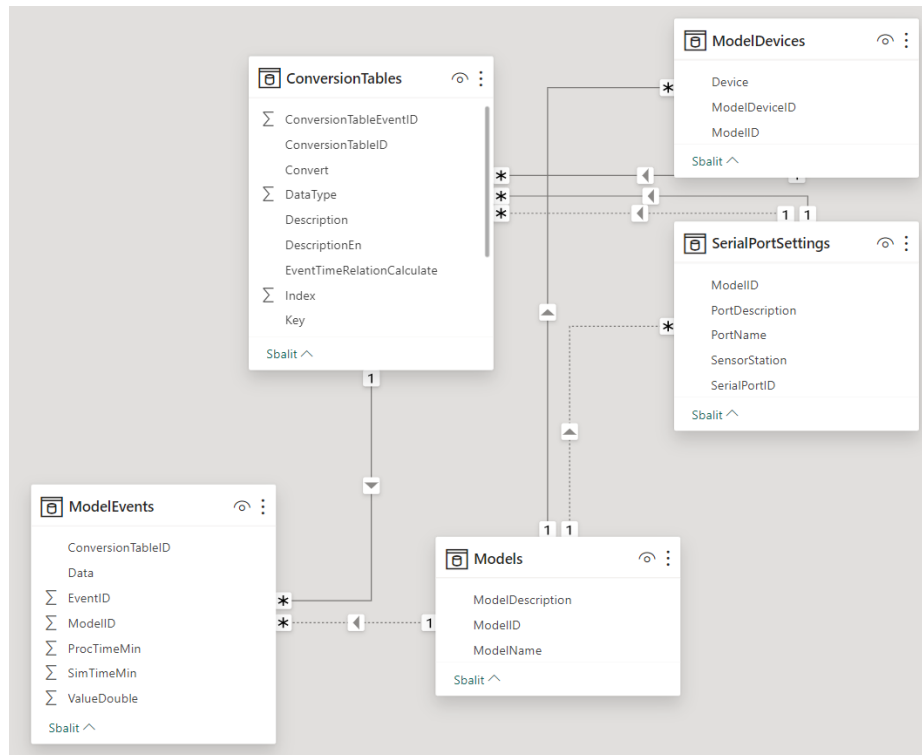
Obr. 10: Struktura datového modelu



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Následující Obr. 11 reprezentuje základní datový model, který je pro tuto část práce klíčový. Tento model zahrnuje tři hlavní tabulky – ConversionTables, ModelDevices a ModelEvents, které mezi sebou mají relační vazby N:1, jedná se o obrácenou relaci 1:N, kdy více záznamů v první tabulce odpovídá jednomu záznamu v druhé tabulce. Tyto tabulky budou podrobněji rozebrány v následujících odstavcích. Tabulky SerialPortSettings a Models slouží především k zajištění funkčnosti modelu (nesouvisí s vyhodnocením dat) a nebudou proto dále podrobněji popsány.

Obr. 11: Základní datový model s příslušnými tabulkami



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Tabulka **ConversionTables** slouží jako přehledový katalog všech možných akcí v modelu. Obsahuje sloupce:

- **ConversionTableID**: Jedinečné identifikační číslo přiřazené každé akci, rozsah hodnot je od 1 do 46.
- **Value**: Slovní popis činnosti, poskytuje základní informace o akci.
- **Description**: Rozšiřující popis činnosti, nabízí detailnější vysvětlení k danému Value.
- **ModelDeviceID**: Identifikátor pracoviště z tabulky ModelDevices, na kterém se akce odehrává, s hodnotami v rozmezí 1–6.

ModelEvents zaznamenává všechny události, které se v modelu skutečně odehrály. Obsahuje sloupce:

- **EventID**: Unikátní identifikační číslo události, zajišťuje rozlišení mezi jednotlivými událostmi.
- **ConversionTablesID**: Odkaz na konkrétní akci z tabulky ConversionTables, určuje typ události.

- SimTimeMin: Čas, kdy k události došlo.
- ProcTimeMin: Délka trvání události, informuje o časové náročnosti.
- ModelID: Vazba na tabulku ModelDevices, specifikuje, na kterém pracovišti událost proběhla.
- Data: Obsahuje data z měření vnějšího prostředí na pracovišti, jako jsou prašnost, teplota, hlasitost a tlak.

ModelDevices umožňuje dohledat na jakém pracovišti uskutečněná událost proběhla.

- ModelDevicesID: Jedinečný identifikátor zařízení, přidělený v rozmezí od 1 do 6. Tento sloupec umožňuje jednoznačnou identifikaci každého zařízení v modelu.
- Devices: Slovní popis zařízení. Poskytuje informace o typu nebo funkci zařízení.
- ModelID: Identifikátor modelu, ke kterému zařízení patří. Tento sloupec slouží k propojení zařízení s konkrétním modelem.

4.3 Databáze

Všechna vygenerovaná data z modelu Fischertechnik jsou ukládána do MSSQL Server databáze. Z této databáze budou dále vytvořeny vizuály v Microsoft PowerBI. Základem pro tuto práci byla záloha získané databáze. Bylo poskytnuto 2500 záznamů, které byly nasbírány za 2,5h běhu linky.

Pro lepší orientaci v datech a snazší práci s databází bylo vytvořeno několik pohledů (views). Tyto pohledy umožňují dívat se na data z různých perspektiv. Jedná se o databázové objekty, které zobrazují data na základě předem určených kritérií. Hlavním důvodem pro vytváření pohledů byl fakt, že při vytvoření pohledu nedochází k modifikaci původní tabulky a je možné vytvářet několik pohledů se stejnou zdrojovou tabulkou.

Tabulky se od zmiňovaných pohledů liší tím, že tabulka data zobrazuje i uchovává, naopak pohled je pouze nástroj, který se připojuje k tabulce a má schopnost data pouze zobrazovat.

4.3.1 Pohledy

V rámci práce s daty a přípravou dat pro práci v PowerBI bylo vytvořeno 8 pohledů, které obsahují klíčové informace pro zpracování vizuálů. Byly vytvořeny tyto pohledy:

- Doba strávená na pracovišti
- Doba oprav
- Ohraničení procesů
- Doba trvání každého procesu

Doba strávená na stanovišti

Bylo vytvořeno celkem 5 pohledů – CuttingDuration (řezání), DrillingDuration (vrtání), HeatingDuration (ohřev – pec), MillingDuration (obrábění) a WeldingDuration (svařování). Jeden pro každé stanoviště v modelu. Tyto pohledy zobrazují reálně strávenou dobu na pracovišti. Byly vytvořeny pomocí jedinečného EventID a konkrétních ConversionTableID, které označují začátek a konec jednotlivých činností. Následně k sobě byly přičteny časy (ProcTimMin) konec a začátek každé akce. U vytváření pohledu WeldingDuration bylo potřeba brát v potaz, že EventID pro začátek a konec události nejsou dvě po sobě jdoucí identifikační čísla. Po začátku svařování se ještě detekuje, o jakou barvu obrobku se jedná, jelikož každá barva má nastavenou jinak dlouhou dobu zpracování. U ostatních pohledů bylo pracováno s tím, že EventID pro začátek a konec jsou dvě po sobě jdoucí akce.

Doba Oprav (Millingrepaire, Drillingrepaire)

Byly vytvořeny dva pohledy Millingrepaire pro opravu frézování a Drillingrepaire pro opravu vrtání. Tyto pohledy zobrazují, jak dlouho každá oprava trvala. Byly vytvořeny na stejném základě jako pohledy pro dobu strávenou na pracovišti.

Ohraničení procesů (FilteredEvents)

Tento pohled byl vytvořen za účelem výpočtu celkové doby jednoho procesu, tedy jak dlouho byl každý obrobek na lince. Každý proces začíná akcí „Vyskladnění Start“, přičemž se obrobek (na modelu linky je používán barevný puk) může vyskladnit ze Slotu1, Slotu2 nebo Slotu3. Zároveň jsou dvě cesty, kterými může proces skončit, buď

akcí „Vyřazení hotového výrobku ze systému“ nebo v případě, že je na rentgenové kontrole detekován zmetek akcí „Zmetek vyřazování konec“.

Na základě těchto informací byl vytvořen pohled, který obsahuje sloupce EventID, ConversionTableID, Value, SimTimeMin, ProctTimeMin a sloupec CycleStep, který byl nově vytvořen.

Nejprve bylo potřeba vyfiltrovat si začátky a konce procesů na základě ConversionTableID. Vyfiltrovány byly celkem 3 hodnoty: začátek, barva/zmetek, konec. Každé z této akce byl přidán CycleStep, který označuje všechny začátky hodnotou 1, všechny druhé akce tedy barvu/zmetek hodnotou 2 a konečnou akci hodnotou 3.

Výpočet času trvání procesu (ProcesDurationView)

Tento pohled navazuje na již zmiňovaný pohled FilteredEvents. Slouží k zobrazení celkového času každého procesu a přiřazuje mu barvu obrobku anebo zda se jedná o zmetek.

Vytvoření tohoto pohledu vychází především ze sloupce CycleStep, kdy od sebe odečítá dobu konce procesu (SimTimeMin) a dobu počátku procesu, tedy se jedná o výpočet časů, které jsou označeny CycleStep jako 3–1. Dále je také využito označení druhé akce, tedy detekce barvy nebo zmetku, pro které je vytvořen vlastní sloupec, aby bylo možné přiřazovat dobu procesu konkrétnímu obrobku. Zároveň je každému procesu přiřazeno speciální ProcessID, které označuje každý celkový proces.

5 Vizualizace v PowerBI

Jak již bylo zmíněno, PowerBi je nástroj od společnosti Microsoft, který umožňuje vizualizovat data a získávat z nich užitečné informace. Tato diplomová práce se zaměřuje na propojení PowerBI s SQL databází a vizualizací podstatných údajů na základě sbíraných dat.

Na základě porozumění dat a znalosti k čemu vizualizace bude sloužit bylo definované, jaké vizualizace se budou vytvářet. Jedná se o vizualizace:

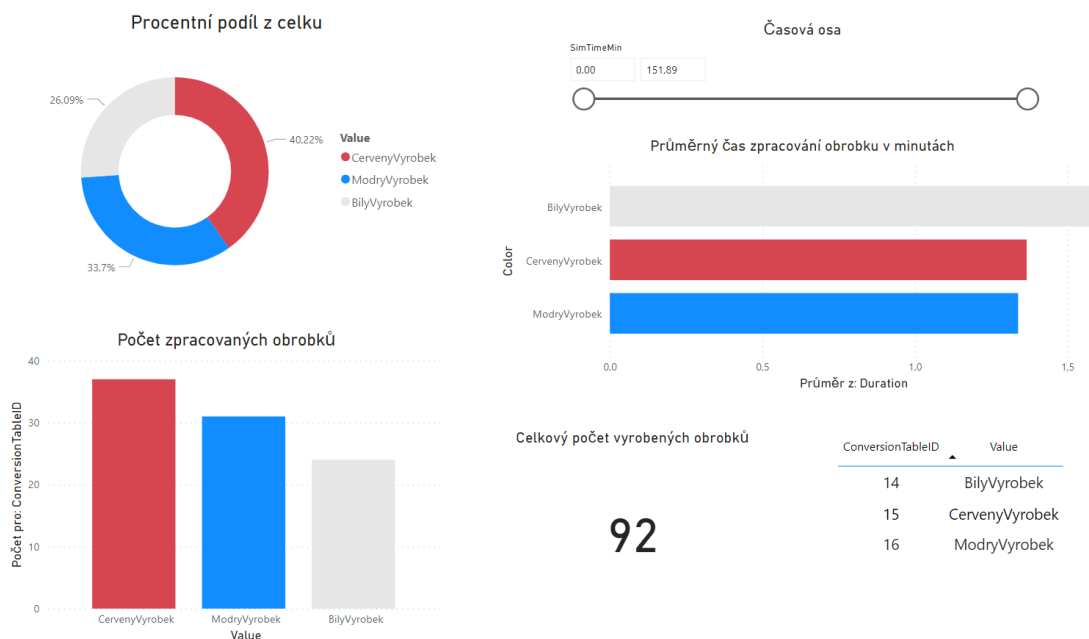
- Informace o zpracovaných obrocích
- Popisná statistika jednotlivých stanovišť
- Oprava strojů
- Vnějšího prostředí
- Zmetkovitost

Na začátek každé vizualizace u jednotlivých bodů bude vždy jako první uveden celková souhrnná sestava obsahující dílčí grafy. Jednotlivé grafy pak budou popsány samostatně.

5.1 Informace o zpracovaných obrocích

Tato sestava se zaměřuje na množství vyrobených obrobku a rozčleňuje je podle barev. Model linky Fischertechnik zpracovává obrobky tří barev, modré, bílé a červené a zpracování každé barvy trvá jinak dlouhou dobu.

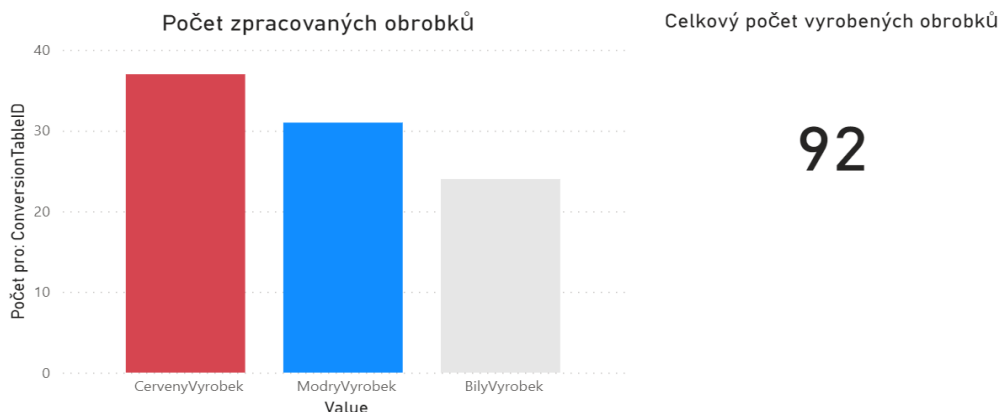
Obr. 12: Sestava s informacemi o zpracovaných obrocích



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 12 je celkový pohled na sestavu, která je složena z jednotlivých vizuálů. Poskytuje základní informace o zpracovaných obrocích. Kromě grafů sestava obsahuje také průřez jako časovou osu a tabulku, která obsahuje názvy zpracovaných obrobků. Tyto dva vizuály slouží k celkové přehlednosti a interaktivitě. Časová osa umožňuje zobrazovat pouze určité časové úseky, například pokud je vyžadováno, kolik červených výrobků bylo vyrobeno od 12 minuty po 25 minutu. Tabulka po kliknutí na konkrétní hodnotu zvýrazní požadované hodnoty napříč celým vizuálem, a naopak potlačí zbylé informace. Jednotlivé dílčí grafy ze souhrnného vizuálu budou pro větší přehlednost detailněji rozebrány na samostatných obrázcích níže.

Obr. 13: Informace o zpracovaném počtu obrobků



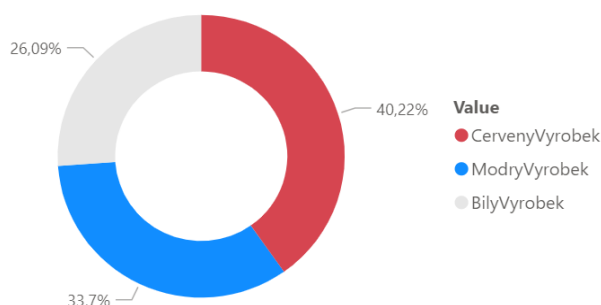
Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Předchozí Obr. 13 obsahuje informaci o celkovém počtu zpracovaných obrobků a sloupcový graf uvádí dílčí počty zpracovaných obrobků pro jednotlivé barvy puků v modelu Fischertechnik. Nejvíce bylo zpracováno červených obrobků, konkrétně 37, dále 31 modrých a 24 bílých.

Následující graf na Obr. 14 doplňuje předchozí graf s procentním zobrazením, konkrétněji kolik procent z celkového počtu zpracovaných obrobků tvoří, která barva zpracovaného obrobku.

Pro vytvoření obou těchto grafů bylo využito v PowerBI možnosti filtrace. Pro oba grafy bylo do pole “Hodnota” vložen sloupec ConversionTableID z tabulky ModelEvent a dále použit filtr. Bylo využito rozšířené filtrování tak aby byla splněna podmínka: zobrazit položku, pokud hodnota je větší nebo rovno 14 (ConversionTableID pro Bílý výrobek) a je menší nebo rovno 16 (ConversionTableID pro modrý výrobek), 15 tedy hodnota mezi odpovídá červenému výrobku.

Obr. 14: Procentní podíl jednotlivých obrobků
Procentní podíl z celku

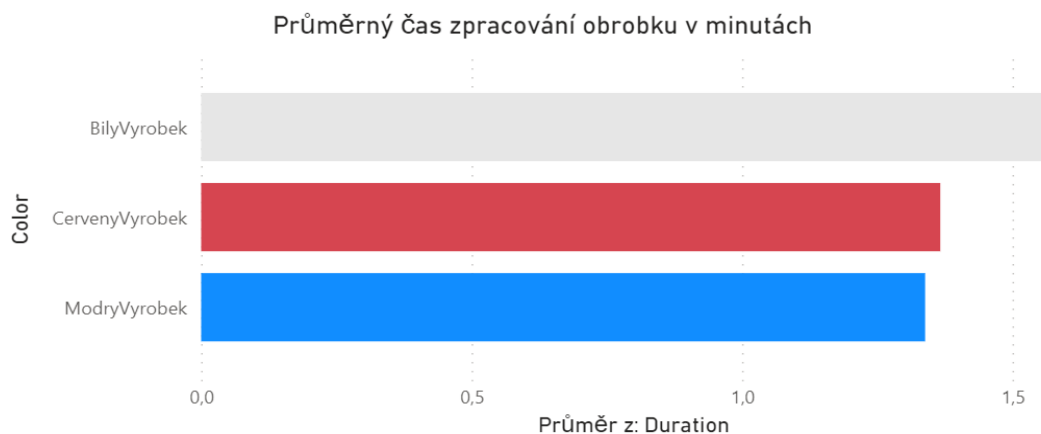


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 15 níže obsahuje srovnání průměrných časů, které trvalo zpracování jednotlivých obrobků různých barev. Jak již bylo zmíněno výše, tak jednotlivé barvy puků v modelu Fischertechnik znázorňují různé obrobky, a tudíž zpracování každé barvy trvá jinak dlouhou dobu. Z grafu je patrné, že nejdéle trvá zpracování bílého puku, a to konkrétně v průměru 1,58 minut. Časy pro zpracování červených a modrých puků jsou podobné, zpracování červených trvá 1,37 minut a modrých 1,34 minut.

Pro tento vizuál byl vytvořen již dříve zmiňovaný pohled “Výpočet času trvání procesu”. Na osu X byl vložen sloupec z vytvořeného pohledu a následně vytvořen průměr, tuto funkci nabízí PowerBI, na osu Y byl vložen sloupec, který určuje barvu a dále byl také použit filtr, díky kterému se ve vizuálu nezobrazují informace o zmetcích, které původně sloupec také sbíral.

Obr. 15: Srovnání časů zpracování obrobků podle barvy



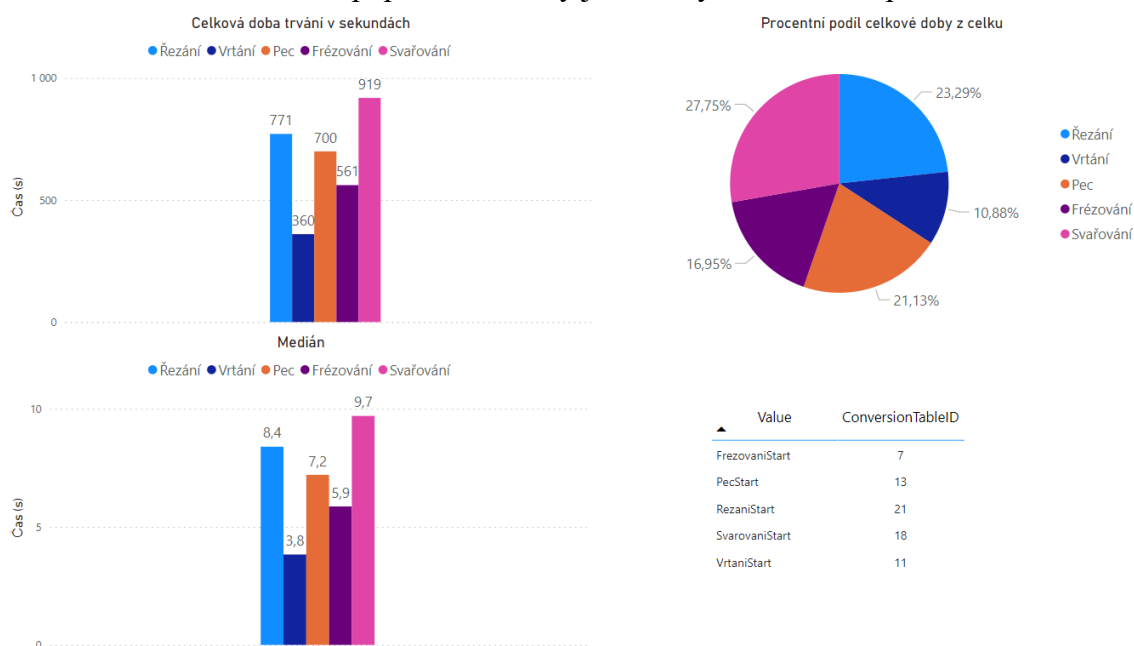
Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

5.2 Popisná statistika

Tato sestava se zaměřuje na dobu strávenou na pracovištích, celkem se jedná o 5 pracovišť a to frézování, vrtání, řezání, ohřev (pec) a svařování. Na základě získaných a zpracovaných dat byla provedena popisná statistika, která obsahuje průměrnou dobu na pracovišti, celkovou dobu na pracovišti, směrodatnou odchylku od průměru a medián.

Všechny pracoviště fungují nezávisle na tom, o jakou barvu se jedná. Pouze svařování je na barvě, tedy typu obrobku závislé, každou barvu je potřeba jinak dlouho svařovat.

Obr. 16: Sestava popisné statistiky jednotlivých stanovišť, první část.



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Souhrnný Obr. 16 poskytuje celkový vizuál popisné statistiky jednotlivých stanovišť. Tento úsek poskytuje informace o veškerých zaznamenaných informacích z jednotlivých stanovišť. Jedná se o první dílčí souhrnný vizuál z této podkapitoly, další následuje na Obr. 20.

Pro tyto vizuály popisné statistiky byly vytvořeny již dříve zmiňované pohledy Doba strávená na pracovišti. S těmito pohledy bylo dále pracováno v PowerBI. Nejčastěji se používala hodnota “Celková doba” (TotalDuration), která byla dále modifikována na základě potřeb. Bylo využito i vytvoření nové míry pro výpočet směrodatné odchylky a průměru, nicméně bylo zjištěno, že výsledky se shodují s výsledky, které využily možnosti PowerBI v sekci vizualizace.

U všech vizuálů byla hodnota celková doba trvání vložena na osu Y, dále byly vytvořeny jednotné popisky pro všechny data a na závěr byly jednotně upraveny barvy.

Zkoumané informace mohou být lehce zkreslené tím, že se může objevit prodleva v době trvání a času kdy jsou data zapsána do databáze. Tím, že nejsou známy případy kdy se tak stalo, ani není možné je nijak získat, pro účely této práce s tím nebude nadále pracováno.

V tabulce (Tabulka 1) níže jsou vybrány jednotlivé akce pro jednotlivé zpracování obrobků, tabulka obsahuje název akce s příslušným identifikátorem v ConversionTableID, který určuje, o jakou akci se jedná. Tato tabulka také po vybrání určité akce ji zvýrazní a ostatní akce zastíní.

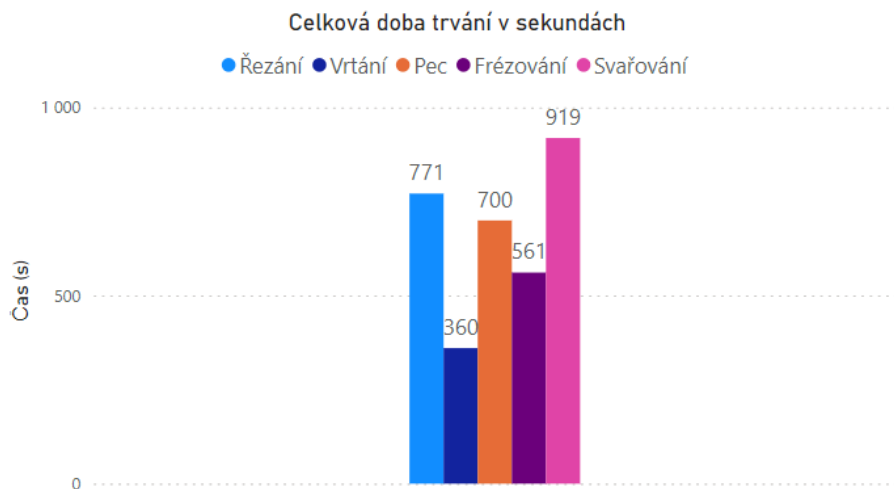
Tabulka 1: Názvy akcí s jednotlivými číselnými identifikátory

▲	Value	ConversionTableID
FrezovaniStart		7
PecStart		13
RezaniStart		21
SvarovaniStart		18
VrtaniStart		11

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Následující graf (Obr. 17) znázorňuje celkovou dobu trvání jednotlivých akcí za celkovou dobu trvání procesu. Z grafu je patrné, že nejdelší čas z procesu je věnován svařování, které konkrétně trvá 15,31 minut (919 sekund), druhý časově nejnáročnější úkon je řezání, které trvá 12,85 minut (771 sekund), poté ohřívání obrobku (označeno jako pec), které trvá 11,66 minut (700 sekund), dále frézování s časem trvání 9,35 minut (561 sekund) a nejméně času zabralo vrtání, které trvalo 6 minut (360 sekund). Z pohledu optimalizace a úspory celkového procesního času by v reálném použití mělo smysl zaměřit se na optimalizaci procesů svařování, řezání a nahřívání obrobků. Jedná se totiž o nejvíce časově náročné procesy a eliminování případných nenávazností během daných procesů, či optimalizace technologického způsobu provedení úkonů by mohla přinést časovou úsporu, která by mohla pomoci zefektivnit výrobní linku.

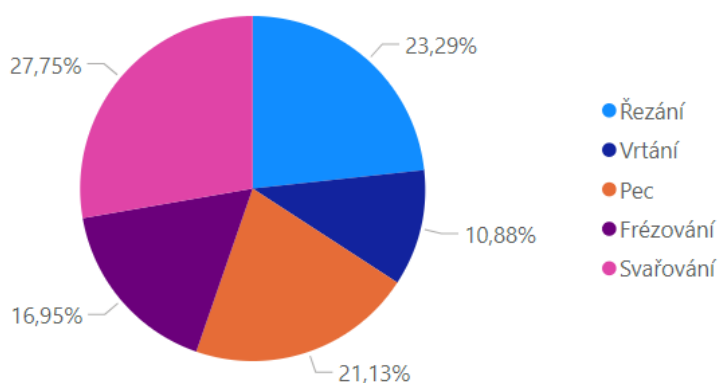
Obr. 17: Celková doba trvání jednotlivých akcí v celém procesu



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 18: Procentní zastoupení akcí v čase

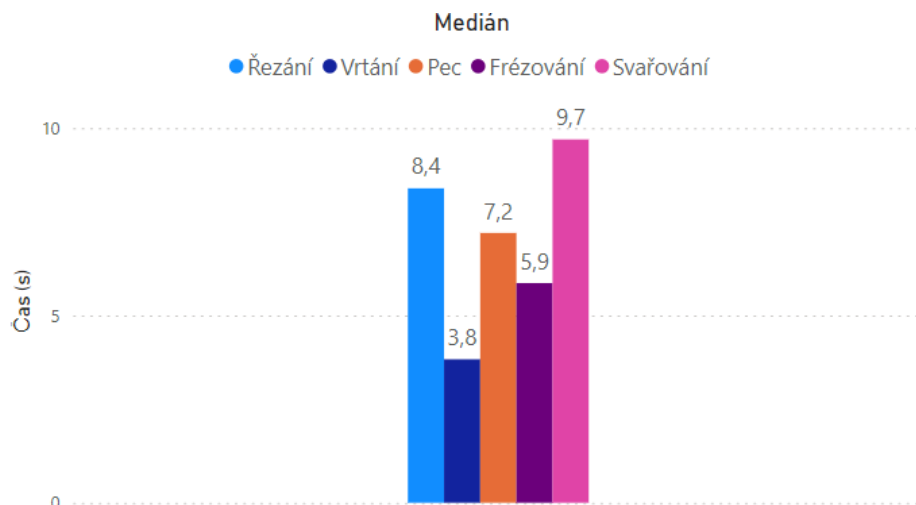
Procentní podíl celkové doby z celku



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 18 zobrazuje procentní zastoupení jednotlivých operací v celkovém čase procesu. Jedná se o jiný způsob vizualizace předchozího sloupcového grafu, který zobrazoval konkrétní časové údaje.

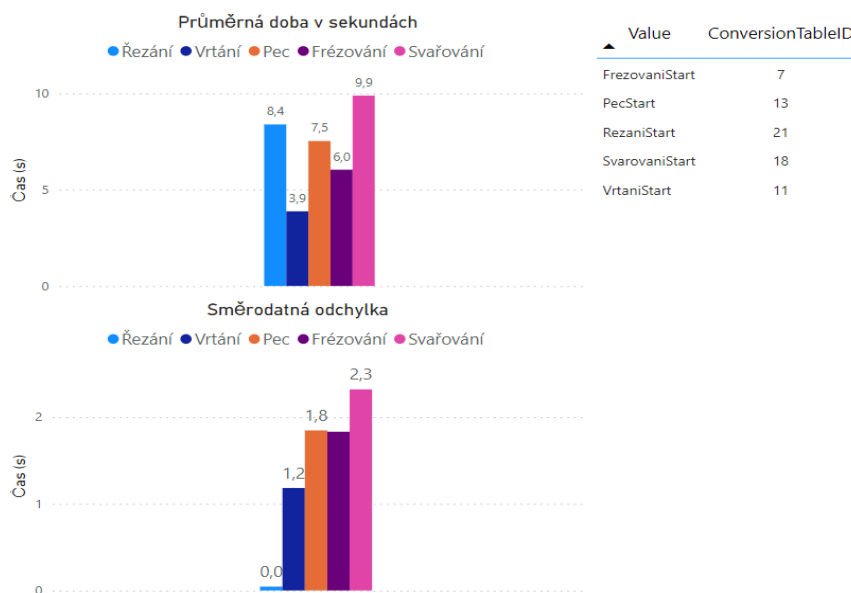
Obr. 19: Medián času jednotlivých akcí



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 19 je grafické znázornění mediánu času zpracování jednotlivých obrobků při různých akcích. Z grafu je patrné, že medián pro svařování obrobků byl 9,7 sekund, pro řezání obrobků 8,4 sekund, pro ohřívání v peci 7,2 sekund, frézování 5,9 sekund a vrtání 3,8 sekund. Z těchto dat je pozorovatelná korelace s předchozím sloupcovým grafem na Obr. 17.

Obr. 20: Sestava popisné statistiky jednotlivých stanovišť, druhá část.

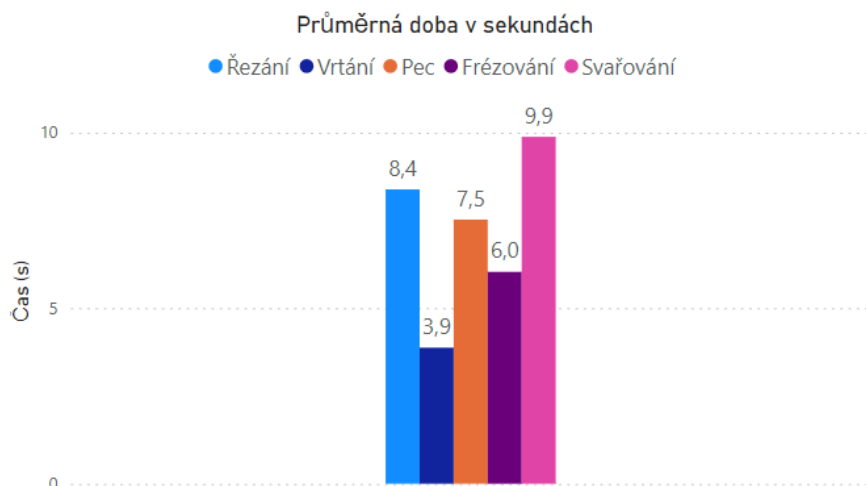


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Druhý z dílčích souhrnných vizuálů pro podkapitulu Popisná statistika je na Obr. 20

Následující graf na Obr. 21 zobrazuje průměrnou dobu trvání jednotlivých akcí pro jeden obrobek. Zhodnocení srovnání trvání jednotlivých akcí bylo zmíněno u předchozích grafů.

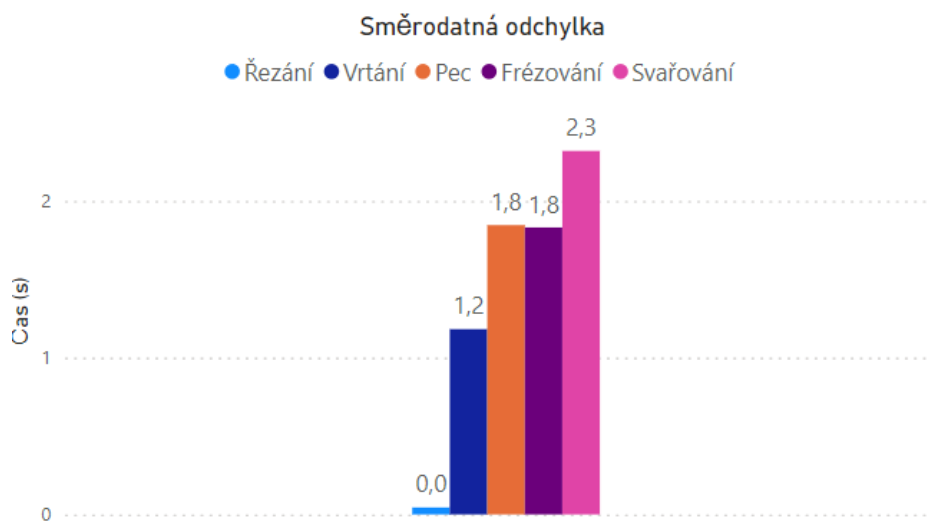
Obr. 21: Průměrná doba jednotlivých akcí pro jeden obrobek



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Zajímavým parametrem pro vyhodnocení dat je směrodatná odchylka od průměru dob jednotlivých akcí. Jak již bylo zmíněno, každý obrobek (červený, modrý a bílý puk) má jinou dobu zpracování na modelu linky. Tyto rozdílné doby jsou způsobeny různě dlouhou dobou strávenou na jednotlivých stanovištích pro jednotlivé akce. Předchozí graf ukazuje, že v průměru jsou všechny obrobky zpracovány například na stanovišti řezání 8,4 sekund. Nulová směrodatná odchylka pro tuto akci ukazuje, že mezi jednotlivými obrobky není pro tuto akci žádný rozdíl a jsou zpracovávány stejně.

Obr. 22: Směrodatná odchylka doby trvání jednotlivých akcí pro jeden obrobek



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

5.3 Oprava strojů

Tato sestava zobrazuje základní popisnou statistiku, tedy celkovou dobu trvání, směrodatnou odchylku od průměru, průměr a medián pro činnosti oprav strojů. V modelu Fischertechnik může oprava nastat pouze na dvou strojích, a to na frézování a vrtání. Tím, že se jedná o model linky, jak již bylo několikrát zmiňováno, neexistují žádné skutečné vlivy, které by měly na poruchu stroje vliv. Oprava strojů na stanovištích je programovaná na základě náhody.

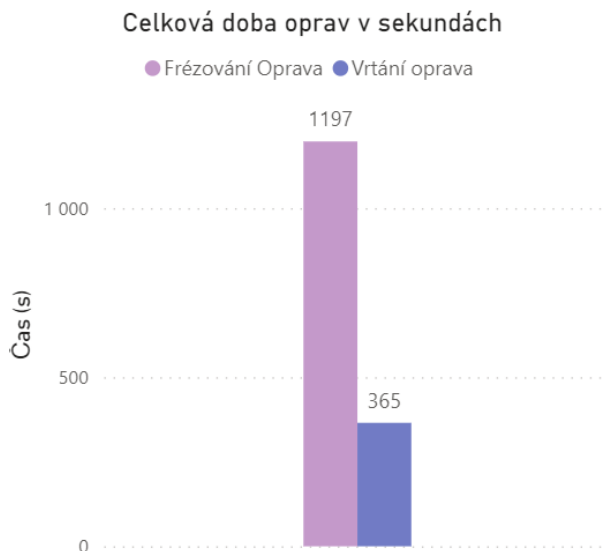
Obr. 23: Sestava s informacemi o opravách strojů



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 23 je zobrazena sestava, která zobrazuje informace o opravách strojů. Pro vytvoření této sestavy bylo také potřeba vytvořit nové konkrétní pohledy Frézování oprava a Vrtání oprava. Dále bylo postupováno velmi podobným způsobem jako u sestav pro popisnou statistiku. Barvy byly zvoleny jako světlejší odstíny již použitých barev pro stejné akce v sekci “Popisná statistika”. Výrazným prvkem v této sestavě je větší množství číselných karet, které by měly sloužit ke jasnému předání informací prostřednictvím přehledného nástroje.

Obr. 24: Přehled celkové doby oprav

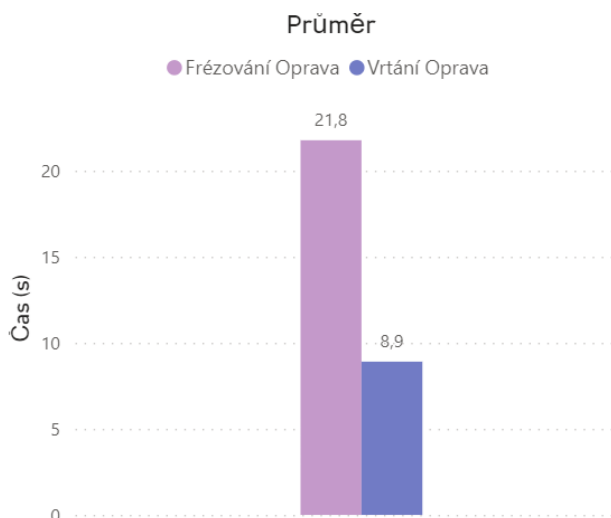


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Celková doba oprav v sekundách poskytuje přehled o rozdělení doby potřebné pro opravy v rámci celkového výrobního procesu. Z grafu na Obr. 24 je patrné, že podstatně větší část času je věnována opravě stroje na frézování, která zabírá 1197 sekund (20 min), zatímco celková doba oprav vrtání je podstatně nižší a to 365 sekund (6 min).

V kontextu optimalizace efektivity procesů je na základě těchto informací zjevné, že optimalizace času stráveného opravou stroje na frézování by měla významný dopad na celkovou efektivitu a produktivitu výrobního procesu.

Obr. 25: Průměrný čas oprav

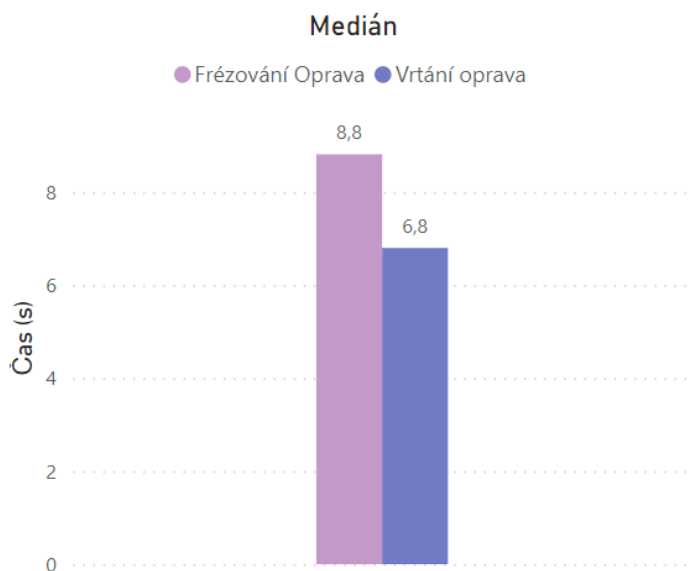


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 25 výše ukazuje průměrný čas oprav pro dvě operace – frézování a vrtání. Z grafu je patrné, že průměrný čas pro opravu při frézování je potřeba výrazně delší, tedy 21,8 sekundy, zatímco pro opravu při vrtání 8,9 sekundy.

Zajímavý je především rozdíl mezi průměrným časem a mediánem opravy (Obr. 26) u frézování, což by mohlo naznačovat že přestože typická oprava frézování (medián) je relativně rychlá 8,8 sekundy, existují významné výkyvy, které zvyšují průměrnou dobu opravy. To může být důsledkem výskytu několika extrémních hodnot v podobě velmi dlouhých oprav, které zvedají hodnotu průměrné doby.

Obr. 26: Medián časů opravy



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Následující graf (Obr. 27) znázorňuje směrodatnou odchylku časů oprav pro frézování a vrtání. Směrodatná odchylka pro frézování je značně vyšší s hodnotou 58 sekund, což odráží vyšší variabilitu v délce oprav tohoto pracoviště. Toto koreluje s předchozím pozorováním, kde byl pozorovatelný výrazný rozdíl mezi průměrem a mediánem u frézování, naznačující přítomnost několika neobvykle dlouhých oprav. Na druhé straně směrodatná odchylka pro opravu vrtání je pouze 6 sekund, což ukazuje, že doby oprav na tomto stanovišti jsou více konzistentní a mají menší rozptyl kolem průměru.

Obr. 27: Směrodatná odchylka časů oprav



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 28 jsou znázorněny číselné karty, které zobrazují informace o opravách na stroji pro frézování. Nejdříve je zvýrazněna maximální zaznamenaná doba opravy, přičemž tato významná hodnota klíčově přispívá k porozumění předchozím statistickým údajům. Rozdíl mezi nejdelší opravou 428,01 sekund a nejkratší opravou 3,66 sekund je více než 420 sekund. Tato informace náhle vysvětluje velké výkyvy mezi mediánem, průměrem a také hodnotami směrodatné odchylky. Další podrobnosti, které by vysvětlily příčiny této rozdílnosti, nejsou bohužel dostupné a vzhledem k tomu, že se jedná o simulovaný model výrobní linky, nelze určit, co přesně způsobilo takto extrémní dobu opravy. Dále jsou uvedeny hodnoty o celkovém počtu frézování v průběhu běhu linky a také kolikrát za tuto dobu byla provedena oprava na stroji. V tomto případě se jedná o 93 procesů frézování z toho 55 oprav. Jedná se tedy o 59,14 %, což je poměrně vysoké číslo. Více než u poloviny frézování bylo potřeba opravit stroj, to může vypovídat o potřebě revize údržby nebo procesního nastavení.

Obr. 28: Číselné údaje frézování

Nejdelší doba opravy FRÉZOVÁNÍ v sekundách	Nejkratší doba opravy FRÉZOVÁNÍ v sekundách	Počet uskutečněných oprav FRÉZOVÁNÍ	Počet Frézování
428,01	3,66	55	93

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na druhé straně jsou na Obr. 29 znázorněny stejné informace pro opravu vrtání. V tomto případě lze pozorovat, že nejdelší doba opravy je 32,82 sekundy a nejkratší je 3,84 sekundy. Jedná se tedy o rozdíl necelých 30 sekund. V porovnání s opravou frézování je to téměř zanedbatelné rozpětí. Tomuto přesvědčení napomáhají i dříve zjištěné informace, že oprava vrtání je podstatně konzistentnější proces. Z 93 celkem provedených vrtání bylo potřeba 41krát opravit stroj, to činí 44,09 %. Ačkoliv se jedná o nižší procento než u oprav frézování, pořád se jedná o poměrně vysoké procento.

Obr. 29: Číselné údaje vrtání

Nejdelší doba opravy VRTÁNÍ v sekundách	Nejkratší doba opravy VRTÁNÍ v sekundách	Počet uskutečněných oprav VRTÁNÍ	Počet Vrtání
32,82	3,84	41	93

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

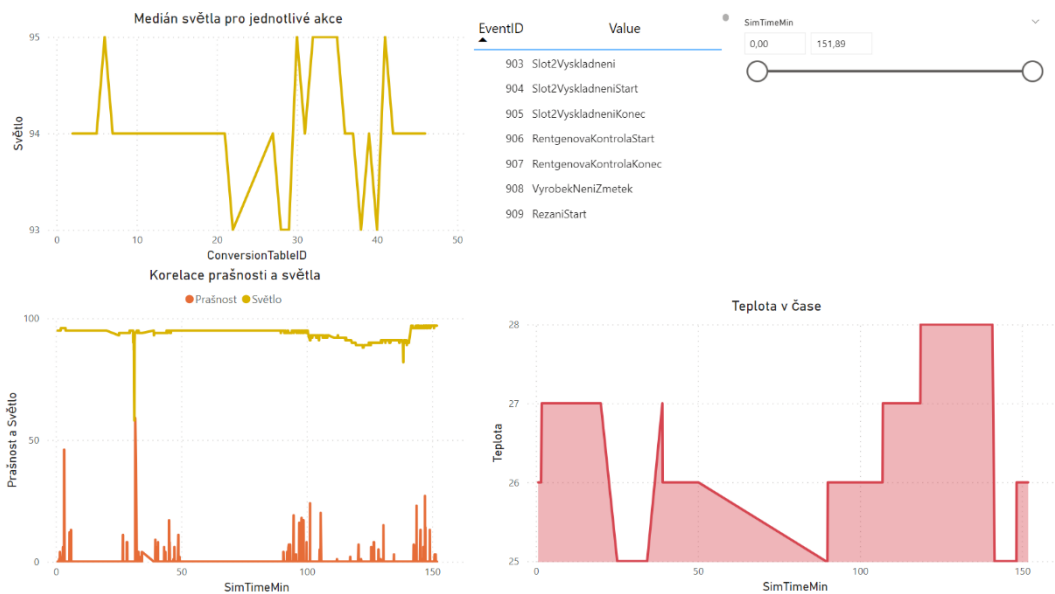
5.4 Vnější vlivy

Tyto sestavy zobrazují zpracované vizuály zahrnující vnější vlivy. Datový model sbírá informace o světelných podmínkách, teplotě, vlhkosti, hlasitosti a prašnosti. Tyto podmínky jsou reálně zkoumány a data zpracovávána na základě skutečných vnějších podmínkách. Jediné otřesy se musejí vykonávat ručně (zatřást ručně senzorem).

Tato data jsou do databáze sbírána v textovém řetězci, proto bylo potřeba je nejprve uzpůsobit. Úprava dat probíhala v prostředí PowerBI, kdy bylo potřeba textový řetězec převést na sloupec. Bylo využito možnosti “upravit dotaz”, kde následně došlo k rozdělení sloupce oddělovačem, kde byla použita čárka, poté se musel sloupec dále rozdělovat, dokud tam nezůstala pouze požadovaná hodnota. Takto bylo provedeno pro každý sloupec.

Při analýze současného stavu databáze bylo zjištěno, že u 522 záznamů chybí informace o vnějších vlivech, což se promítá do provedené analýzy a může to způsobit zkreslení výsledků.

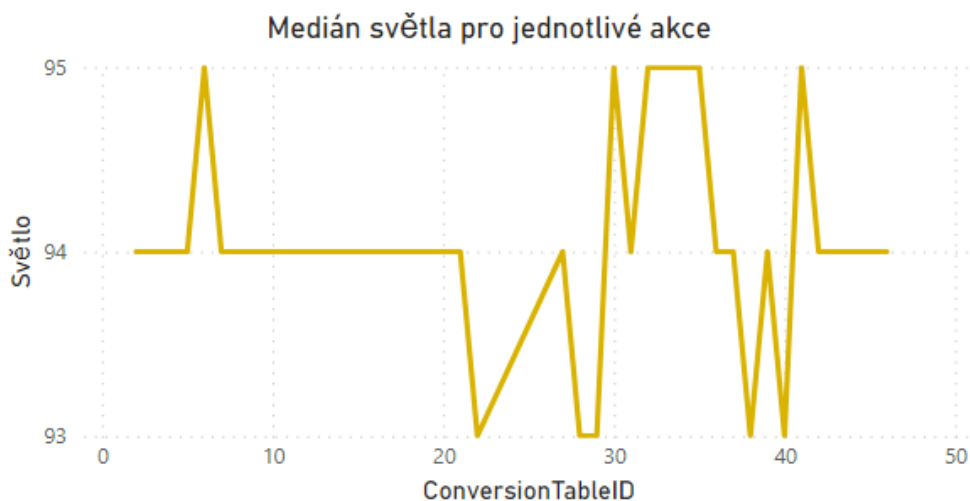
Obr. 30: Sestava s vnějšími vlivy, první část



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 30 výše je souhrnná sestava první části vizuálů zobrazující naměřená data o vnějších vlivech.

Obr. 31: Medián osvětlení v závislosti na akci



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

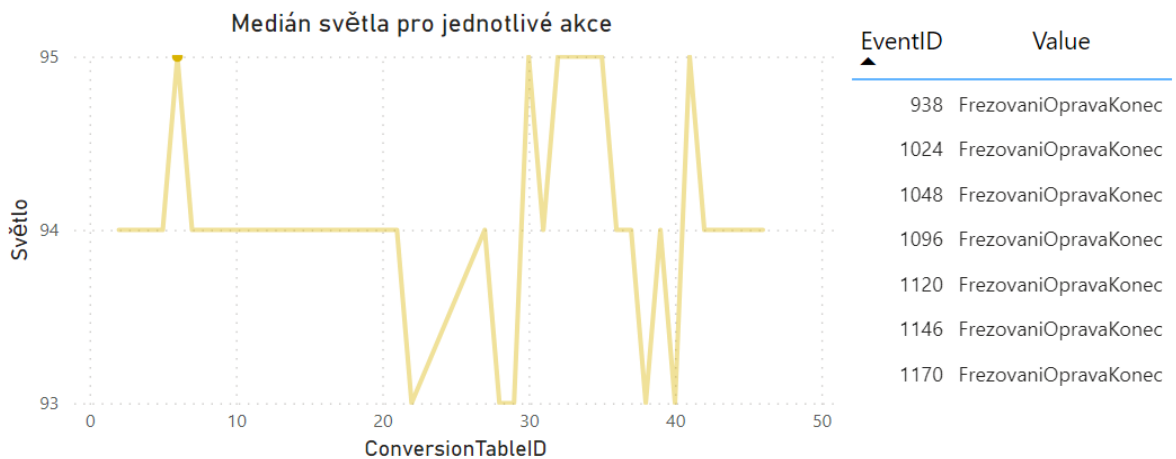
Graf na Obr. 31 ukazuje závislost mezi snímaným světlem zaznamenaným optickým senzorem a ConversionTableID. Tato závislost lze interpretovat a nahlížet na ni nepřímou jako na prašnost, která se mění v závislosti právě na jednotlivých akcích prováděných na obrobku. Snímání a zaznamenávání světla může být také vhodný nástroj pro detekci poruch. Pokud by došlo k poruše, která generuje záblesk (zkrat na lince), pak by tato

událost byla jasně detekována a byla by dohledatelná v datech. Tudíž by bylo možné určit kdy a při jaké akci porucha nastala.

Jak je vidět na Obr. 32 níže, tak nejvyšší hodnota zaznamenaného osvětlení je pro akci FrézováníOpravaKonec. Hodnoty světla kolísají okolo hodnoty 94, kdy nejnižší hodnota je 93 a to pro akce ZmetekVyřazováníKonec, Slot1Vyskladnění, Slot1VyskladněníKonec, VýrobekJeZmetek a ZmetekVyřazováníStart. Na druhou stranu nejvyšší hodnota je 95 a to pro akce Slot2VyskladněníStart, Slot2Vyskladnění, Slot3VyskladněníKonec, Slot2VyskladněníKonec a také již zmiňované FrézováníOpravaKonec.

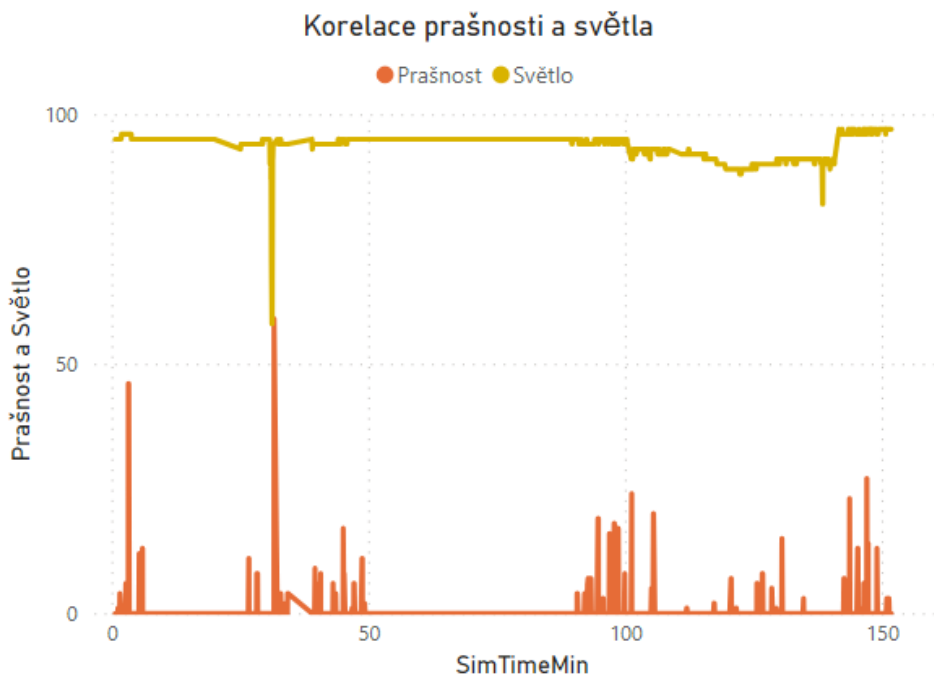
Na základě těchto informací lze pozorovat, že největší hladina světla bývá a u akcí vyskladnění obrobků ze skladu. Tím že se ale jedná o velmi nepatrné změny v hodnotách není na jejich základě možné provádět rozhodnutí.

Obr. 32: Medián osvětlení v závislosti na akci se zvýrazněním hodnoty



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

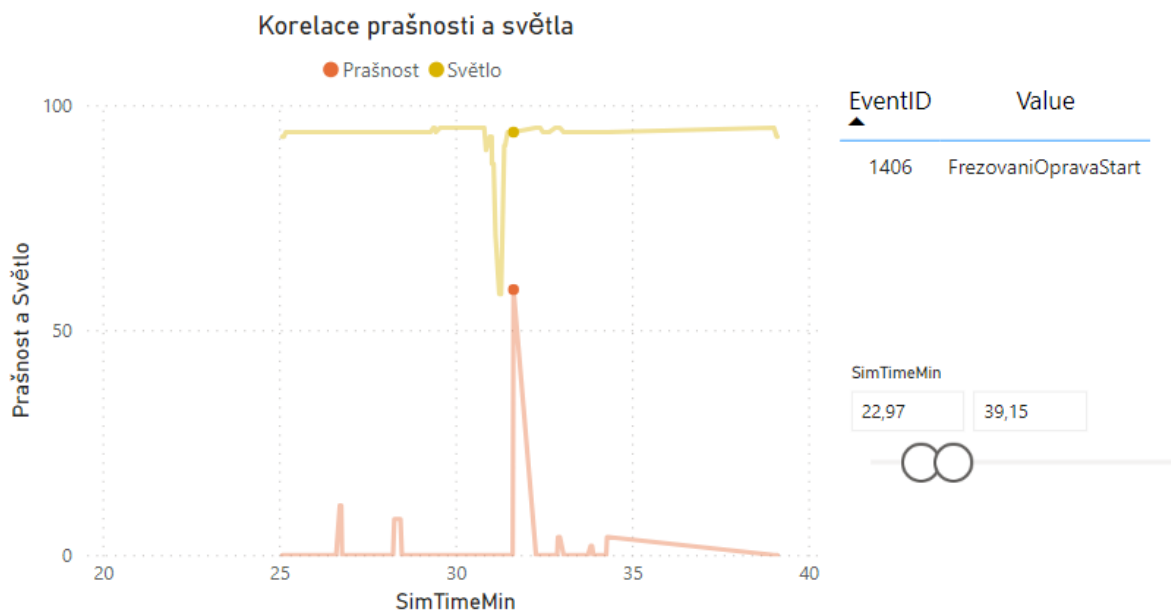
Obr. 33: Korelace časových záznamů prašnosti a osvětlení



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Velmi zajímavé srovnání je vidět na Obr. 33 kde je zobrazena korelace mezi zaznamenanou prašností a osvětlením v závislosti na čase. Z naměřených dat je patrné, že mezi daty existuje silná korelace podle očekávání. V simulačním čase 30 min běhu linky je vidět velmi strmý propad v osvětlení a velmi strmý nárůst hodnot prašnosti. Nicméně jak je vidět z naměřených dat v databázi, tak záznam hodnot nebyl konzistentní a data nebyla zaznamenávána se stejným časovým krokem. Jak je vidět například mezi 34. až 39. minutou, tak zde data nebyla zaznamenána a ‘zub’ v grafu je zapříčiněn spojením dvou hodnot. Stejně tak v úseku mezi simulačním časem 50. minuty až 90. minuty nebyl žádný záznam hodnot ani pro prašnosti ani světla a záznam je pouze napojen. Pro reálné použití by bylo vhodné zaznamenávat s co nejvyšší četností ať již kvůli možnosti detekce poruch generující záblesky, tak i možnost sledovat prašnost linky. V některých aplikacích by mohlo být nutné dělat odstávky nebo údržbu podle nahromaděného prachu, proto je nutné tyto veličiny sledovat.

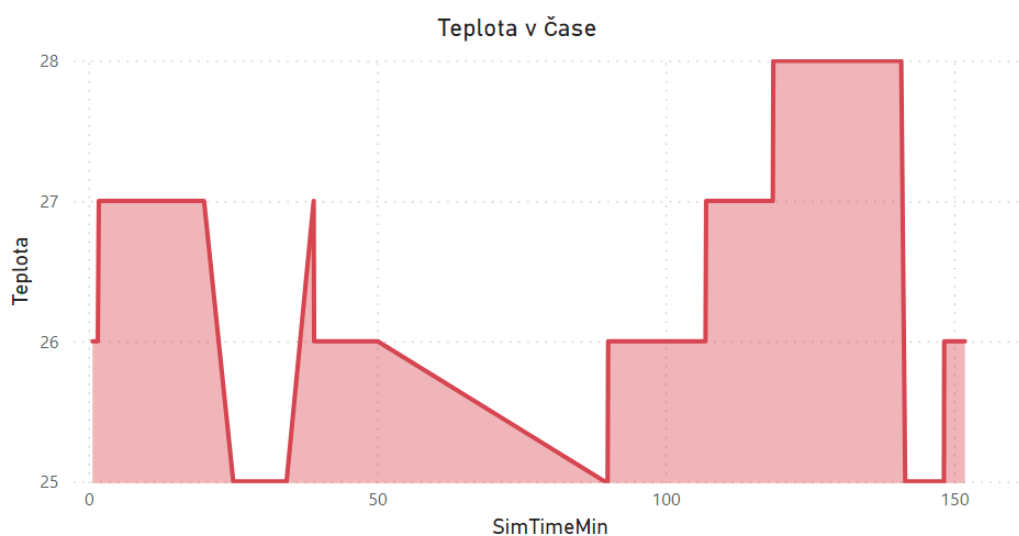
Obr. 34: Korelace časových záznamů prašnosti a osvětlení se zvýrazněným časovým úsekem



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Graf na Obr. 34 ukazuje a zvýrazňuje pouze určitý časový úsek z předchozího grafu na Obr. 33. Z tohoto výřezu je vidět, že maximum v prašnosti a zároveň minimum v osvětlení je pro akci FrezovaniOpravaStart. Zároveň je také vidět, že záznam dat pro prašnost a osvětlení není úplně synchronizován a je mezi zaznamenanými daty určitá prodleva. To lze usoudit z faktu, že v oba extrémy by teoreticky měly být zaznamenány ve stejný čas, protože jsou způsobeny stejnou akcí.

Obr. 35: Záznam teploty v čase



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 35 zobrazuje závislost teploty na čase simulace. Tento graf poskytuje informaci o teplotní stabilitě prostředí, kde se sledovaná linka nachází. Můžeme vidět, že teplota se mění v rámci 3 °C, a to konkrétně od 25 °C do 28 °C. Sledování tohoto parametru v reálném využití může být důležité pro provozy, kde je nutné držet teplotu v určitém rozmezí a její vliv společně například s vlhkostí může mít vliv na zmetkovitost. V tomto případě simulace linky nelze žádné spojitosti dohledat, což je způsobeno i tím, že zmetky jsou generovány náhodně nezávisle na podmínkách prostředí.

Obr. 36: Sestava s vnějšími vlivy, druhá část



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 36 výše je souhrnná sestava druhé části vizuálů zobrazující naměřená data o vnějších vlivech.

Tabulka 2 níže obsahuje průměrné hodnoty všech zaznamenávaných veličin. Z jednotlivých dat můžeme pozorovat, že se jedná opravdu pouze o simulaci linky. Průměrný hluk je 38,94 dB, což je pro výrobní linku extrémně nízká hodnota a lze ji přirovnat k tiché místnosti. Zaznamenaný průměrný atmosférický tlak je 975,18 hPa, což je obvyklá hodnota. Zajímavé je, že průměrná hodnota zaznamenaných otřesů je nulová a při bližším prozkoumání všech dat zaznamenaných v databázi bylo zjištěno, že otřesy jsou nulové pro všechny záznamy. Osvětlení a prašnost byly již detailněji rozebrány v předchozí části a v tabulce jsou zobrazeny průměrné hodnoty. Zaznamenaná průměrná

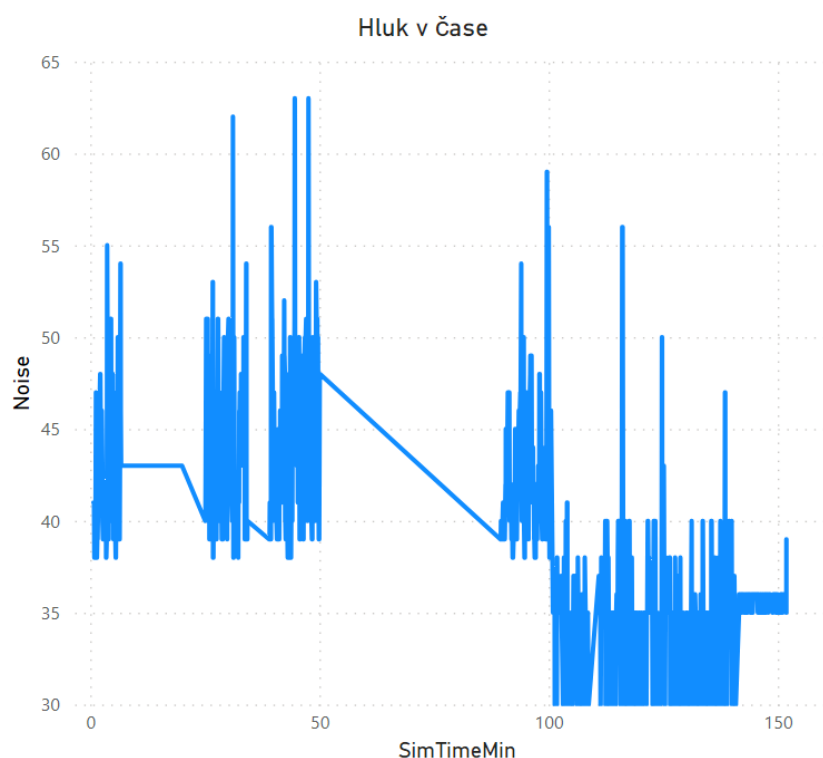
vlhkost je 30,70 %RH, což je opět nižší hodnota, ze které lze usoudit, že se jedná o víceméně suché prostředí.

Tabulka 2 Průměrné hodnoty všech zaznamenaných vnějších vlivů

Průměrné hodnoty jednotlivých vlivů					
Hluk	Tlak	Otřesy	Světlo	Vlhkost	Prašnost
38,94	975,18	0,00	93,31	30,70	0,70

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obr. 37: Záznam hluku v závislosti na čase

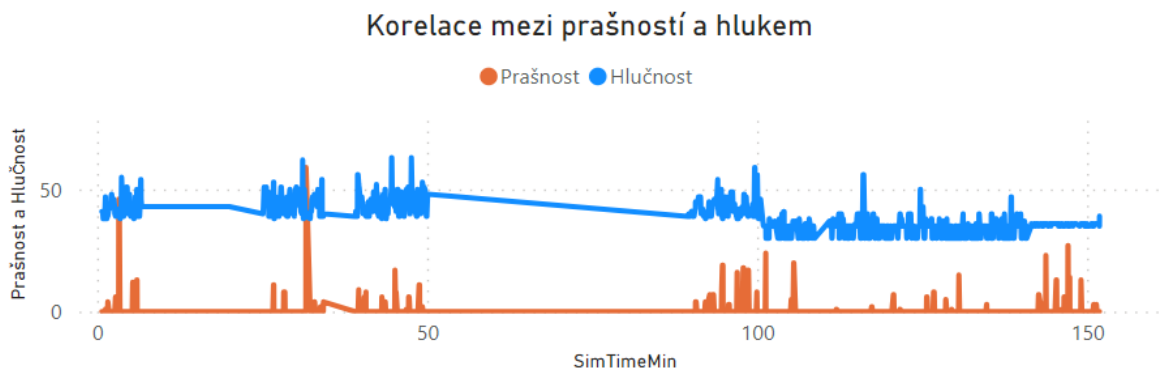


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Graf na Obr. 37 zobrazuje závislost naměřeného hluku v čase. Z tohoto grafu je nyní již patrné, proč je získaná průměrná hodnota hluku z předchozí Tabulka 2 tak nízká a dosahuje pouze hodnoty 38,94 dB. Při bližším pohledu na data je vidět, že hluk opět nebyl zaznamenáván neustále a v datech jsou prázdná místa. V grafu je toto vidět nejlépe v úsecích 20 až 25 minut, 34 až 49 minut a 50 až 90 minut. V těchto úsecích se nacházejí prázdná místa a krajní hodnoty jsou pouze spojeny. Toto poté pravděpodobně má za následek nízkou celkovou průměrnou hodnotu hluku. Snímání hlučnosti v reálných procesech je opět důležité. Informace o hlučnosti je možné zpracovávat a srovnávat s

předchozími záznamy. Jakákoliv zvýšená hlučnost při určité akci může značit na nutnost údržby některého zařízení. Je také nutné hlídat příslušné limity hluku v hale s výrobní linkou.

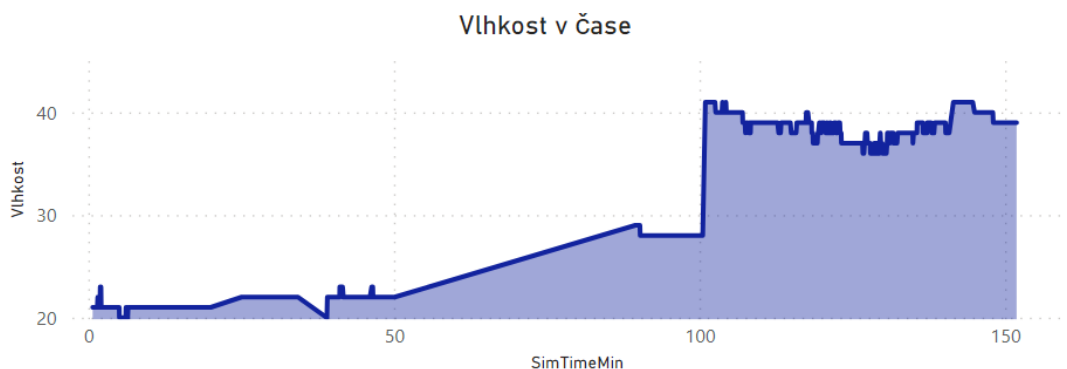
Obr. 38: Srovnání časových záznamů prašnosti a hluku



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Zajímavé je srovnání záznamu o prašnosti a hluku, které je zobrazeno na Obr. 38. Je opět pozorovatelné, že v tomto ohledu je mezi daty určitá korelace. Například ve 32. minutě se zvyšuje hladina hlučnosti i prašnosti, bylo zjištěno, že v tomto čase probíhala akce FrezovaniOpravaStart.

Obr. 39: Záznam měření vlhkosti v čase



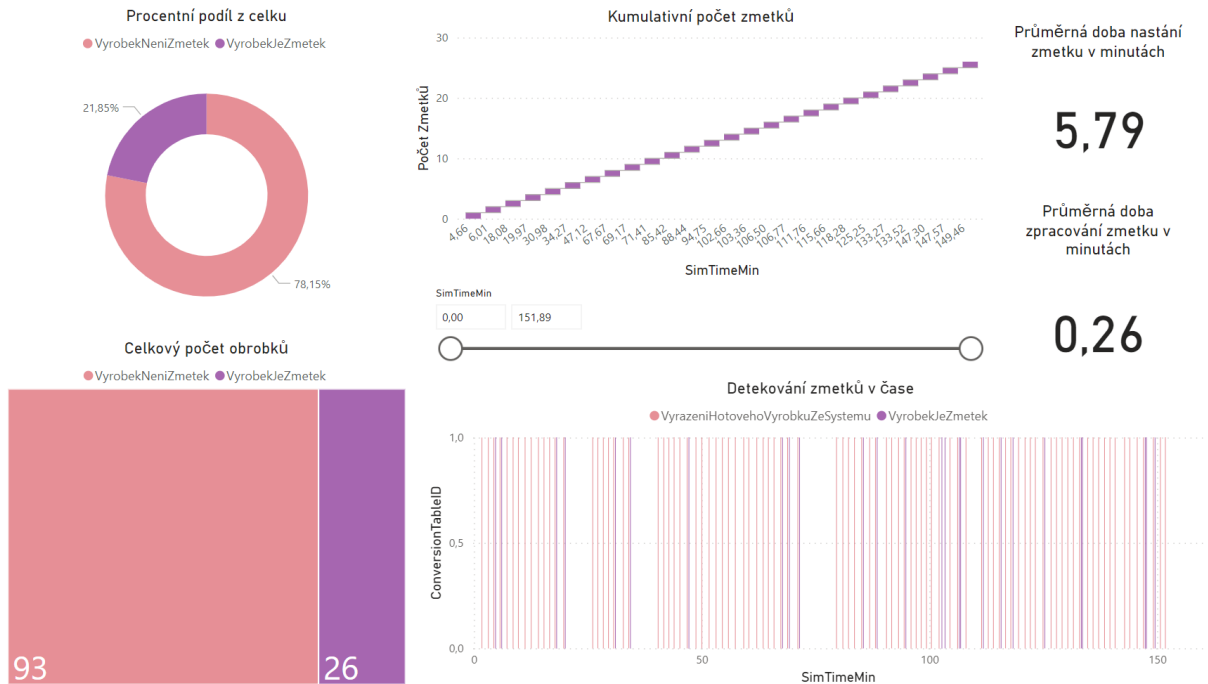
Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Graf na Obr. 39 ukazuje závislost naměřené vlhkosti na čase. Z grafu je vidět, že hodnota vlhkosti se mění od velmi nízkých hodnot (zhruba 21 %RH až do 41 %RH). Jak již bylo zmíněno v záznamu o teplotě, při náhodném generování zmetků v simulaci nemá tento parametr vliv, nicméně při reálné aplikaci je vlhkost jedním z klíčových parametrů ke sledování na výrobní lince. Například při zpracování plastů může mít vlhkost značný vliv na zpracovanou směs. Při zpracování kovů pak může zvýšená vlhkost znamenat problémy s korozí.

5.5 Zmetkovitost

Tato sestava se zaměřuje na zobrazení zmetků na modelu linky. Stěžejní u této statistiky je, že zmetky jsou programovány náhodně, tedy vnější vlivy na ně nemají žádný vliv.

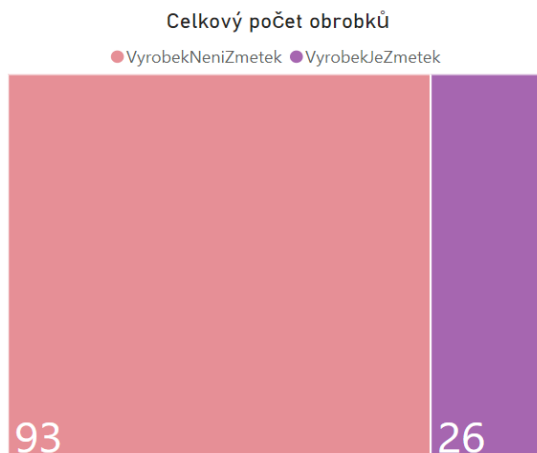
Obr. 40: Sestava s informacemi o zmetkovitosti



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na Obr. 40 je zobrazena sestava, která poskytuje detailní přehled o výskytu zmetků a průběhu výrobního procesu. Tato sestava poskytuje data o časových intervalech detekce zmetků, celkového počtu identifikovaných zmetků a další statistické informace týkající se kvality produkce.

Obr. 41: Celkový počet obrobků

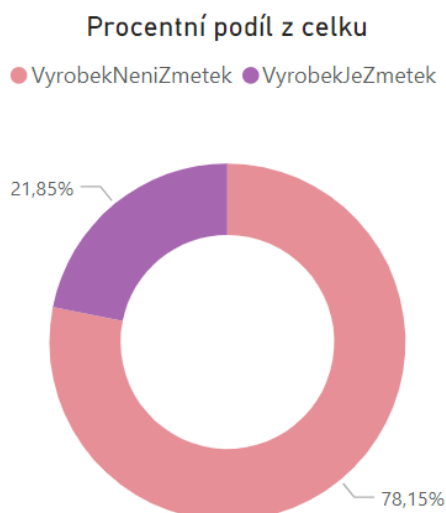


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na grafu „Celkový počet obrobků“ je prezentován vizuální souhrn celkové produkce v průběhu 151 minut, kde stromová struktura ilustruje rozdíl mezi úspěšně dokončenými obrobky a těmi, které byly vyhodnoceny jako zmetek. Celkem bylo vyrobeno 119 obrobků, z čehož 93 obrobků bylo úspěšně zpracováno a zbylých 26 obrobků bylo vyhodnoceno jako nevyhovující, což reprezentuje zmetky.

Tyto zjištěné informace podporuje graf zobrazený níže Obr. 42 kdy lze pozorovat, že zmetky tvoří 21,85 % z celkové produkce obrobků. Na základě obecných předpokladů a v širším kontextu průmyslové výroby lze považovat 21,85 % za poměrně vysokou hodnotu. To je zvláště zřetelné, pokud by tato úroveň byla srovnána s metodologií Six Sigma, což je přístup zaměřený na dosažení téměř dokonalé kvality výrobků a procesů.

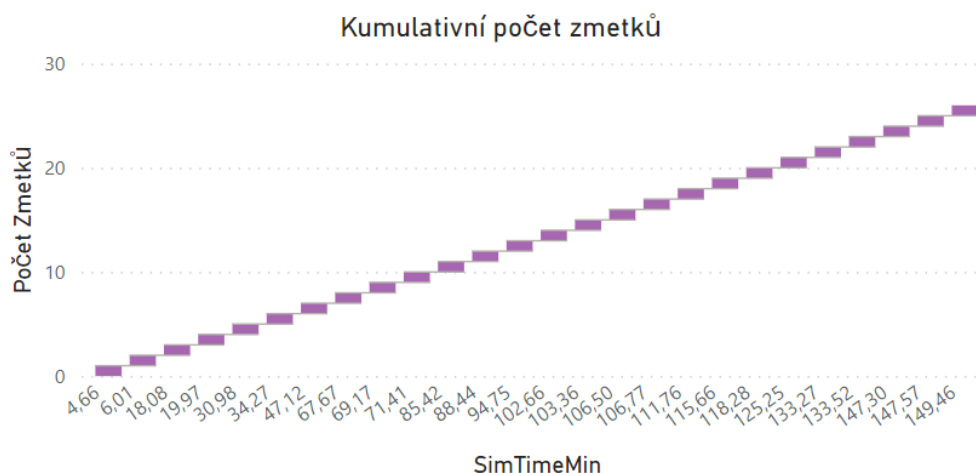
Obr. 42: Procentní zastoupení zmetků



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Kumulativní graf na následujícím Obr. 43 napomáhá k pochopení dynamiky vzniku zmetků v průběhu výrobního cyklu. Je pozorovatelné, že v některých časových okamžicích je nárůst zmetků prudší než v jiných. Za předpokladu reálné výrobní linky by tento vizuál mohl naznačovat konkrétní problémy v procesu v těchto fázích. Konkrétně v čase od 102. minuty do 112. minuty bylo detekováno nejvíce zmetků za 10 min v průběhu celého procesu.

Obr. 43: Kumulativní počet zmetků



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Následující Obr. 44 prezentuje dvě informační karty s číselnými údaji týkající se statistiky výrobního procesu. Na základě již zmiňovaného vytvořeného pohledu “Výpočet trvání procesu” byl vypočten průměrná čas potřebný pro detekování zmetku, který je 0,26 minuty. Dále ze zmiňovaného pohledu vyplývá, že průměrný interval mezi vznikem jednotlivých zmetků se rovná 5,79 minuty.

Obr. 44: Informace o zmetkách v čase

Průměrná doba zpracování
zmetku v minutách

0,26

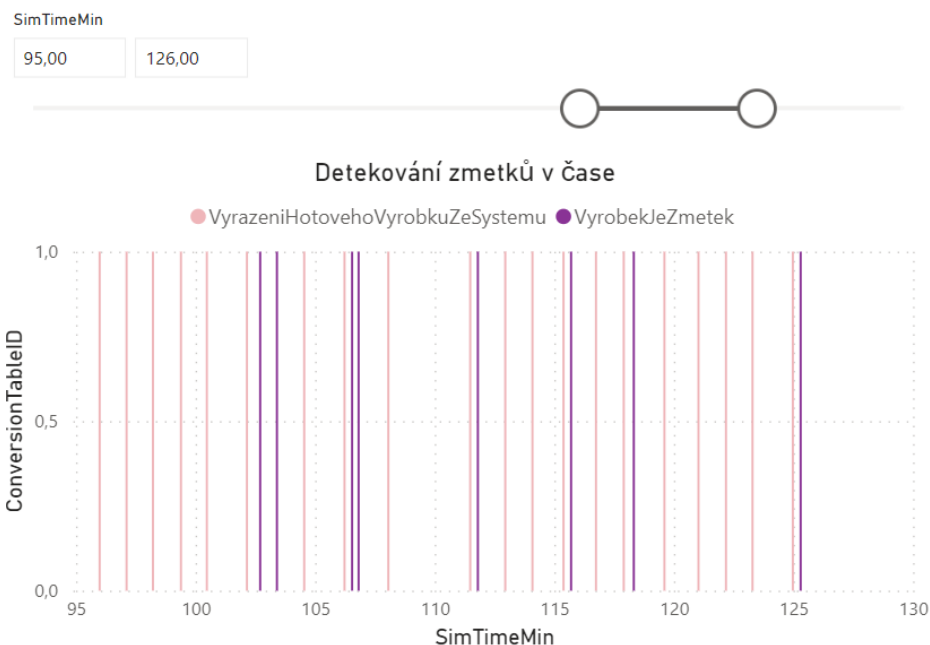
Průměrná doba nastání
zmetku v minutách

5,79

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na následujícím Obr. 45 je zobrazen vizuál, který je již za pomoci průřezu časově ohraničen. Sloupcový graf vyobrazuje časy, kdy byly jednotlivé hotové obrobky vyřazené ze systému a kdy byly obrobky vyhodnoceny jako zmetek. Během 30minutového intervalu bylo zaznamenáno, že systémem prošlo celkem 28 obrobků. Z této produkce bylo vyhodnoceno jako zmetek 8 obrobků, což představuje přibližně 29 % z celkového množství produkce.

Obr. 45: Ukázka detekce zmetků v čase simulace

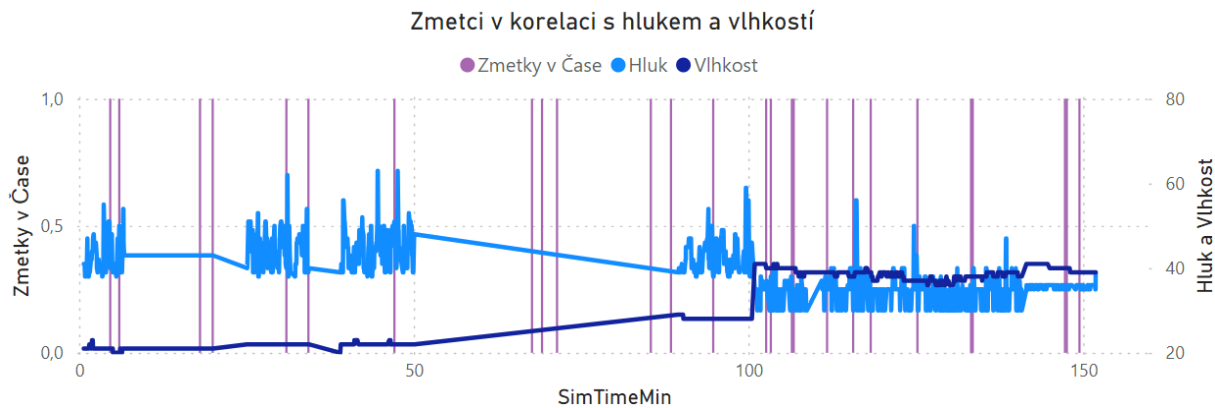


Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Následující graf na Obr. 46 ukazuje korelaci mezi zmetky v čase, vlhkostí a hlukem. Ačkoliv, jak bylo zmíněno dříve, vznik zmetků je naprogramován náhodně a nezávisí na vnějších vlivech, pozorování ukázalo korelaci mezi zvýšenou vlhkostí a pravděpodobností detekce zmetků. Důkladnější pozorování procesu odhalilo, že v časovém úseku mezi 100. a 150. minutou došlo k nárůstu vlhkosti, zvýšení kolísání hladiny hluku s výrazným zvýšením počtu detekovaných zmetků.

Tyto informace by v reálném procesu mohly být velmi přínosné pro organizaci pro poskytování informací o problémech v prostředí, které mohou ovlivnit kvalitu výroby.

Obr. 46: Korelace mezi zmetky a hlukem a vlhkostí



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

6 Návrh opatření a rozšíření datového modelu

Na základě provedené analýzy dat bylo zjištěno, které aspekty výroby jsou méně efektivní a je zde největší prostor pro zlepšení. Pro podporu této analýzy a poskytnutí informací, které by mohly napomáhat při rozhodování o investicích byl vytvořen návrh který rozšiřuje datový model o ekonomická data jako jsou náklady na provoz nebo materiál.

6.1.1 Náklady na proces (ProcessCosts)

Tabulka s náklady na proces je pro sledování a analýzu nákladů spojených s jednotlivými výrobními procesy. Sbírá data jako jsou náklady na energie, které jsou přepočteny na minuty, protože i aktivity stojí jsou v řádu minut. Hodnoty zobrazené ve sloupcích jsou nulové, jelikož nejsou známy přesné typy používaných strojů ani jejich výkonová spotřeba.

Tabulka 3: Náklady na proces

ProcessCostID	ModelDeviceID	CostPerMinute	ElectricityCost	GasCost	OtherCosts
1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Tato tabulka obsahuje sloupce:

ProcessCostID – jedná se o primární klíč tabulky, každá hodnota v tomto sloupci je jedinečná a slouží k jednoznačné identifikaci každého záznamu v tabulce. Hodnoty pro tento sloupec jsou automaticky generované. Jeho hodnota začíná na 1 a při každém novém záznamu se zvyšuje o 1.

ModelDeviceID – cizí klíč, který tuto tabulku propojuje s tabulkou ze základního modelu ModelDevices. Díky tomuto cizímu klíči je možné propojení každého záznamu v ProcessCosts s odpovídajícím zařízením (device) z ModelDevices, což umožňuje propojení nákladů s konkrétním zařízením. Obsahuje hodnoty 1–6, kdy každé číslo reprezentuje jedno pracoviště.

CostPerMinute – ukládá součet nákladů spojené s provozem zařízení a převádí je na minuty, jelikož i činnost jednotlivých strojů je zaznamenávána v minutách.

ElectricityCost – uchovává náklady na elektrickou energii pro dané zařízení. Provádí součin mezi kWh potřebnými na provoz zařízením a cenou za kWh. Dále to převádí do minutové soustavy.

GasCost – tento sloupec provádí to stejné jako ElectricityCost, ale pro plyn.

OtherCosts – zde jsou všechny ostatní náklady s provozem, které nejsou zahrnuty v přechozích sloupcích.

Tato tabulka tedy umožňuje sledování nákladů spojených s jednotlivými zařízeními výrobního procesu. Přináší základní přehled o tom, kolik stojí provoz každého stroje za minutu užívání. Tyto data by mohla být užitečná pro identifikování oblastí, kde je možné dosáhnout úspor. Mohou také sloužit jako zdroj informací pro rozhodování o rozpočtech a nových investicích.

Tabulka 4: Náklady na konkrétní výrobní zařízení

EventID	ConversionTableID	ProcTimeMin	EndEventID	EndConversionTableID	EndProcTimeMin	TotalDurationSeconds	TotalProcTimeMin	ModelDeviceID	CostPerMinute
939	7	0,0066851383333333	940	8	0,123461246666667	7,8087831	0,130146385	5	0.0000
963	7	0,0223887083333333	964	8	0,0735541383333333	5,7565708	0,0959428466666667	5	0.0000
993	7	0,02202393	994	8	0,0734548733333333	5,7287282	0,0954788033333333	5	0.0000
1025	7	0,0066544483333333	1026	8	0,1235970133333333	7,8150877	0,1302514616666667	5	0.0000
1049	7	0,0065522666666667	1050	8	0,0401623883333333	2,8028793	0,046714655	5	0.0000
1073	7	0,022479325	1074	8	0,0900277583333333	6,750425	0,1125070833333333	5	0.0000
3337	7	0,0243709833333333	3338	8	0,056655115	4,8615659	0,0810260983333333	5	0.0000
3371	7	0,0062444916666667	3372	8	0,1233583233333333	7,7761689	0,129602815	5	0.0000

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

V tabulce 4 je možné vidět příklad využití těchto přidaných atributů. Každý řádek v tabulce říká, kdy akce začala, o jakou akci se jedná, jak dlouho trvala, na jakém stanovišti probíhala a kolik stála tato doba provozu.

6.1.2 Materiál (Materials)

V tabulce materiálu jsou poskytnuty informace o jednotlivých materiálech používaných ve výrobním procesu. Sloupce jsou definovány takto:

Tabulka 5: Přehled materiálu

MaterialID	Color	ConversionTableID	Value	UnitPrice	StockQuantity	Supplier
1	Bílá	14	Bílý puk	NULL	NULL	NULL
2	Červená	15	Červený puk	NULL	NULL	NULL
3	Modrá	16	Modrý puk	NULL	NULL	NULL

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

MaterialID – jedinečný identifikátor pro každý typ materiálu.

Color – určuje barvu materiálu, což se může hodit pro různé výrobní požadavky nebo pro sledování zásob podle typu materiálu.

ConversionTableID – odkazuje na identifikátor z tabulky ConversionTables, který je spojen s konkrétním procesem ve výrobě, kde je materiál použit.

Value – textový popis materiálu, který popisuje konkrétní proces z předchozího sloupce ConversionTableID.

UnitPrice – jednotková cena materiálu.

StockQuality – množství materiálu na skladě.

Supplier – identifikace dodavatele materiálu.

Jako u všech tabulek jsou uvedená data uvnitř sloupců pouze demonstrativní, pokud by byli dopravci dva a oba dodávali všechny typy materiálu, poté by sloupec MaterialID obsahoval 6 řádků a všechny informace by bylo rozepsáno i pro druhého dodavatele. Tato tabulka by po vhodném propojení s tabulkou ModelEvents skrze cizí klíč ConversionTableID odečítat množství materiálu na skladě po každém vyskladnění a zároveň by byl opět procesu přiřazován náklad v podobě pořizovací ceny materiálu. Dále sloupec dodavatelů za předpokladu, že je více dodavatelů, než jeden by mohl poskytovat informace spojené se zmetkovitostí. Zda je od jednoho dodavatele identifikováno více zmetků než u druhého. To by mohlo vést ke zvážení změny dodavatele.

Tabulka 6: Zpracování obrobku s přiřazeným dodavatelem

ProcessID	EventID	EndEventID	Color	ColorConversionTableID	Duration	Supplier
1	904	924	ModryVyrobek	16	1,123609098333333	NULL
2	925	950	ModryVyrobek	16	1,402700726666667	NULL
3	951	972	ModryVyrobek	16	1,189140203333333	NULL
4	973	980	VyrobekJeZmetek	38	0,262345003333333	NULL
5	981	1002	CervenyVyrobek	15	1,08965509	NULL

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Takto by například mohla vypadat propojená tabulka nebo nově vytvořený pohled s dobou trvání opracování obrobku nebo identifikací zmetku s dodavatelem. Na základě tohoto pohledu a použití další analýzy by bylo možné zjistit, jaké materiály jsou více zmetkovité.

6.1.3 Zaměstnanci (Employees)

Tato tabulka zaznamenává zaměstnance. Jak již bylo zmíněno dříve, linka je plně automatická, ale pro opravu strojů obrábění je potřeba opraváře, tedy zaměstnance. Je uvažováno že na modelu linky jsou zaměstnání dva „opraváři“, přičemž vždy práci vykonává pouze jeden.

Tabulka 7: Přehled zaměstnanců

EmployeeID	Name	HourlyRate
1	Zaměstnanec1	NULL
2	Zaměstnanec2	NULL

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

EmployeeID – jedinečný identifikátor pro každého zaměstnance, který slouží jako primární klíč.

Name – jméno zaměstnance.

HourlyRate – hodinová mzda zaměstnance.

Tabulka Employees poskytuje přehled o zaměstnancích pracujících na výrobní lince, uvádí jejich identifikaci a hodinovou sazbu. Tyto informace jsou důležité pro správu pracovních sil, zároveň umožňují monitorování nákladů spojených s lidskými zdroji. Informace v tabulce jsou pouze demonstrativní, jelikož v současné době nejsou známe. V případě reálného využívání těchto dat by bylo potřeba tabulku vyplnit správnými hodnotami.

6.1.4 Závady (Faults)

V této tabulce je zobrazen seznam všech závad, které by mohla na zařízení nastat a průměrná doba opravy konkrétní závady.

Tabulka 8: Tabulka závad

FaultID	Description	AverageRepairTime
1	zavada1	NULL
2	zavada2	NULL
3	zavada3	NULL

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Jednotlivé sloupce znamenají:

FaultID – jedinečný identifikátor, pro každý typ závady.

Description – textový popis závady, která může nastat.

AverageRepairTime – stanovená průměrná doba opravy daného typu poruchy.

Tato tabulka slouží k identifikování závad. Pokud by byly informace o nejčastějších poruchách bylo by možné dále pracovat s těmi to informacemi, zároveň by to napomohlo k rozhodování o investicích do výrobních zařízení. Průměrná doba opravy v kombinaci s informací, jaký zaměstnanec opravu vykonal může přinášet informace o efektivitě zaměstnanců. Hodnoty v zobrazené tabulce jsou pouze demonstrativní, pro reálné využití by bylo potřeba doplnit reálné informace.

6.1.5 Záznamy o opravách (RepairRecords)

V této tabulce se zaznamenávají všechny opravy, které bylo potřeba na výrobní lince vykonat. Zároveň obsahuje informace o tom, u jakého stroje nastala závada, co to bylo za závadu a kdo ji opravil.

Tabulka 9: Záznamy o opravách

RepairID	ModelID	EmployeeID	RepairStatus	FaultID	TotalDurationSeconds	EventID	ConversionTableID
1	2	2	complete	3	8,8203435	1119	5
2	2	2	complete	1	18,2194696	1145	5
3	2	1	complete	3	6,0015954	1169	5
4	2	2	complete	2	6,9887217	1193	5
5	2	2	complete	2	3,66353	1219	5
6	2	1	complete	2	26,4796448	1253	5

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

RepairID – jedná se o primární klíč tabulky. Každá hodnota je unikátní pro každý záznam opravy.

ModelID – cizí klíč, odkazuje na tabulku ModelDevices.

EmployeeID – identifikátor zaměstnance. Odkazuje na to, jaký zaměstnanec provedl opravu.

RepairStatus – udává stav opravy. V tomto případě jsou všechny záznamy označeny jako „complete“, což znamená, že všechny opravy byly dokončeny.

FaultID – Odkazuje na tabulku závad. Skrze identifikátor přiřazuje konkrétní druh závady, který nastal.

TotalDurationSeconds – jak dlouho trvala oprava v sekundách.

EventID – odkazuje na tabulku ModelEvents, přiřazuje konkrétní událost.

ConversionTableID – odkazuje na tabulku ConversionTables. Informuje, u jakého konkrétního stroje byla potřeba oprava, například pod ConversionTableID 5 je chápáno FrézováníOprava.

V této tabulce lze pozorovat propojení více tabulek, konkrétně tabulek ModelDevices, Employees, Faults, ModelEvents a s pohledem FilteredEvents. Což představuje komplexnější pohled na opravu strojů. Jako u všech návrhů tabulek jsou informace uvnitř tabulky pouze demonstrativní. V tomto propojení by bylo možné z tabulky vyčíst na jakém stroji závada nastala, jaký typ poruchy to byl a také jaký zaměstnanec poruchu opravoval. Zároveň jsou již známé informace o tom, jaká je průměrná doba opravy na konkrétní závady a nyní je už i známo, který pracovník závadu opravoval a jak dlouho. To přináší informace o tom, jak jsou zaměstnanci produktivní, popřípadě se dá zpětně zjistit jaký zaměstnanec opravu prováděl, pokud nebyla provedena zcela správně.

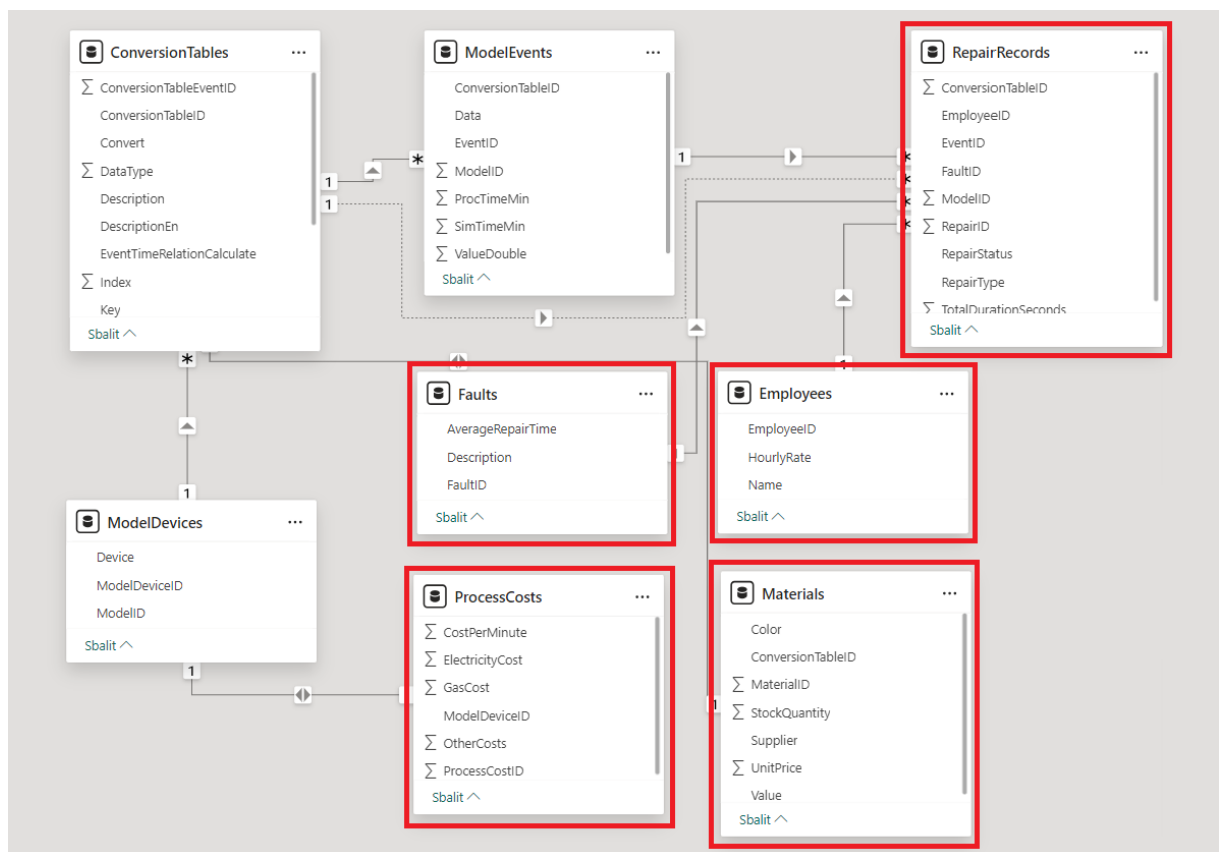
6.2 Datový model rozšířen o návrh opatření

Kapitola „Návrh opatření a rozšíření datového modelu“ rozšiřuje základní datový model, který je popsán výše v práci a zobrazen na Obr. 11.

Přidané návrhy opatření byly vytvořeny v databázi SQL, takže došlo k fyzickému rozšíření datového modelu. Relace mezi tabulkami Faults a RepairRecords a Employeys a RepairRecords jsou vytvořeny N:1 stejně jako u základního modelu. Jedná se o obrácenou relaci 1:N, což znamená, že více záznamů v první tabulce odpovídá jednomu záznamu v druhé tabulce. Zbylé tabulky Materials a ProcessCosts mají relaci 1:1 což znamená, že každý záznam je přímo spjat s jedním záznamem v jiné tabulce.

Nově přidané tabulky jsou na Obr. 47 zvýrazněny červeným ohraničením.

Obr. 47: Rozšířený datový model



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

6.3 Další návrhy opatření

Mimo ekonomické ukazatele bylo v průběhu vyhodnocování dat zjištěno pár nedostatků na výrobním modelu. Z toho důvodu jsou přidány ještě malé doporučení, které by mohly zvýšit kvalitu výstupu.

6.3.1 Kontrola kvality

Z pohledu rozšíření vykonávaných úkonů na pracovní lince by bylo vhodné implementovat mezioperační kontroly mezi jednotlivými akcemi na obrobkách. V současném stavu modelu linky nejsou tyto kontroly prováděny a kontrola zmetkovitosti je realizována pouze po vyskladnění obrobků ze skladu před obráběním. Kontroly kvality mezi jednotlivými úkony by poskytly lepší kontrolu obrobků a také by bylo možné statisticky hodnotit zmetky na základě obráběcích akcí. Bylo by tak možné například sledovat a hodnotit v jaké míře a frekvenci se zmetky objevují po zpracování určitým strojem. Toto by vedlo k možnosti doporučení dalších opatření a kroků k omezení zmetkovitosti či optimalizaci výroby. Mezioperační kontroly také umožňují v praxi vyřadit zmetek z procesu co nejdříve a nezpracovávat nákladně dále již zmetkový obrobek. V praxi toto znamená značnou finanční úsporu i přes prvotní výdaj na mezioperační kontrolu.

Nyní je využívána na počátku procesu (vyskladnění) rentgenová kontrola, která by měla odhalit defektní materiál vstupující do výrobního procesu. Pokud tento materiál projde touto kontrolou a je přijat do výrobního procesu, poté lze usuzovat, že defekty jako jsou bubliny, praskliny či cizí tělesa v materiálu se v obrobku nenachází. Z tohoto důvodu by tedy již nedávalo smysl používat tuto kontrolu dále v mezioperačních kontrolách například mezi vrtáním a frézováním. Zde by byla přínosná kontrola rozměrů, či optická kontrola povrchu. Rentgenová kontrola by mohla být opět využívána pro výstupní kontrolu celého finálního obrobku. Bylo by tak možné odhalit i nedokonalosti svařování. Zmíněná výstupní kontrola je další z doporučených úkonů, které by bylo vhodné zavést. Z praktického hlediska je nutné vědět, zda vyrobený produkt není zmetek, proto je výstupní kontrola velmi důležitá.

6.3.2 Konzistentnost

Další doporučení pro vylepšení se týká sběru environmentálních dat na lince. Jak bylo vidět a bylo i zmiňováno v kapitole 5.4 Vnější vlivy, pro mnoho záznamů existují prázdná místa. V simulaci, kde zmetkovitost nesouvisí s klimatickými podmínkami toto není velmi významné, nicméně v praxi je toto zásadní problém. Jakékoliv výpadky v záznamech jsou velmi problematické pro zpětné vyhodnocení dění na lince a případně i stanovení příčin zmetkovitosti či technologických problémů.

Doporučení pro simulaci je propojit náhodnou generaci zmetků s náhodnou generací environmentálních podmínek a vytvářet mezi výskyty spojitosti. Nyní neexistuje spojitost mezi zmetkem a například teplotou nebo vlhkostí. Poté je obtížné hodnotit co zmetkovost způsobilo a jaký faktor hrál významnou roli.

Závěr

Tato diplomová práce podrobně zkoumala implementaci prvků průmyslu 4.0 s použitím SQL databáze a Power BI pro vizualizaci dat. Klíčovým zjištěním bylo, že 22% celkové produkce tvoří zmetky, což poukazuje na potřebu dále zkoumat a optimalizovat výrobní procesy. Data o vnějších vlivech jako jsou teplota, vlhkost, prašnost, viditelnost, hlučnost a otřesy nebyly sbírány konzistentně, což naznačuje, že tyto faktory v simulovaném prostředí nemají reálný vliv na výrobu. Tato informace by mohla být užitečná pro další návrhy výrobních modelů.

Dále bylo zjištěno, že při opravě strojů má oprava frézování výrazně větší odchylky ve srovnání s opravami vrtacího zařízení, což může ukazovat na specifické problémy spojené s určitými typy strojního vybavení nebo efektivitou zaměstnanců. Využití SQL a Power BI k analýze a vizualizaci výsledků umožnilo hlubší pohled na tyto problémy a nabídlo informace k potenciálnímu zlepšení.

Praktická část této diplomové práce, představila možnosti pro sběr, zpracování a interpretaci průmyslových dat. Práce s databází, která je základním krokem této části práce spočívala ve vytváření nových pohledů v SQL, umožňujících efektivnější práci s daty. Tento proces zdůraznil důležitost technických dovedností a flexibilitu při řešení úloh v průmyslovém prostředí. Data získaná a upravená v databázovém systému byla následně vizualizována pomocí nástroje Power BI, což umožnilo lepší porozumění a interpretaci výsledků analýzy. V závěrečné fázi práce byly prezentované návrhy za základě zjištění z předchozích kroků, které nabízejí možnosti pro další vývoj a aplikace v průmyslovém prostředí.

Tato diplomová práce tedy poskytuje důležité poznatky do procesů s spojených s implementací Průmyslu 4.0. Zjištění, že významná část produkce představuje zmetky a nekonzistentnost ve sběru dat o vnějších vlivech, naznačují specifické oblasti pro zlepšení a důkladnější monitorování. Výsledky této práce nabízí základ pro zefektivnění průmyslových procesů a podporují potřebu zkoumání a optimalizaci výrobních technologií. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na rozšíření a zdokonalení datových modelů, aby se zlepšila přesnost a efektivita výrobních procesů.

7 Seznam použitých zdrojů

- Adámková, M. (2021). *Průmysl 4.0 - efektivní způsob, jak docílit nejen nových úrovní konektivity a autonomie*. <https://www.jenakcie.cz/prumysl-40-efektivni-zpusob-jak-docilit-nejen-novych-urovni-konektivity-a-autonomie#1>
- AEWIN Technologies Co. Ltd. (2024). *The New Revolution- Industry 5.0*. <https://www.aewin.com/application/the-new-revolution-industry-5-0/>
- Agrawal, K., & Nargund, N. (2024). *Deep Learning in Industry 4.0: Transforming Manufacturing Through Data-Driven Innovation BT - Distributed Computing and Intelligent Technology* (S. Devismes, P. S. Mandal, V. V. Saradhi, B. Prasad, A. R. Molla, & G. Sharma (ed.); s. 222–236). Springer Nature Switzerland.
- Ambler, S. (2004). *The Object Primer: Agile Model-Driven Development with UML 2.0*. Cambridge University Press.
- Buch, V. H., Ahmed, I., & Maruthappu, M. (2018). Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *British Journal of General Practice*, 68(668), 143 LP – 144. <https://doi.org/10.3399/bjgp18X695213>
- CEMI MBA Studies s.r.o. (2022). *Proč je průmysl 4.0 další revolucí v podnikání?* <https://www.cemi.cz/blog/proc-je-prumysl-4-dalsi-revoluci-v-podnikani>
- Chae, J., Lee, S., Jang, J., Hong, S., & Park, K.-J. (2023). A Survey and Perspective on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS): From ICPS to AI-Augmented ICPS. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*, 1, 257–272. <https://doi.org/10.1109/TICPS.2023.3323600>
- Čičváková, M. (2017). *Část 1: Průmysl 4.0 a jeho vliv na svět práce*. Národní pedagogický institut České republiky.
- Čolaković, A. (2023). IoT systems modeling and performance evaluation. *Computer Science Review*, 50, 100598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100598>
- Coursera. (2024). *What Is Power BI? What It Is, How It's Used, and More*. <https://www.coursera.org/articles/what-is-power-bi>
- Derková, A. (2024). *Systém kolaborativní robotiky*. České vysoké učení technické v

Praze.

- Duerkop, L., Trsek, H., Jasperneite, J., & Wisniewski, L. (2012). Towards autoconfiguration of industrial automation systems: A case study using Profinet IO. *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2012)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2012.6489654>
- ElektroPrůmysl.cz. (2023). *Co přinese pátá průmyslová revoluce - Průmysl 5.0?* <https://www.elektroprumysl.cz/technologicke-novinky/co-prinese-pata-prumyslova-revoluce-prumysl-5-0>
- Elkhodr, M., Shahrestani, S., & Cheung, H. (2013). The Internet of Things: Vision & challenges. *IEEE 2013 Tencon - Spring*, 218–222. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2013.6584443>
- Etechblog.cz. (2023). *[Explained] Jak se provádí datové modelování v Power BI.* https://etechblog.cz/explained-jak-se-provadi-datove-modelovani-v-power-bi/#Co_je_datove_modelovani
- Evans, D. (2011). *The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything.* https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINA_L.pdf
- Ferrari, A., & Russo, M. (2016). *Introducing Microsoft Power BI.* Microsoft Press A division of Microsoft Corporation.
- Galín, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 537(3), 32073. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/3/032073>
- Gbelec, O. (2020). *Trendy na trhu práce: Průmysl 4.0 zvýší produktivitu i mzdy.* Svaz průmyslu a dopravy České republiky. <https://www.spcr.cz/projekty/probihajici-projekty/14170-trendy-na-trhu-prace-prumysl-4-0-zvysi-produktivitu-i-mzdy>
- Gilmore, B. (2024). *The Next Step in Internet Evolution: The Internet of Things.* <https://www.cmswire.com/cms/internet-of-things/the-next-step-in-internet->

- evolution-the-internet-of-things-023902.php
- Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). *Introduction to IOT. January 2019*.
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517>
- Gold, E. (2023). *The History of Artificial Intelligence from the 1950s to Today*.
<https://www.freecodecamp.org/news/the-history-of-ai/>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Halperin, D., Kavraki, L., & Solovey, K. (2017). Robotics. In *Handbook of Discrete and Computational Geometry* (s. 34). Chapman and Hall/CRC.
- Hebák, P. (2015). *Statistické myšlení a nástroje analýzy dat*. Informatorium.
- Hendl, J. (2021). *Big Data: Věda o datech – základy a aplikace*. Grada.
- Hodová, T. (2020). *Ekonomické a sociální dopady koncepce Průmysl 4.0 a Společnost 4.0* [Západočeská univerzita v Plzni].
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/40385/1/Tereza_Hodova_diplomova_prace.pdf
- Hornýak, T. (2006). *Loving the Machine: The Art and Science of Japanese Robots*. Kodansha International.
- Huček, J. (2022). *Zhodnocení připravenosti podniku na Průmysl 4.0* [Západočeská univerzita v Plzni].
https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/48959/1/BP_Hucek_0.pdf
- Huňka, F., & Mácha, F. (2009). Datové modelování a typování. *Ostravská univerzita v Ostravě*.
- IFACET IIT Kanpur. (2023). *The Future of IoT: Emerging Trends and Technologies in the Internet of Things*. <https://ifacet.iitk.ac.in/knowledge-hub/internet-of-things/the-future-of-iot-emerging-trends-and-technologies-in-the-internet-of-things/>
- IT slovník.cz. (b.r.). *Co je to digitalizace?* <https://it-slovník.cz/pojem/digitalizace>
- Karjian, R. (2023). *The history of artificial intelligence: Complete AI timeline*.

- <https://www.techtarget.com/searchEnterpriseAI/tip/The-history-of-artificial-intelligence-Complete-AI-timeline>
- Khanna, A., & Kaur, S. (2020). Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review. *Wireless Personal Communications*, 114(2), 1687–1762. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07446-4>
- Kříž, L. (2023). *Průmysl 5.0 znovu objevuje člověka*. <https://www.cio.cz/clanky/prumysl-5-0-znovu-objevuje-cloveka/p-3/>
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big Data*, 6(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Landsteiner, N. (2005). *Eliza*. <https://www.masswerk.at/elizabot/>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Library of Congress. (b.r.). *The Industrial Revolution in the United States*. <https://www.loc.gov/classroom-materials/industrial-revolution-in-the-united-states/>
- LiquidPlanner Inc. (2022). *Industry 4.0 Series: Preparing for the Rise of Collaborative Robots*. <https://www.liquidplanner.com/blog/industry-4-0-series-preparing-rise-collaborative-robots/>
- Lu, Y. (2019). Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends. *Journal of Management Analytics*, 6(1), 1–29. <https://doi.org/10.1080/23270012.2019.1570365>
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q.-V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- McQuillan, M. (2015). *Introducing SQL Server*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1419-0>
- Microsoft. (2024). *Co je Power BI?* <https://learn.microsoft.com/cs-cz/power->

bi/fundamentals/power-bi-overview

- Mohajan, H. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 377–387. <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/96644>
- Mohajan, H. (2020). The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 1–14. <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/98209/>
- Mohajan, H. (2021). Third Industrial Revolution Brings Global Development. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 239–251. <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/110972/>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. In *Sustainability* (Roč. 11, Číslo 16). <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Pan, Z., Polden, J., Larkin, N., Van Duin, S., & Norrish, J. (2012). Recent progress on programming methods for industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(2), 87–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.08.004>
- Paul, P., & Rao, A. (2019). Unlocking The Power of Machine Learning and Deep Learning. *Information Technology and Computer Engineering*, 7. <https://doi.org/ISSN 2347-3657>
- Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook. *IEEE Access*, 8, 220121–220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- Polívka, M., & Dvořáková, L. (2022). Oblasti a překážky využívání technologií průmyslu 4.0 relevantních ve vztahu k ERP systémům v podnikové praxi. *8 th International Scienti c Conference on BUSINESS TRENDS 2022*.
- Polívka, M., & Dvořáková, L. (2019). Využití automatické identifikace a sběru dat prostřednictvím radiofrekvenčních technologií v prostředí průmyslu 4.0. *Trendy v podnikání - Business Trends 2019*, 53–61. https://dSPACE5.zcu.cz/bitstream/11025/36643/1/8_Polivka_Dvorakova.pdf

- Popkova, E. G., Ragulina, J. V., & Bogoviz, A. V. (2019). *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. Springer.
- Potančok, M., Pour, J., & Chramostová, V. (2020). *Business analytika v praxi*. Oeconomica.
- Procházková, T. (2018). *Role logistiky v konceptu Průmysl 4.0* [Západočeská univerzita v Plzni]. https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/31785/1/Bakalarska_prace_Proch.pdf
- Rada, M. (2018). *INDUSTRY 5.0 definition*. <https://michael-rada.medium.com/industry-5-0-definition-6a2f9922dc48>
- Reaidy, P. J., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2015). Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment. *International Journal of Production Economics*, 159, 29–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.017>
- SAP. (2024). *Průmysl 5.0: Přidání lidského náskoku k průmyslu 4.0*. <https://www.sap.com/cz/insights/industry-5-0.html>
- Šarmanová, J. (2007). *Teorie zpracování dat*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- Simsion, G., & Witt, G. (2004). *Data Modeling Essentials*. Elsevier Science. <https://books.google.cz/books?id=0f9oLxovqIMC>
- Skřivan, J. (2008). *Datové modely a návrhy relačních schémat*. FF UK v Praze.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- Velich, M. (2022). *Tvorba mobilní aplikace pro zobrazení stavu Fischertechnik modelu*. Západočeská univerzita v Plzni.
- Vicentini, F. (2020). Collaborative Robotics: A Survey. *Journal of Mechanical Design*, 143(4). <https://doi.org/10.1115/1.4046238>
- Volná, E., & Kotyrba, M. (2013). *Umělá inteligence*. Ostravská univerzita v Ostravě.
- Worden, K., Bullough, W. ., & Haywood, J. (2003). *Smart Technologies*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—

- Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Yadin, T. (2021). *Revolutions are only visible in retrospect*. Siemens. <https://blogs.sw.siemens.com/valor/2021/02/15/revolutions-are-only-visible-in-retrospect/>
- Yáñez, F. (2017). *The goal is Industry 4.0: technologies and trends of the fourth industrial revolution*.
- Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100224>
- Zong, Y., Hu, S., Qin, D., Wang, Z., Zhang, C., Chu, J., & Zhang, L. (2023). Iron-Tapping State Recognition of Blast Furnace Based on Bi-GRU Composite Model and Post-Processing Classifier. *IEEE Sensors Journal*, 23(18), 22006–22018. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3300123>

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Názvy akcí s jednotlivými číselnými identifikátory	48
Tabulka 2 Průměrné hodnoty všech zaznamenaných vnějších vlivů	63
Tabulka 3: Náklady na proces	69
Tabulka 4: Náklady na konkrétní výrobní zařízení	70
Tabulka 5: Přehled materiálu	70
Tabulka 6: Zpracování obrobku s přiřazeným dodavatelem	71
Tabulka 7: Přehled zaměstnanců	72
Tabulka 8: Tabulka závad	72
Tabulka 9: Záznamy o opravách	73

9 Seznam obrázků

Obr. 1: Grafické znázornění jednotlivých průmyslových revolucí	7
Obr. 2: Ukázka přechodu od průmyslu 4.0 k průmyslu 5.0	15
Obr. 3: Ukázka vývoje internetu	20
Obr. 4: Ukázka výrobní linky s kolaborativní roboty	26
Obr. 5: Ukázka skladu obrobků v modelu linky	33
Obr. 6: Ukázka stanoviště kontroly kvality a řezání	34
Obr. 7: Ukázka manipulačního robota	35
Obr. 8: Ukázka stanoviště obrábění	36
Obr. 9: Ukázka stanoviště svařování	37
Obr. 10: Struktura datového modelu	38
Obr. 11: Základní datový model s příslušnými tabulkami	39
Obr. 12: Sestava s informacemi o zpracovaných obrocích	44
Obr. 13: Informace o zpracovaném počtu obrobků	45
Obr. 14: Procentní podíl jednotlivých obrobků	46
Obr. 15: Srovnání časů zpracování obrobků podle barvy	46
Obr. 16: Sestava popisné statistiky jednotlivých stanovišť, první část.	47
Obr. 17: Celková doba trvání jednotlivých akcí v celém procesu	49
Obr. 18: Procentní zastoupení akcí v čase	49
Obr. 19: Medián času jednotlivých akcí	50
Obr. 20: Sestava popisné statistiky jednotlivých stanovišť, druhá část.	50
Obr. 21: Průměrná doba jednotlivých akcí pro jeden obrobek	51
Obr. 22: Směrodatná odchylka doby trvání jednotlivých akcí pro jeden obrobek	52
Obr. 23: Sestava s informacemi o opravách strojů	53
Obr. 24: Přehled celkové doby oprav	54

Obr. 25: Průměrný čas oprav	54
Obr. 26: Medián časů opravy	55
Obr. 27: Směrodatná odchylka časů oprav	56
Obr. 28: Číselné údaje frézování	56
Obr. 29: Číselné údaje vrtání	57
Obr. 30: Sestava s vnějšími vlivy, první část	58
Obr. 31: Medián osvětlení v závislosti na akci	58
Obr. 32: Medián osvětlení v závislosti na akci se zvýrazněním hodnoty	59
Obr. 33: Korelace časových záznamů prašnosti a osvětlení	60
Obr. 34: Korelace časových záznamů prašnosti a osvětlení se zvýrazněným časovým úsekem	61
Obr. 35: Záznam teploty v čase	61
Obr. 36: Sestava s vnějšími vlivy, druhá část	62
Obr. 37: Záznam hluku v závislosti na čase	63
Obr. 38: Srovnání časových záznamů prašností a hluku	64
Obr. 39: Záznam měření vlhkosti v čase	64
Obr. 40: Sestava s informacemi o zmetkovitosti	65
Obr. 41: Celkový počet obrobků	65
Obr. 42: Procentní zastoupení zmetků	66
Obr. 43: Kumulativní počet zmetků	67
Obr. 44: Informace o zmetkách v čase	67
Obr. 45: Ukázka detekce zmetků v čase simulace	68
Obr. 46: Korelace mezi zmetky a hlukem a vlhkostí	68
Obr. 47: Rozšířený datový model	75

Seznam příloh

Příloha A: ukázka skriptu pro vytvoření pohledu (view) „Výpočet času trvání procesu“

Příloha A: ukázka skriptu pro vytvoření pohledu (view) „Výpočet času trvání procesu“

```
CREATE VIEW [dbo].[ProcessDurationsView2] AS
WITH ProcessSteps AS (
    SELECT
        *,
        ROW_NUMBER() OVER (ORDER BY EventID) AS RowNum
    FROM
        dbo.FilteredEvents
),
ProcessBoundaries AS (
    SELECT
        MIN(CASE WHEN CycleStep = 1 THEN EventID END) OVER (PARTITION BY ProcessGroup) AS EventID,
        MAX(CASE WHEN CycleStep = 3 THEN EventID END) OVER (PARTITION BY ProcessGroup) AS EndEventID,
        MAX(CASE WHEN CycleStep = 2 THEN Value END) OVER (PARTITION BY ProcessGroup) AS Color,
        MAX(CASE WHEN CycleStep = 2 THEN ConversionTableID END) OVER (PARTITION BY ProcessGroup) AS ColorConversionTableID,
        DENSE_RANK() OVER (ORDER BY ProcessGroup) AS ProcessID
    FROM (
        SELECT
            *,
            (RowNum - 1) / 3 AS ProcessGroup
        FROM
            ProcessSteps
    ) AS Steps
),
ProcessDurations AS (
    SELECT
        pb.ProcessID,
        pb.EventID,
        pb.EndEventID,
        pb.Color,
        pb.ColorConversionTableID,
        (MAX(CASE WHEN ps.EventID = pb.EndEventID THEN ps.SimTimeMin END) -
        MIN(CASE WHEN ps.EventID = pb.EventID THEN ps.SimTimeMin END)
        ) AS Duration
    FROM
        ProcessBoundaries pb
    INNER JOIN
        ProcessSteps ps ON ps.EventID = pb.EventID OR ps.EventID = pb.EndEventID
    GROUP BY
        pb.ProcessID, pb.EventID, pb.EndEventID, pb.Color, pb.ColorConversionTableID
)
SELECT * FROM ProcessDurations;
GO
```

Abstrakt

Nguyenová, K. (2024). *Analýza a vizualizace dat modelu výrobní linky* [Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni].

Klíčová slova: Průmysl 4.0, digitalizace, robotika, Power BI, datový model

Tato diplomová práce představuje pohled na využití a interpretaci dat z modelu výrobní linky, se zaměřením na vizualizaci těchto dat a hodnocením aktuálního stavu. Hlavními cíli bylo provedené analýzy současného stavu výrobní linky a vytvoření relevantních návrhů na rozšíření jejího datového modelu. Pro správu a analýzu dat bylo využito SQL management Studio, což umožnilo detailní práci s databází a nástroj Power BI od společnosti Microsoft byl využit pro vizualizaci a vyhodnocení zjištěných informací. Teoretická část definuje klíčové pojmy související s průmyslem 4.0, včetně digitalizace, robotiky a datového modelování, které úzce souvisí s modelem plně automatizované výrobní linky.

Abstract

Nguyenová, K. (2024). *Analysis and visualization of production line model data* [Master's Thesis, University of West Bohemia].

Key words: Industry 4.0, digitalization, robotics, Power BI, data model

This thesis presents a view on the use and interpretation of data from a production line model, with a focus on visualizing this data and assessing the current state. The main objectives were to analyse the current state of the production line and to make relevant suggestions for extending its data model. SQL management Studio was used for data management and analysis, which enabled detailed work with the database, and Microsoft's Power BI tool was used to visualize and evaluate the information found. The theoretical part defines key concepts related to Industry 4.0, including digitalization, robotics and data modelling, which are closely related to the model of a fully automated production line.