



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

OPTIMALIZACE PRACOVIŠTĚ TVAROVÁNÍ

OPTIMIZATION OF THE COIL FORMING WORKPLACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Machačová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav managementu
Studentka:	Simona Macháčová
Studijní program:	Procesní management
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Optimalizace pracoviště tvarování

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu procesu výroby cívek
Návrh zlepšení pracoviště tvarování
Přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Návrh optimalizace pracoviště tvarování, které povede zeštíhlení výroby. Návrh by měl vycházet z analýzy pracoviště tvarování ve vazbě na výrobní a podnikové procesy a poznatků v teoretické části. Návrhová část by měla obsahovat vlastní návrh zlepšení pracoviště tvarování včetně zhodnocení návrhu.

Základní literární prameny:

John S. CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-Event System Simulation. 5. New Jersey: Pearson Education, 2010. ISBN 0-13-815037-0.

DLOUHÝ, Martin. Simulace podnikových procesů. Brno: Computer Press, c2007. ISBN 978-802-51-6-494.

IMAI, Masaaki. Gemba Kaizen. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.

JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.

LAW, Averill. M. a W. David KELTON. Simulation modeling and analysis. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 9780073401324.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně dne 28.2.2021

L. S.

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. Vojtěch Bartoš, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou výrobního procesu a jeho optimalizací. Zlepšení je dosaženo pomocí prediktivní simulace. V teoretické části práce jsou popsány pojmy spojené s procesním řízením organizace a měřením práce. Dále je teoretická část zaměřena na zlepšování podnikových procesů v rámci procesu digitalizace a metodiku simulačních projektů spojených s tvorbou digitálního dvojčete procesu. V analytické části je nejprve představen výrobní podnik a je zde provedena globální analýza procesů. Poté je zde pomocí několika technik zanalyzován konkrétní výrobní proces, který bude optimalizován. V návrhové části jsou popsány nynější simulační modely a navrhované podoby procesu. Varianty jsou zhodnoceny a jsou zmíněny přínosy navrhovaného řešení.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the analysis of the production process and its optimization. Improvement is achieved thanks to a predictive simulation. The theoretical part of the thesis describes the concepts associated with the process management of the company and measurement of work. Furthermore, the theoretical part focuses on the improvement of business processes within the process of digitalization and methodology of simulation projects associated with the creation of a predictive digital twin. The analytical part contains an introduction of the manufacturing company and a global analysis of processes. Then, with the help of several techniques, the production process which will be optimized is analyzed. The design part of the thesis describes the current simulation models and the proposed form of the process. Individual options are evaluated, and the benefits of the proposed solution are stated.

Klíčová slova

Digitální dvojče, optimalizace, zlepšování procesů, měření práce, simulace

Key words

Digital twin, optimization, process improvement, work measurement, simulation

Bibliografická citace

MACHAČOVÁ, Simona. *Optimalizace pracoviště tvarování* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135028>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Zdeňka Videcká.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 23. května 2021

.....

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala společnosti Siemens Electric Machines s.r.o. v Drásově a dále všem pracovníkům, kteří trpělivě odpovídali na mé otázky, konkrétně všem mistrům z navijárny a mému vedoucímu Lubomíru Petranovi, bez jehož podpory by mé bádání nemohlo dojít tak daleko. Dále patří velké díky Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D. za vedení, odborné rady, ale i zapálené vedení mé bakalářské práce a ochotné zodpovídání mých dotazů. Poděkování patří mé rodině, jejichž podpory si velice vážím a díky které mohu studovat a věnovat se tomu, co mě baví a naplňuje. V neposlední řadě patří velký dík mému příteli, který nikdy neváhal podat mi pomocnou ruku v těžkých chvílích, které s sebou psaní bakalářské práce přináší.

Obsah

1	ÚVOD	10
1.1	Vymezení problému a cíle práce	11
1.2	Cíle bakalářské práce	11
2	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	Obecně o procesech	12
2.1.1	Strategické, taktické a operativní řízení	13
2.1.2	Výrobní procesy	14
2.2	Zlepšování podnikových procesů	14
2.2.1	Průmyslové revoluce	16
2.2.2	Průmysl 4.0	16
2.3	Digitální dvojčata	17
2.3.1	Historie.....	17
2.3.2	Koncept.....	17
2.3.3	Současné pojetí digitálních dvojčat.....	18
2.4	Lean metodologie	20
2.4.1	Metody štihlé výroby	20
2.4.2	Měření práce	25
2.5	Systém, model, simulace	28
2.6	Způsoby, jak studovat systém	29
2.6.1	Experiment se stávajícím systémem vs. experiment s modelem systému	29
2.6.2	Fyzický model vs. matematický model	29
2.6.3	Analytické řešení vs. Simulace	30
2.7	Typy modelů	30
2.7.1	Statické vs. dynamické modely	30
2.7.2	Deterministické vs. stochastické simulační modely	30
2.7.3	Spojité vs. diskrétní simulační modely	30
2.8	Diskrétní simulace (z angl. Discrete-event simulation)	31
2.9	Metodika simulace	31
3	ANALYTICKÁ ČÁST	35
3.1	O společnosti	35
3.1.1	Výrobní program.....	36
3.1.2	Organizační struktura	36
3.1.3	Globální analýza procesů	38

3.2	Výroba	43
3.2.1	Řízení výroby	43
3.2.2	Výrobní informační systémy	43
3.3	Detailní analýza procesů	45
3.3.1	Zadávání práce	46
3.3.2	Pracovní postup.....	48
3.4	Layout pracoviště	50
3.5	Snímkování pracoviště	50
3.6	Zhodnocení analytické části.....	55
4	NÁVRHOVÁ ČÁST	56
4.1	Formulace problému	56
4.2	Obsah a úroveň detailu modelu.....	56
4.3	Formulace cílů	56
4.4	Sběr dat	56
4.4.1	Analýza dat	57
4.4.2	Kontrola	59
4.4.3	Příprava vstupních dat modelu	60
4.5	Návrh modelu	62
4.6	Vytvoření modelu a jeho ověření.....	63
4.7	Simulace	64
4.8	Experimenty	66
5	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ NÁVRHŮ ŘEŠENÍ	72
6	ZÁVĚR.....	73
7	BIBLIOGRAFIE	74
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
9	SEZNAM TABULEK	80

1 ÚVOD

Internet ovlivňuje nás a naše chování, stejně tak digitalizace ovlivňuje i průmysl. Rozvoj průmyslu je řízen poptávkou trhu. Faktor internacionalizace, vstup na zahraniční trhy a obecně mezinárodní prostředí vyvíjí na podniky ještě větší požadavky. Pakliže chce být podnik konkurenceschopný a udržet si své místo na trhu, musí se řídit dle spotřebitelů. Ti dnes očekávají flexibilitu, kostumizované produkty a jejich rychlé doručení. Zároveň výroba musí probíhat efektivně, tzn. při co nejmenší spotřebě energie, zdrojích a odpadu. A právě digitalizace umožňuje nalézat schůdná řešení, jak v rámci tomto boji uspět. Přestože důvody zde zmíněné byly i v minulosti velice pádné argumenty, proč inovovat, optimalizovat, snižovat náklady, právě až nenadálé změny, které v minulých dvou letech byly ve znamení pandemie Covid-19, jen utvrdily podniky v nutnosti adaptace.

Důsledky pandemie vystavily podniky situaci, kdy musely pružně reagovat na neustálé výkyvy počtu pracovníků ve výrobě, stejně tak v dodavatelském řetězci. Nejen vládní opatření, ale i vnitřní politiky podniků způsobily ve společnostech celou řadu zpřísnění bezpečnostních opatření a organizační změny. Mnoho pozic vykonávaných fyzicky ve společnostech se přesunuly na home office, spolupráce a meetingy se odehrávaly výhradně v online prostoru. V zájmu zachování výrob byly zavedeny bezpečnostní opatření přímo ve výrobních závodech. Přestože v mnoha ohledech pandemie moc dobrého nepřinesla, vystavení nejen výrobních podniků extrémním změnám donutila celou společnost, pakliže chce přežít, vnímat nadále změny jako příležitost.

Kombinace internetu a nových technologií přináší nová řešení, která jsou součástí nepřetržité vědecko-technické evoluce, která probíhá již delší dobu. Jejím spouštěčem byla digitalizace a na ní navazující revoluce kybernetická. Pojem Průmysl 4.0, jež vychází z iniciativy německé vlády, je odpovědí na výzvy této 4. průmyslové revoluce. K této iniciativě se postupně přidávají i ostatní světové ekonomiky a státy, Česko nevyjímaje. V posledních letech bylo v tomto duchu vyřčeno, co lze dělat a co by se dělat mělo, ale ve skutečnosti neexistovaly určitou dobu hmatatelné produkty. Situace se ale mění a trh nabízí dosažitelná řešení, která si lze v provozech představit.

Přestože lze Smart Factory vidět v laboratořích při univerzitách, podniky se snaží aplikovat alespoň jednotlivá řešení Průmyslu 4.0. Příkladem může být digitální podpora konstrukčních, technologických a výrobních procesů. Zapojení diagnostické a komunikační elektroniky do řídicího systému umožňuje v reálném čase sledovat a vyhodnocovat efektivitu výroby, provádět analýzy a hledat vylepšení. Management dostává nezkreslené informace o aktuálním využití strojů, což dává prostor k dalšímu zlepšování, nacházení úzkých míst, redukci ztrátových časů a zvyšování využití strojů. Simulace materiálových toků, kapacitních výpočtů a ověřování různých návrhů je mnohdy mnohem levnější řešení, které navíc dokáže předejít nákladným a těžko odstranitelným chybám.

1.1 Vymezení problému a cíle práce

Nejen Siemens nyní řeší zvyšující se konkurenci zejména z oblastí Asie, proto se snaží nalézat řešení, která snižují zmetkovitost a plýtvání v procesech. To lze odstranit zacílením na ty procesy, které přináší přidanou hodnotu zákazníkovi a ty nadále optimalizovat. Mnoho řešení se dnes uplatňuje v sériové velkovýrobě, avšak lze nalézat opakované procesy i v menších sériích a po detailnější analýze i v kusové výrobě.

Opakované procesy lze nalézat jak výrobě, tak i v administrativě. V této bakalářské práci se budeme zabývat zlepšováním výrobních procesů a zvyšováním efektivity na pracovišti tvarování pomocí tvrdých a měkkých metod. Mezi měkké metody řadíme metody štíhlé výroby a tvrdé metody vycházející ze simulace a analýzy měření provedených na pracovišti. Metody řešení optimalizace výrobních procesů jsou podporovány pokročilými nástroji digitalizace, jejichž aplikace umožňuje jak predikci budoucího stavu, tak analýzu stavu minulého. Metoda umožňuje bez nutnosti fyzického zásahu v reálném prostředí získat informace, na jejichž základě lze pochopit problematiku, učit se, provádět experimenty a posléze zlepšovat.

1.2 Cíle bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je optimalizace pracoviště tvarování ve společnosti SEM Drásov. Návrh řešení zahrnuje eliminace ztrát, ke kterým na pracovišti dochází. Jako nástroj pro nalezení těchto ztrát je využita prediktivní simulace procesů pomocí prediktivní simulace procesů. Návrh řešení vychází z detailní analýzy pracoviště v souvislosti s jeho řízením ve vazbě na další podnikové procesy, sběru dat z ERP systému společnosti. Metodiky a přístupy uplatněné v analytické a návrhové části se opírají o teoretickou část této práce.

2 Teoretická část

2.1 Obecně o procesech

Každý z nás se se slovem proces setkal, ať už ve slovním spojení vzdělávací proces, nebo výrobní proces. Procesy jsou všude kolem nás a jejich bezprostřední blízkost si neuvědomujeme. Obvykle reagujeme až na výsledky procesů, a to buď spokojeností nebo rozhořčeným chováním v případě, že se vyskytl během procesu problém, který nebyl žádaný. Důvodů, proč se procesy zabývat je hned několik. Podnikové procesy lze řídit pouze za předpokladu, že máme znalosti současného procesu. Zároveň, pokud se organizace snaží o získání o některý z certifikátů, je nutné tyto náležitosti vypracovat. Tím, že strukturu procesu vypracujeme, máme jasnější obraz o struktuře společnosti, o jejím chování, „vidíme“ důvody vzniku problémů. Následné zhmotnění nehmotného, tedy zobrazení procesů, v příslušné procesní dokumentaci nebo dnes již v softwaru, vede k podstatným diskusím a zamyšlení, které jsou počátkem tendence procesy zlepšovat.

Proces je tedy sled činností, které se v podniku dějí za účelem přinést hodnotu pro zamýšleného uživatele uvnitř (interní zákazník) nebo vně podniku (externí zákazník) tzv. **zákazníka procesu**. Externí zákazník, na rozdíl od interního zákazníka je ochotný za produkt poskytnout nějakou monetární úhradu. Pokud navrhujeme změny, je nutné proces zkoumat, analyzovat. Při tomto bádání využíváme celou řadu popisných a analytických nástrojů. [1]

Každý **procesní tok** má začátek a konec, avšak mnohdy můžou být procesy spletené, nemusí končit v rámci jedné organizace, mohou procházet několika organizačními jednotkami. Procesní toky na sebe mohou navazovat nebo probíhat paralelně. Následující kroky jsou ovlivněny kroky předcházejícími. Procesní management vnímá pojmy **činnost, úkol, aktivita** jako měřitelné jednotky práce, které mají určité trvání, logické souvislosti s jinými činnostmi v rámci procesu a jsou jim přiřazené zdroje, které se projeví jako náklady na provedení. Podstatnou roli hrají lidé a jejich spolupráce. Lidé investují svoji práci, čas a energii k vytváření hodnoty buď pro zákazníka nebo pro danou organizaci. Proces vždy na začátku přijímá vstupy, které transformuje na výstupy. [1]

Následné **produkty procesu** Svozilová definuje jako: „...jakýkoliv hmotný výrobek, nehmotný výtvar, službu nebo kombinace všech uvedených položek, která má vlastnosti, jež představují určitou hodnotu zajišťují určité funkce nebo přinášejí jiný prospěch někomu, kdo pociťuje potřebu, přání nebo má požadavek, který tento produkt pokrývá.“ [1]

Přestože dnes dochází k automatizaci procesů, stále většina procesů probíhá za účasti lidí. Procesy mají své tvůrce, dohlázele, koordinátory, podléhají cyklům inovací a kontrole. Účastníci procesu se dělí podle specifických rolí, vztahů k procesu, znalostí a rozsahu odpovědností. Účastníkem procesu je:

- **Zákazník procesu** – má potřebu, přání nebo požadavek, který lze uspokojit a na oplátku je zákazník ochoten směnit ho za jinou hodnotu.
- **Dodavatel procesu** – zajišťuje vstupy, zkrátka to, co od něj potřebují zákazníci
- **Sponzor** – člen podnikového managementu, jehož účast a zainteresovanost v procesu zvyšuje efektivitu procesu, mnohdy je iniciátorem zlepšovateľských aktivit.
- **Podnik/provozovatel procesu** – vlastník zdrojů, reprezentant vůči zákazníkovi, má zájem na efektivním vytváření produktů, jež se přizpůsobují přáním a potřebám zákazníků rychleji, než dokáže konkurence. Má zájem na zvyšování tržního podílu podniku
- **Manažer** – přímo se účastní řízení, může plnit roli sponzora

- **Šampion procesu** – zná proces do hloubky, tato role může být zastoupena z řad operátorů, managementu. Předpokladem je jeho dlouhodobá účast, jež ho předurčuje ke zvyšování kvality a produktivity procesu.
- **Operátor** – je osoba, která se při procesu účastní a svojí prací může ovlivnit výkonnost nebo kvalitu dílčích činností.

Během procesu jsou konány činnosti, které je možné zařadit do některé z následujících kategorií, dle svých funkcí. Pro podnik je důležité, aby procesy fungovaly co nejlépe s velkým synergickým efektem. Pokud by bez nich organizace nemohla fungovat, jedná se o **procesy hlavní**. Tyto procesy tvoří hodnotu pro externího zákazníka, které jsou pro společnost klíčové. **Řídící procesy** jsou především manažerské procesy, které zajišťují fungování organizace. Samy o sobě žádnou hodnotu nepřinášejí. Náplní jejich práce je jednak vytvářet vhodné podmínky pro ostatní procesy, které vedou a integrují a zároveň činit klíčová rozhodnutí např. plánování a (spolu)vytváření strategie. Procesy, které zajišťují chod procesů, nazýváme jako **podpůrné procesy**, např. dodávají vstupy, zdroje a podobně. Mnohdy bývají tyto procesy outsourcovány. Zákazníkem těchto procesů je většinou interní zákazník. [2]

2.1.1 Strategické, taktické a operativní řízení

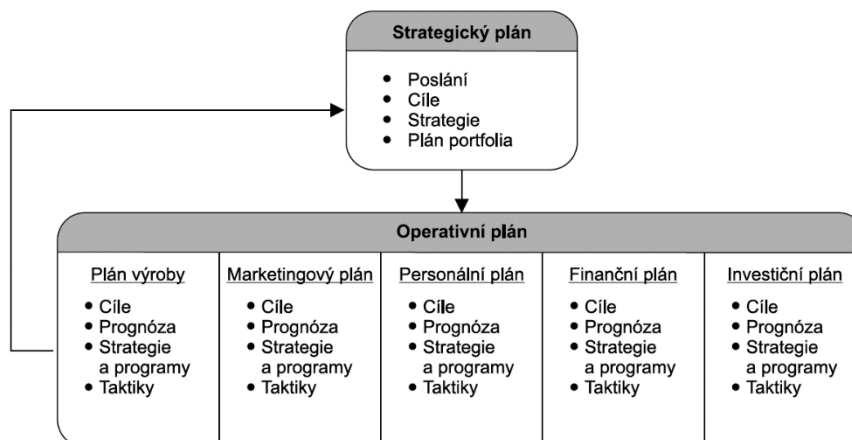
Vrcholový management stanovuje orientaci společnosti, vytváří cíle a strategie v dlouhodobém měřítku 20–30 let. Z tohoto důvodu je toto řízení je označováno za strategické. Vrcholový management, konkrétně odborní ředitelé nebo vlastníci se starají o vytváření této strategie, vytváření cílů. Mezi strategické cíle patří vymezení výrobního portfolia, rozvoj výrobních technologií, volba trhů, kde bude firma působit, určení harmonogramu rozvoje firmy, realizace konkurenceschopnosti na trhu. [3]

Taktické a operativní řízení se zaměřují na detailnější pohled a doplňují podnikové strategické řízení. Taktické řízení stanovuje a řídí postupy a prostředky, které jsou řízeny na úrovni středního managementu. Strategické cíle a prostředky jsou konkretizovány a díky této povaze jsou snadněji zjištělné a kvantifikovatelné a výsledky zřetelné. [4] Úkolem taktického managementu výroby je přenesení strategie do praxe s důrazem kladeným na snížení výrobních nákladů a konkurenční výhodu. Jeho náplní je rozhodovat co, kdy, a jakým způsobem bude realizováno, jako např. nákup nové techniky, nová výroba nebo zvětšování podniku apod. Taktické řízení určuje výrobní program podniku. [5]

U strategického, taktického, operativního řízení a strategie podniku je důležitá konzistentnost. Operativní řízení představuje nejnižší článek, ale o to neméně důležitý. Snaží se využít co nejefektivněji stávající zdroje podniku. Úkoly jsou orientovány na řízení výnosů, nákladů a zisku, na kalkulace výrobků a vnitropodnikových výkonů, plánování položek rozvahy a v neposlední řadě využití výrobních kapacit. K řízení je zapotřebí velké škály nástrojů, které jsou k plánování využity, např. normy, limity, kalkulace nákladů, rozpočty nákladových středisek. Je nutné zmínit, že mezi operativním řízením a controllingem panuje úzké propojení, především na poli plánování výkazu zisku a ztrát, peněžního a pokladního plánu, plánu likvidity, plánované rozvahy aj. [6]

Strategické podnikové i výrobní plánování hraje klíčovou roli v dosažení souladu mezi krátkodobými a dlouhodobými cíli. Dobře řízený podnik se vyznačuje dokonalým propojením strategického a operativního (taktického) plánování na všech řídicích úrovních, které je názorně zobrazeno na Obr. č. 1. Aby mohlo dojít ke kýženému propojení, je zapotřebí efektivní komunikace. Přestože se jednotlivé zaměření plánů liší, v úspěšné společnosti panuje propojení mezi těmi pracovníky, kteří pracují na realizaci plánu a těmi pracovníky, kteří za ně nesou

odpovědnost. Společná účast umožňuje vznik dílčích cílů, které jsou v souladu s celkovými cíli podniku, a musí být, proto odvozeny od strategického plánu.



Obr. č. 1: Vztahy mezi strategickým plánem a plány operativními [2]

2.1.2 Výrobní procesy

Výroba je proces, jež přidává hodnotu k výchozím zdrojům. Tvorbou přidané hodnoty tak dochází ke vzniku výrobků, produktů či služeb pro určitý trh, případně pro konkrétního zákazníka. [2] Také je „...základní fází hospodářského cyklu a patří mezi nejdůležitější činnosti lidstva. Má zabezpečit nezbytné podmínky pro existenci a rozvoj lidské společnosti. Její úroveň, objem, kvalita a struktura závisí na dosaženém stupni poznání.“ [7] Výrobu je nutné organizovat a orientovat tak, aby bylo dosaženo obecných (např. maximalizace zisku, maximalizace hodnoty podniku nebo minimalizace nákladů) a specifických cílů společnosti (obchodní, výrobní, dosažení určité úrovně kvality, zvýšení konkurenceschopnosti apod.). [7]

Tato bakalářská práce se zabývá výrobním procesem v průmyslovém podniku. Ve výrobním procesu dochází k přeměně výchozích surovin či materiálů na konečný kvalitativně vyhovující výrobek. Během tohoto transformačního procesu, kdy se ze vstupů stávají výstupy, je potřeba pohybu materiálu, přenosu informací, podnikových prostředků (stroje, nástroje, přípravky, výpočetní technika apod.), za účasti lidských zdrojů. Tyto přeměny jsou výsledkem fyzikální přeměny. Přeměny mohou obecně také vznikat chemickými, biochemickými, či genetickými změnami. Dle charakteru průběhu procesy dělíme procesy na přetržité, nepřetržité a cyklické. [7]

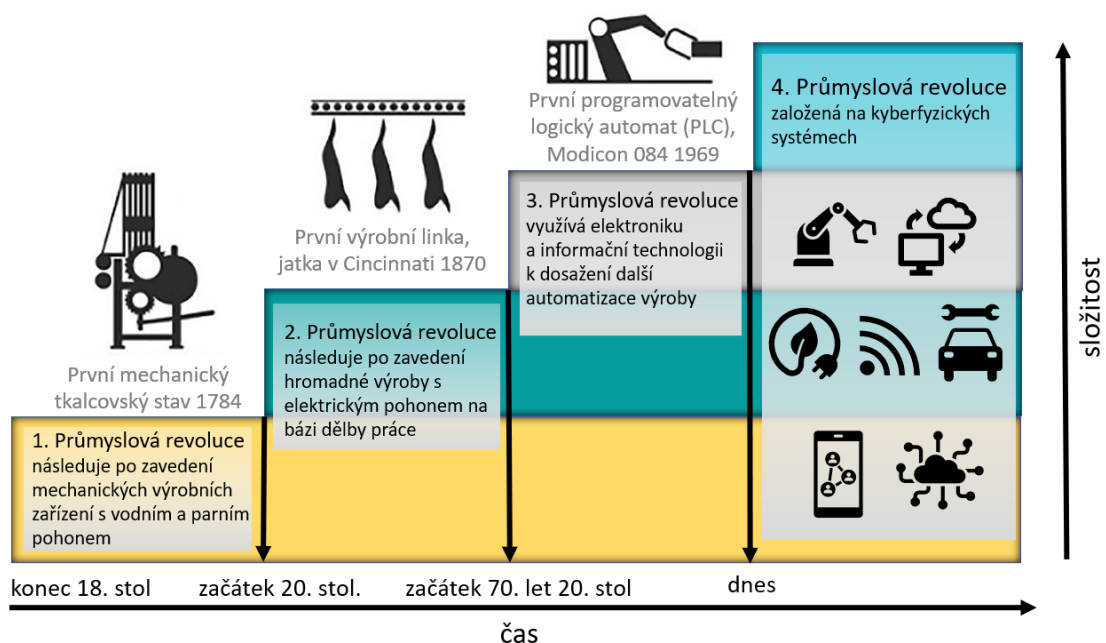
2.2 Zlepšování podnikových procesů

Zlepšování je označení pro soustavný proces, během kterého dochází ke změně aktuálního stavu do stavu nového. Cílem vývoje je na základě zkušenosti, plánu, či náhodné chyby vyvíjet stále lepší verze a člověk je jasným důkazem. Proces zlepšování vidíme v přírodě pod označením evoluce, který definovali Lamarck a Darwin. Nejenom, že se člověk v rámci ní vyvíjí – přímý vývoj, ale i on sám je činitelem, který inovuje již od pravěku např. vznik pazourku – umělý vývoj. Dnes nás od nejstarších nálezů, jež definují pravěk, dělí více jak 3 miliony let. Místo pazourku nás definují pojmy jako IOT, cloudová úložiště, digitalizace, 3D tisk, Big Data, a mnoho dalších, které jsou součástí 4. průmyslové revoluce viz Obr. č. 2.

V posledních dvaceti letech zákazníci žádají stále lepší produkty a služby, což vyvolává u podniků nutkavou potřebu uvažovat nad zlepšováním procesů. Pokud zákazník není spokojen,

nic mu nebrání využít konkurenčního prostředí a vybrat si z mnoha konkurenčních firem. Evolučního – přírůstkového zlepšení dosáhneme tak, že popíšeme současný stav procesu, stanovíme sledované metriky, sledujeme provoz procesu, který měříme a navrhujeme řešení, které posléze implementuje. Tento přístup je dnes standardem při řízení podnikových aktivit za účelem zvýšení výkonnosti Otevření světových trhů v 90. letech způsobilo zesílení konkurence do takové míry, že pokud chtěly podniky přežít, žádaly převratných a okamžitých změn, který měl za úkol vyřešit přístup Reengineeringu. Tento přístup předpokládá, že proces nefunguje, je špatný a je nutné ho změnit. Tento přístup je opakem přírůstkového zlepšení, a tak netrvalo dlouho a BPR (Business Process Reengineering) zažívá krizi. Ne všechny problémy lze jednoduše a razantně změnit. Až příchod informačních technologií umožňuje vzít to nejlepší ze starého systému a propojit ho s novými změnami, jež přináší reengineering. [8]

Dnes je již překonáno staré paradigma, firma nemůže být řízena na základě pevně definované organizační struktury, která má pevně definovanou odpovědnost a pravomoci a každý zaměstnanec má své předem určené místo. Od takového řízení není možné očekávat pružnost, variantnost postupů a nahraditelnost pracovníků. Základem organizace nového typu je účelové vnímání procesů, jako souboru činností, které mají hodnotu pro zákazníka. Zpracováním procesů, určení vstupů a výstupů je dána jejich hierarchie. Řetězce činností tvoří základ organizace. Vše ostatní je od základní struktury odvozeno. Procesy jsou tedy dostatečně pružné a schopné reagovat na změnu. V samotné organizaci společností se oprostuje od pevně definované struktury podřazenosti a nadřazenosti, což vyžaduje delegovat pravomoci dle potřeby procesu. To vyžaduje schopnost zaměstnanců tuto odpovědnost přijmout a unést ji. Musí být schopni se pravý okamžik rozhodovat vždy v zájmu procesu. Podpůrné technologie jdou změnám naproti, nachází prvky organizace a komunikace, které platí obecně a odděluje je od specifických. Na jednu stranu to vede k potřebě standardizovat firemní systémy např. řešení ERP nebo standardy ISO řady 9000, na druhou stranu jsou vyzdvihnuty nestandardní procesy a je na ně upřena pozornost. [8]



Obr. č. 2: vývojové etapy průmyslové revoluce (zpracováno dle [9])

2.2.1 Průmyslové revoluce

Přestože se dnes nacházíme ve 4. průmyslové revoluci, také označované jako Průmysl 4.0 (angl. *Industry 4.0*), je dobré si ve stručnosti připomenout, čím si člověk v procesu zlepšování prošel. Dnes se průmyslové revoluce dělí do 4 vývojových etap.

Průmysl 1.0

Začátek 1. průmyslové revoluce se datuje od 18. století. Dochází k přechodu od ruční výroby v manufakturách ke strojní velkovýrobě, vzniká nový obor – strojírenství. Masově se v té době začaly využívat nové zdroje energie, především uhlí (resp. pára), proto je také tradičním symbolem průmyslové revoluce parní stroj. Klíčovým pojmem tohoto období je **industrializace**. Dopad průmyslové revoluce na společnost byl obrovský, zásadně se změnil všechny obory hospodářství. Lze ji charakterizovat změnou převažujícího způsobu dopravy, energetických zdrojů a přenosu informací. Co do významu je tento převrat srovnatelný s neolitickou revolucí, která znamenala proměnu společnosti od lovců a sběračů k zemědělské. S tím souviselo zakládání sídel, kompletní změna životního stylu a vznik soukromého vlastnictví. [10]

Průmysl 2.0

Toto období je synonymem pro vynález žárovky T.A Edisonem a instalací 1. **montážní linky** koncem 19. století společností Cincinnati. Montážní linka, později **elektrifikovaná**, započala dělbu práce, která přinesla další prudký rozvoj masové výroby. Do této doby jsou datovány první pokusy o výrobu mobilního automobilu ve střední Evropě. [10]

Průmysl 3.0

Vznik prvních počítačích strojů lze označit za výsledek přirozené evoluce než skutečné revoluce. V 70. letech 19. století dochází k rozmachu informačních technologií, elektroniky a automatizaci a v roce 1969 dochází k výrobě vyroben první **programovatelný logický automat** čili PLC. Jedná se o malý průmyslový **počítač**, řídicí jednotku pro **automatizaci** procesů v reálném čase. Pro PLC je charakteristické, že program se vykonává v tzv. cyklech, a tím se liší od běžných počítačů. Další rozdíl je v tom, že jeho periferie jsou přímo uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy. [10]

2.2.2 Průmysl 4.0

Poválečný rozmach počítačů zpomalila studená válka mezi USA a SSSR, a právě tato skutečnost podnítila práci na projektu počítačového výzkumu agentury ARPA. Vznikající počítačová komunikační síť neměla být řízena z žádné konkrétní ústředny, ale její řízení by mělo být zcela decentralizované. Taková síť by potom byla nenapadnutelná a jako celek by fungovala dál i v případě, kdy by byla některá z jejích částí zničena. Roku 1969 agentura úkol splnila a do provozu byla uvedena první experimentální síť ARPANET. V roce 1987 tato síť dostává jméno **internet**. Od konce 90. let pak sledujeme extrémní nárůst uživatelů internetu, který v dnešní době již dosahuje řádu miliard. [10]

Období, které prožíváme nyní je charakterizováno masovým rozšířením internetu a jeho průnikem do doslova všech oblastí lidské činnosti a mělo by trvat dalších minimálně 10–30 let. Masové rozšíření internetu způsobí jeho průnik doslova do všech oblastí lidské činnosti. K síti se připojují kromě lidí také stroje a věci obecně. **Automatizace** výroby, **digitální** plánování logistiky, energeticky úsporné zásobovací infrastruktury umožní, aby miliardy strojů, systémů a čidel byly schopny komunikovat mezi sebou navzájem a v reálném čase si vyměňovat informace v digitální dimenzi, která je rozšířením našeho světa, tak jak ho známe. Reálné a virtuální světy se začínají prolínat a do hry vstupují tzv. **kyberfyzické systémy**. [10]

2.3 Digitální dvojčata

Moderní technologie nám dnes umožňují mnohé a pro společnosti na celém světě je velmi důležité udržet krok s konkurencí a inovovat. Inovovat podnik díky neustále se vyvíjejícím informačním technologiím jako jsou cloudová úložiště, která nám umožňují přístup k našim datům kdykoliv a odkudkoliv, z pohodlí domova můžete díky internetu věci – IoT (z angl. *Internet of Things*) sledovat vytiženost pracovišť nebo kapacitu zásob a mít tak přehled o tom, co se ve vašem podniku děje v reálném čase. My, i systémy kolem nás vytváříme velká data (z angl. *Big Data*). Nejen pro roztřídění obrovského – pro člověka nezvládnutelně tříditelného množství dat využíváme umělou inteligenci – AI (z angl. *Artificial Intelligence*). Pokročilé výpočty a systematická analýza dat v kybernetice nám otevírá budoucnost tzv. chytré výroby (z angl. *Smart Manufacturing*).

2.3.1 Historie

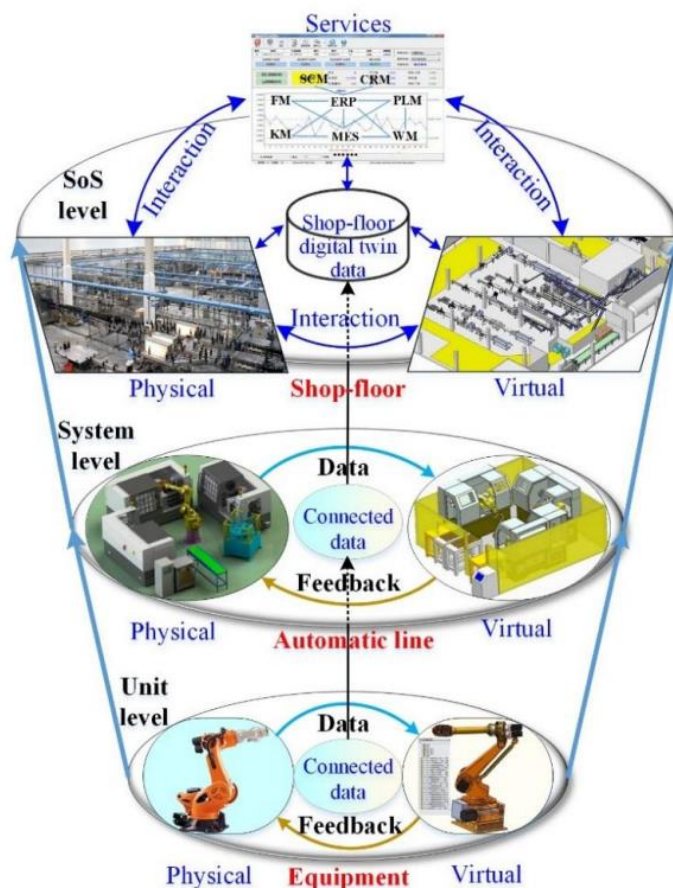
O digitální dvojče¹ (z angl. *Digital Twin*) byl zájem již v 70. letech 20. století, kdy začala tuto myšlenku rozvíjet NASA při projektu Apollo, kdy došlo během mise Apollo 13. k explozi kyslíkové nádrže. Tým inženýrů tak musel efektivně a společně pracovat na zemi, aby byli schopni minimalizovat následky exploze a možná nečekaná budoucí poškození. V té době měli na Zemi reálný model, na kterém mohli testovat svá řešení. Dnes NASA používá koncept dvojčete, ale toho digitálního, nikoliv analogového, jak tomu bylo v minulosti. [11]

Další zlom v používání přišel v roce 2012, kdy NASA na konferenci označila digitální dvojče za paradigma budoucího vývoje. „The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles“. V tomto dokumentu je digitální dvojče dlouhodobou vizí pro odstranění nedokonalostí. Např. nedokonalost vycházející z heuristiky, nedostatečné spolehlivostní a pravděpodobnostní metodiky a z nich vycházející faktory bezpečnosti. Dále nedokonalé porozumění degradace a anomálních událostí a neschopnost předvídat neznámé. NASA by proto ráda využila celkový přístup, schopnost vyhodnocování a upravování parametrů v reálném čase. Nakonec by digitální dvojče mělo zrcadlit život odpovídající reálnému vozidlu. Bude možné dohledat konkrétní díl, tudíž by nemusela být stažena veškerá vozidla se stejným dílem, ale jenom ta, kde ke kolizi opravdu došlo. Společnost bude mít přehled o opotřebením v reálném čase na konkrétních vozidlech v konkrétních podmínkách, což umožňuje lépe plánovat kontroly, ale i objednávání nových dílů. Digitální dvojče je součástí všech procesů od konstrukce po výrobu, proto je potřeba změnit i metodiku standardizace. [12] Podobnou vizí nastínila později i další americká společnost Lockheed Martin [13], která tvrdí, že digitální dvojče bude hrát podstatnou roli v obraně a letecko-kosmickém průmyslu v nadcházejících letech. Stejně tak společnost Gartner zařadila tuto technologii do top 10 strategických technologií pro roky 2017-2019. [14] [15]

2.3.2 Koncept

Modely a data jsou kostrou digitálních dvojčat. Ve třídímní pojetí, jež definoval Glaessgen, je digitální dvojče virtuální model vytvořený na základě fyzického objektu, oba tyto systémy jsou propojeny daty. [12] Se stále narůstající socializací a servitizací roste role služeb v průmyslu a třídímní pojetí se mění na pětímní, k fyzickému objektu, virtuálnímu modelu, datům, přibýly pojmy fúze a služby.

¹ Koncept digitálního dvojčete prezentoval v roce 2003 na University of Michigan Dr. Michael Grieves. [17]



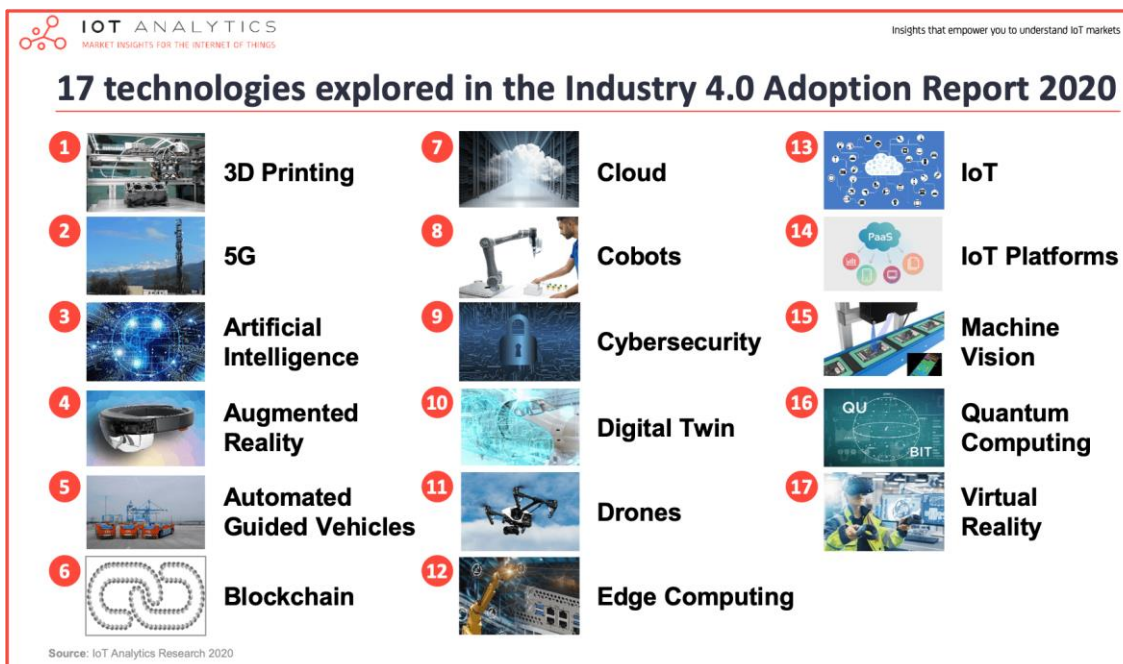
Obr. č. 3: Úroveň jednotky, systému a SoS v pětidimenzionální modelu digitálního dvojčete [16]

Obecně lze digitální dvojče rozdělit na úroveň **jednotky**, úroveň **systému** a úroveň **systému systému (SoS)**. Úrovně systémů jsou integrací několika úrovní jednotek digitálních dvojčat, které vytváří systém a několik dalších systémů vytváří SoS, takový systém označujeme za komplexní. Úroveň jednotek je reprezentována nejmenší zúčastněnou jednotkou, zařízeními. V rámci této jednotky lze seřízením, upravením strojů docílit optimalizací výrobních procesů. Součástí této úrovně mohou být např. CNC stroje, robotická ramena. Několik těchto jednotek dává vzniknout např. výrobní lince, kterou lze označit za systém. Více linek (systémů) složených ze základních zařízení označujeme za SoS úroveň viz Obr. č. 3.

2.3.3 Současné pojetí digitálních dvojčat

Princip digitálních dvojčat se od 70. let téměř nezměnil, stále obsahuje 3 části – fyzický produkt, virtuální produkt a data. Aby bylo možné obstát v projektech nové generace, na které již konvenční metody nestačí, je nutné změnu vztáhnout i na logistické a výrobní procesy, tradiční technologie a metody. Následně jsou podniky schopny dostát novým požadavkům, jako jsou např. kustomizace v masové výrobě a optimalizace nákladů napříč zmíněnými sférami podniku. [13]

Digitální dvojčata podporují tři základní a nejdůležitější znalosti člověka, které dle Grievese jsou konceptualizace, srovnávání a spolupráce. Právě tyto atributy jsou jedny z hlavních, které umožní budoucí řešení problémů a inovace. [17] A aby podniky byly schopny budoucí problémy řešit, je nutná adaptace a implementace technologií, které udržují podniky konkurenceschopné. Pro rok 2020 je klíčové osvojení následujících technologií viz Obr. č. 4.



Obr. č. 4: Klíčové osvojení 17 technologií v rámci průmyslu 4.0 pro rok 2020 [18]

Dle reportu publikovaného v roce 2020, který vypracoval Matthew Wopata vyplývá, že společnost Siemens je v Evropě přední osvojitel Průmyslu 4.0. Siemens disponuje vizionářskou strategií, je v čele digitálních obchodních modelů a implementuje průmysl 4.0 ve svých závodech. Podobně jsou na tom ještě společnosti Boeing a GE, kteří v tomto reportu obsadily 2. a 3. místo. V Evropě jsou spolu se slovem průmysl 4.0 velice často skloňovány názvy společností SAP, ABB a automobilky BMW. [18]

Digitální dvojče v minulosti sloužilo jako virtuální reprezentant fyzických výrobků, který se využíval k porovnávání s jeho inženýrským návrhem. Dnes je digitální dvojče reprezentantem nejen fyzických objektů, ale i výrobních a přepravních zařízení, systémů, procesů, pracovníků, nebo dokonce celého prostředí. Digitální dvojče monitoruje fyzické objekty a procesy v reálném čase. Data takto získaná tvoří velice podrobný digitální obraz založený na skutečných datech získaných z množství senzorů a snímačů propojených internetem věcí. Toho lze využít při rozhodování, rozpoznání klíčových vzorců chování systému nebo jednotlivých procesů. Tento fakt umožňuje pochopit kauzalitu mezi složkami v modelu a prostředím. Dále nám tato funkcionality digitálních dvojčat pomáhá odhalovat slabá místa, optimalizovat a obecně se rychle přizpůsobovat změnám. Digitální dvojče nachází své místo v rámci životního cyklu výrobku, čehož lze využít v rámci údržby a predikci nadcházejících událostí vyvolaných stavem systému, stroje, procesu. V rámci logistiky se využívá virtuální model materiálových toků, který efektivně řídí dodavatelsko-odběratelské řetězce. [11]

V odstavci výše byl popsán způsob využití digitálního dvojčete jako analytického nástroje, ale tuto technologii lze využít i jako řídicí prvek. Pasivní forma digitálního procesu přímo ve výrobě nezasahuje, naopak forma aktivní se podílí na automatickém řízení průmyslových a logistických procesů. Tento aktivní prvek disponující řídicí funkcionalitou a mnohdy disponuje i nějakou formou umělé inteligence. Je schopen přebírat iniciativu, učit se a sám ovlivňovat své prostředí co nejefektivnějším a optimálním způsobem. Aktivní dvojčata jsou součástí Smart Factory, Smart Industry. [11]

2.4 Lean metodologie

Lean metodologie byla vyvinuta se záměrem zlepšování podnikových procesů především v oblasti průmyslu, ale vzhledem ke své praktičnosti a jednoduchosti nachází široké uplatnění i v dalších oborech. Začátek Lean sahá do roku 1910 k průmyslníku Henrymu Fordovi do období rané masové výroby. Na Fordovy myšlenky navazuje Taiichi Ohno, manažer výrobní linky ve společnosti Toyota, který po 2. světové válce vyvíjí metodiku známou jako Toyota Production System (TPS). Avšak autorem termínu „štíhlá výroba“ jsou James Womack a Daniel Jones. [1]

Základní principy „štíhlé výroby“ (angl. *Lean Manufacturing*), které Womack doporučuje říkají, že se máme zabývat tím, co je důležité pro efektivní fungování procesů našich zákazníků a máme rozlišovat, které kroky přispívají ke tvorbě hodnoty. Dále udržováním sledů pracovních činností v neustálém pohybu a eliminací čekání zamezujeme plýtvání. Máme dbát na to, abychom předcházeli objednání většího počtu kusů produktů, než kolik jich zákazníci aktivně požadují a v neposlední řadě neexistuje žádná úroveň dokonalosti, o které bychom si mohli říci, že je konečná a nepřekonatelná. [1] Následováním těchto principů dosáhneme toho, co Womack a Jones popisují ve své knize *The Machine That Changed the World*, že naše produkty budou potřebovat méně materiálu, investic, skladů, místa a v konečném důsledku i méně lidí. Jedná se v podstatě o změnu rovnice zisku na cena – náklady = zisk. [19]

Přestože se pojem „štíhlá výroba“ stal synonymem pro TPS, jsou zde 2 odlišnosti, jak zmiňuje Wilson. První odlišností je začátek cesty Lean. Když Ohno začal v roce 1955, měl již vyspělý systém kontroly kvality, který dnes nemají ty společnosti, které se teprve na cestu Lean vydávají. Druhým důvodem je fakt, že slepým následováním metodik se podnik štíhlým nikdy skutečně nestane. Bylo to právě vědomé, nepřetržité a důsledné řízení kultury mnoho desítek let, které v konečném důsledku učinilo Toyotu na 50 let takřka nedotknutelnou. Stejně tak, jak pro Toyotu, tak i dnes v rámci Lean to jsou právě lidé, jež vdechnou systému život. Změn nelze dosáhnout bez lidí, proto je podporováno a vyžadováno zapojení všech pracovníků. [19]

Napodobování je prý nejuprávnější formou lichocení, říká přísloví, kterému dává za pravdu i množství způsobů, kterým se Lean snaží být. Kamkoliv se dnes podíváme, najdeme kolem sebe Lean. Lean management, Lean vzdělání, Lean zdravotnictví, a to není zdaleka konec. [20] Stejně tak je velké množství nástrojů, které lze využít. Avšak jejich slepé okopírování a implementace neučiní společnost štíhlou. Cesta Toyoty není pozoruhodná jenom postupy a principy, jako spíše souborem vzorců myšlení a jednání, které při neustálém opakování při každodenní práci vedou k požadovanému výsledku. Abychom byli schopni využít schopnosti lidí, které jsou variabilní, subjektivní, ba mnohdy iracionální, je nutné využít těchto metod tzv. kat (z jap. kata, původně se jedná o základní formy pohybu v bojových uměních, v Lean metodice kata znamená vzorce chování). Katy nám pomáhají se vyrovnat s neustále se měnícími podmínkami vně i uvnitř společnosti a na rozdíl od principů nám říkají, jak něco udělat. [21]

2.4.1 Metody štíhlé výroby

Nyní si definujeme vybrané metody štíhlé výroby, a to konkrétně 5S, TPM, SMED, OEE a 3M (Muda, Mura, Muri).

5S

Metodika 5S byla vyvinuta v Japonsku společností Toyota. Zaměřuje se na odstranění zbytečných ztrát a plýtvání, ke kterým dochází na pracovišti. Zeštíhlením pracoviště zamezíme vzniku vad, chybným výkonům a úrazům. 5S znamená 5 japonských slov:

- Seiri – seřídít, utřídit nepotřebné nářadí, vadné díly, dokumenty, nástroje.
- Seiton – uspořádat věci tak, aby je bylo možné ihned použít.

- Seiso – neustále udržovat pořádek na pracovišti.
- Seiketsu – čistota by měla být osobním zvykem každého jedince.
- Shitshuke – řídit se pracovními postupy dílny.

Metoda 5S se využívá nejen ve výrobě, ale i v administrativě. Udržování a zlepšování pořádku na pracovišti činí procesy transparentní a je ihned možné rozpoznat odchylky od standardu. Metoda činí materiálový a informační tok přehledným, což vede ke zviditelnění a odstranění problémů, k ulehčení a zjednodušení práce a k celkovému zlepšení pracovního prostředí. 5S je základem vizuálního managementu.

TPM

TPM znamená v češtině totálně produktivní údržbu. Stejně jako pro hlavní procesy, tak i pro údržbu by mělo platit, že maximální možnou mírou přispívá ke zvyšování produktivity. Mnohdy ale bývá údržba až jednou z posledních oblastí, kde se hledá snižování nákladů.

„Zatímco u výrobních operací se stále častěji setkáváme s aktivitami podporujícími zproduktivnění tohoto procesu, režijní činnosti zůstávají i v dnešní době z různých příčin těmito aktivitami nedotčeny.“ [2]

Možná právě změny, které je nutné provést v samotném základu organizace výroby, provozování údržby daného zařízení a také lidské chyby, které je obtížné si přiznat a nést za ně zodpovědnost, jsou ony příčiny, jež zabraňují zefektivnění režijních činností. Pokud chceme aplikovat systém TPM a zefektivnit údržbu, musíme identifikovat ztráty, které vznikají. Mnohdy velké poruchy vznikají právě z toho důvodu, že si nikdo nevšimne maličkostí. Jurová zmiňuje 6 velkých ztrát:

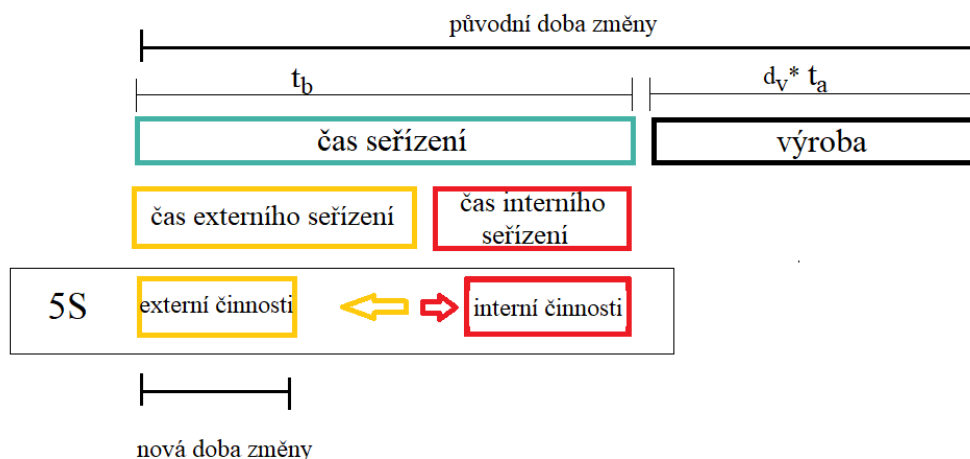
- Ztráty při seřizování a změně rozměrů – lze uplatnit metodu SMED.
- Krátká přerušování a běh naprázdno – jsou způsobeny dočasnými problémy stroje.
- Ztráty z nevyužití rychlosti stroje – vznikají tehdy, pokud se liší skutečná rychlost stroje a provozní rychlostí, pro kterou byl stroj konstruován.
- Kvalitativní ztráty a vícepráce – jsou to ztráty kvality způsobené nesprávným provozem výrobního stroje.
- Ztráty při náběhu – lze je rozeznat díky rozdílnému výkonu při postupném najíždění na plný výkon a jejich důsledkem je vznik „zkušebních sérií“ neznamená nic jiného, než produkci „zmetků“. Tento čas je označován za ztrátu.
- Celkové efektivní využívání výrobní základny. [2]

SMED

Zkratka SMED (z angl. *Single Minute Exchange of Die*) znamená techniku rychlé přestavby, dnes se taktéž využívá názvy Rychlá změna (z angl. *Rapid Changeover*). Metoda se využívá všude tam, kde se seřízení vykonává často a časy na seřízení představují významné ztráty z kapacity stroje nebo linky. Čas seřízení (přestavby) je čas potřebný od ukončení výroby posledního kusu, až po výrobu prvního dobrého kusu. Při aplikaci této metody je nutná důkladná analýza seřízení prováděná pozorováním na pracovišti. [2] Redukování množství času na seřízení postupujeme dle následujících kroků viz Obr. č. 5:

1. **krok** – oddělit práci, která musí být vykonána nezbytně během vypnutí zařízení (takzvané **interní seřízení**), od práce, kterou lze vykonat během provozu zařízení (takzvané **externí seřízení**).
2. **krok** – redukce interního času seřízení tak, že stále více práce se bude vykonávat externě.

3. **krok** – zlepšování a redukce interního a externího času seřízení. Klíčem k řešení tohoto problému je hlavně organizace pracoviště a ostatních činností v dílně, eliminace procesu nastavení rozměrů a polohy, který zabírá značný čas při všech typech přetypování atd. [22]



Obr. č. 5: SMED (zpracováno dle [23])

Standardizací postupu seřízení, tréninkem týmu, speciální pomůcky, technické úpravy stroje a v neposlední řadě postupná změna organizace přestavby mohou mít za důsledek radikální zkrácení časů na seřízení z několika hodin na několik minut. Tato metoda se obvykle používá na pracovištích, která jsou úzkými místy. Metoda SMED je často i součástí programu TPM (z angl. *Total Productive Maintenance*). [1]

OEE

Celkové efektivní využívání výrobní základny (z angl. *Overall Equipment Effectiveness*). Při výpočtech se nelze omezit pouze na údržbu, ale i na další faktory ovlivňující efektivitu zařízení. Velice podstatná jsou data, na jejichž základě kalkulaci provádíme a další faktory, kterými jsou míra využití (dostupnost), míra výkonu (výkon), míra kvality. [2]

$$OEE = \text{míra využití} \cdot \text{míra výkonu} \cdot \text{míra kvality}$$

Dílčí ukazatele stanovíme dle:

$$\text{míra využití} = \frac{\text{doba možného provozu výrobního zařízení} - \text{prстоje}}{\text{doba možného provozu výrobního zařízení}}$$

$$\text{míra výkonu} = \frac{\text{počet vyrobených kusů} \cdot \text{ideální cyklus (takt)}}{\text{doba možného provozu výrobního zařízení} - \text{prстоje}}$$

$$\text{míra kvality} = \frac{\text{počet vyrobených kusů} - (\text{zmetky} + \text{vícepráce})}{\text{počet vyrobených kusů}}$$

OEE je klíčový ukazatel pro podniky, které jsou aktivní v neustálém zlepšování a zeštíhlování výroby. Zavedení OEE dochází ke zvýšení výrobní kapacity a ke snížení nákladů, což má přímý vliv na ekonomické výsledky podniku. Využití normované kapacity zařízení (strojů a linek) se uvádí v procentech [2].

Plýtvání

V každé práci se dají identifikovat série procesů nebo kroků. Zdroje práce, tedy lidé a stroje, by svým konáním měli zvyšovat přidanou hodnotu produktu. Běžně však dochází k řadě plánovaných a neplánovaných kroků, které nám přijdou potřebné a nutné, avšak po výsledném zhodnocení a pohledu „zpovzdálí“ tyto kroky nepřidávají přidanou hodnotu a mluvíme tedy o plýtvání. V japonštině se pro označení plýtvání, odpadu, využívá slovo muda. Taiichi Ohno definoval sedm kategorií plýtvání [24], jsou to:

1. Muda nadprodukce

Výroba většího, než potřebného množství produktů má za následek ohromné plýtvání. Potřeba nakoupení většího množství je tažená obavami z častých poruch strojů, vzniků zmetků a absence pracovníků. [25]

2. Muda zásob

Produkty, rozpracované produkty, obrobky, díly a součástky jsou zásoby, které zabírají místo, vyžadují provoz a řízení skladů další lidské síly. Rozlišujeme několik druhů zásob, jako např. pojistná, která mají své opodstatnění. Imai přirovnává zásoby k hladině vody, tedy čím vyšší hladina vody je, tím větší se snaží zakrýt problémy. Nižší hladiny zásob nám pomáhají identifikovat problémy, které „vylavaly na povrch“. [25]

3. Muda oprav a zmetků

Zmetky samy o sobě jsou plýtváním – plýtváním práce, času, materiálu. Často se musí vyhodit nebo prodat za mizivou částku. Zmetky způsobují ztráty strojního času, kdy je kvůli nim zastavena výroba a mohou mít za následek poškození strojů. Pokud nedojde včas k zastavení, počet zmetků přesahuje více než jeden kus. Stroje by ideálně měly být vybaveny mechanismem, jenž je zastaví, jakmile se objeví vadné produkty. [25]

4. Muda pohybu

„Jakýkoliv pohyb zaměstnanců, který není přímo spojen s přidáváním hodnoty, je neproduktivní.“ (Imai, 2005 [25]) Za neproduktivní je označována např. chůze, zvedání, nošení. Příkladem je obsluha stroje, která vykonává přidanou hodnotu jen v několika momentech a trvá v řádech sekund. Při minimalizaci muda pohybu je klíčové pochopit pohyby zaměstnanců na pracovišti (jak používají ruce a nohy). Následně může dojít k redesignu pracoviště, 5S, reorganizaci jeho částí spolu s vytvořením vhodných nástrojů a pomůcek, které minimalizují chůzi i hledání. [25]

5. Muda zpracování

Nevhodná technologie či provedení má za následek mudu zpracování produktu. Tuto mudu si lze představit jako nutný úkon po předešlé operaci, která produktu přidává hodnotu např. odstranění vzniklých otřepů. Otřepy mohou signalizovat přílišný náběh nebo přeběh stroje. Často lze mudu zpracování odstranit pomocí technik vycházející ze zdravého rozumu. [25]

6. Muda čekání

Muda čekání lze zpozorovat velice rychle, pakliže pracovník zahálí z důvodu čekání na součástky nebo poruchy stroje. Hůře se identifikuje plýtvání vzniklé při zpracování. Obsluha stroje může vypadat, že usilovně pracuje, avšak čekání zde existuje ve formě vteřin či minut. [25]

7. Muda dopravy

Doprava je nutná součástí výrobního procesu, ale samotný pohyb produktů žádnou hodnotu nepřidává. Spolu se sloučením, přiblížením pracovišť nebo linek a sjednocením procesů, můžeme

zajistit plynulý tok práce. [25] V takovém případě, pokud to dovolují i navazující pracovišti, aplikujeme Milk run², aby došlo k efektivnímu využití logistiky. [26]

Mura, Muri

Nepravidelnost (jap. *Mura*) vzniká vždy, pokud je narušen hladký tok práce stroje. Namáhavé podmínky (jap. *Muri*) nejsou vhodné ani pro zaměstnance, ani pro stroje, v konečném důsledku pro celý pracovní proces. Pokud je novému zaměstnanci bez zkušeností přidělena práce vyžadující praxi, dojde pod vlivem nižší výkonnosti a vyšší chybovosti, která je zcela opodstatněná, ke zpomalení celého procesu. [25]

Slova muda, mura, muri, souhrnně nazývána 3MU slouží jako praktická kontrola všech abnormalit na pracovišti. Vyhledávání těchto událostí zahájením procesů gemba³ a kaizen⁴ lze minimalizovat tyto události. Muda mnohdy není odstraněna z důvodu „pracovní slepoty“, kterou trpí pracovníci i jejich nadřízení. To, že pracovník koná na první pohled práci ještě neznamená, že přidává produktu přidanou hodnotu. Pokud se na proces nepodíváme a neptáme se, co se zde přesně dělá, jak se to dělá a proč se to dělá právě tak a ne jinak, nemůžeme mudu vidět. Pouze řešíme následky, jež muda vyvolala. [25]

Kaizen

Management plní v kontextu kaizenu dvě hlavní funkce, kterými jsou údržba a zdokonalování standardů. Udržováním stávajících technologických, manažerských, provozních standardů management zajišťuje společný provozní postup. Zdokonalením standardů vznikají drobná zlepšení označována jako kaizen, pokud zlepšení vyžaduje významné finanční zdroje, označujeme zlepšení za investici (investice do zařízení, technologií). Kaizen je strategie, která manažery učí realizovat základní koncepty a systémy, kterými jsou:

- kaizen a management
- proces versus pořádek
- realizace cyklů PDCA/SDCA
- kvalita na prvním místě
- mluví za vás data
- následující výrobní proces je váš zákazník [25]

Kaizen upíná pozornost k procesům, pouze tehdy pokud jsou procesy zdokonalené, pouze tehdy může být dosaženo lepších výsledků. Zde se ke stabilizaci uplatňují cykly **PDCA** (*plánuj, udělej, zkontroluj, uskutečni*), **SDCA** (standardizuj, udělej, zkontroluj, uskutečni) a **QCD** (*kvalita, náklady, dodávky*), absolutní řízení kvality **TQM**, **JIT** (*právě včas*) a absolutní údržba výrobních prostředků **TPM**. Na začátku je každý nový proces nestabilní, stabilizován je pomocí cyklu SDCA, který umožní vytvoření standardu. Pokud je standard dodržován, je následně možné proces zdokonalit pomocí cyklu PDCA. [25]

² MILK run vychází z modelu distribuce mléka, kdy mlékař distribuoval plné láhve a zároveň vysbírával láhve prázdné z předchozí rozvážky. Winfrid Meusel označuje za „mléčné trasy“ ty cesty, které lze potencionálně identifikovat jako okružní. Milk run zvyšuje využití vozidel a snižuje logistické náklady. [57] Konkrétně se snížení nákladů pohybuje mezi 10 % - 30 %. [26] Uvádí se, že typický reprezentant průmyslu vynakládá 25 % pracovníků, 55 % území podniku a 87 % produkčního času na manipulaci s materiálem. [55]

³ Gemba je japonské slovo, v doslovném překladu znamená skutečné místo. V manažerské terminologii znamená pracoviště, či místo, kde je přidávána přidaná hodnota. Ve výrobních závodech je gembou míněn výrobní proces. [25]

Dále teorie kaizen říká, že by kvalita měla být na prvním místě bez ohledu na „atraktivitu ceny“. Snížením kvality totiž může podnik riskovat svůj život. Ke správnému pochopení a vyřešení je potřeba shromáždit kvalitní data a analyzovat je. V tomto směru se nevyplácí spoléhat se na pocity. Pouze tvrdá data dokážou poskytnout objektivní pohled a vědecký přístup v procesu zdokonalování. [25]

Lean lze dnes spíše než za metodiku považovat za filozofii, Lean myšlení dnes nachází své místo nejen v průmyslu, administrativě, ale i ve službách. V dnešní době je kladen velký důraz na zvýšení produktivity práce. Právě implementace principů Lean pomáhá nejen při stanovování standardů režijních prací, ale zároveň pomáhá zvyšovat hodnotu společnosti a její konkurenceschopnost. Klíčovými prvky tohoto úsilí jsou kvalita, zapojení všech zaměstnanců, ochota ke změně a komunikace. Pokud chceme dosáhnout trvalých změn, a to nejen při získávání certifikátů standardů, je třeba, aby oddělení kvality stanovilo všechny činnosti, které neustále zlepšují všechny funkce a zahrnují všechny zaměstnance od vedoucích pracovníků až po pracovníky montážní linky. Komplexní program školení zaměstnanců by měl být zaveden ve všech oblastech a měl by být jedním z hlavních činitelů vytvářející vhodné a motivující podmínky pro vznik efektivních procesů a zlepšování. [27]

Každé zlepšení, Lean nevyjímaje, vyžaduje změny, které s sebou přináší problémy. Nesnáze je potřeba překonat. Mnohdy nejasné formulování cílů je příčinou proč se plány nedají rozdělit na dílčí, snadněji zpracovatelné části.

2.4.2 Měření práce

Průmyslové inženýrství se bez této metody neobejde. Přestože je tato metoda jednoduchá, je velice účinná v boji proti plýtvání. Pomocí analýzy práce a měření jsme schopni definovat optimální pracovní proces. Jako první činnost je prováděna analýza práce. Studujeme pracovní metody, identifikujeme plýtvání a neproduktivní činnosti. Zároveň uvažujeme, jak práci zjednodušit, ve smyslu zvýšení efektivity odstraněním neproduktivních činností. Výsledkem této fáze je nový optimální pracovní postup. Ve druhé fázi, kterou je měření práce, určíme časovou náročnost jednotlivých kroků operace. Podstatné je se „umět dívat“, neustále se ptát, zapojit zdravý selský rozum a ujistit se, že možný navrhovaný způsob je ten nejlepší možný. Lze využít základních analytických nástrojů jako jsou: procesní analýzy, diagramy, toky práce, špagetové diagramy atd. Měření práce se dělí na přímé a nepřímé. [28]

CELKOVÝ ČAS	OBJEM VÝROBY		
	Vysoký	Střední	Nízký
Dlouhý (nad 10min)	Momentkové pozorování Kontinuální čas. studie	Momentkové pozorování Kontinuální čas. studie	Expertní odhady Momentkové pozorování Historická data
Střední (do 10min)	Momentkové pozorování Kontinuální čas. studie Systém před. určených časů	Momentkové pozorování Kontinuální čas. studie	Expertní odhady Historické data Kontinuální čas. studie
Nízký (do 1min)	Systém předem určených časů	Systém předem určených časů Kontinuální čas. studie	Kontinuální čas. studie Expertní odhady

Tabulka 1: Metody měření času dle cyklového času a. objemu výroby [29]

Přímé měření

Přímé měření lze provést za pomoci stopek a potřebných formulářů nebo za využití software. Pokud se zaměřujeme na pracovníka, mluvíme o *snímku pracovního dne*. Pakliže se zaměřujeme na sledování a určení času operace, je toto sledování označováno jako *chronometráž*. Přestože tato metoda měření vypadá jednoduše, je třeba zajistit maximální přesnost norem a dodržovat řadu pravidel viz Tabulka 1: Metody měření času dle cyklového času a. objemu výroby. Mnohdy tato pravidla nejsou důsledně dodržována a výsledky se tak stávají neobjektivní. Podceňováno je často především rozdělení měřené operace na jednotlivé úkony, nebývá proveden potřebný počet náměrů či není pracováno se stupněm výkonu sledovaného pracovníka [28] viz Tabulka 2: Stanovení počtu měření.

Cyklový čas v minutách	Doporučený počet cyklů
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00 – 5,00	15
5,00 – 10,00	10
10,00 – 20,00	8
20,00 – 40,00	5
Nad 40,00	3

Tabulka 2: Stanovení počtu měření [30]

Nepřímé měření

Nepřímé měření práce je rozbor jednotlivých úkonů na základní pohyby, kterým je následně dle náročnosti přiřazen index odpovídající určité spotřebě času. Mezi základní výhody systémů předem určených časů v porovnání s přímým měřením patří:

- Odpadnutí subjektivity (systémy předem určených časů pracují se stupněm výkonu 100 %).
- Možnost použití pro stanovení budoucích operací.
- Možnost použití pro racionalizaci pracovního postupu, organizaci a uspořádání pracoviště.

Mezi nejznámější přímé metody patří MTM⁵ (Methods Time Measurement) a MOST⁶ (Maynard Operation Sequence Technique). Metoda MOST je známější, je velice přesná

⁵ *Methods Time Measurement* – Je metoda, pomocí které lze manuální činnosti rozčlenit na základní pohyby. Každému pohybu je přiřazena časová hodnota podle tabulek předem stanovených časů při respektování ovlivňujících veličin. Tato metoda obsahuje 10 základních pohybů. Od 60. let 20. století, kdy je datován vznik MTM, se pohyby slučují do větších pohybových celků. Metoda MOST z této metody vychází a lidskou práci lze popsat univerzálními sekvenčními modely. Jako základní časová jednotka se zde objevuje TMU (Time Measurement Unit), jejíž hodnota představuje 1/100 000 hodiny, tedy 1 TMU = 0,036 sekundy a 1 sekunda = 27,8 TMU. [54]

⁶ *Maynard Operation Sequence Technique* – se dále dělí na Basic MOST, Mini MOST a Maxi MOST. Poprvé byl poprvé průmyslově aplikován až v roce 1972 ve Švédsku a za zakladatele je považován Kjell B. Zandin. [53]

(s přesností na setiny vteřiny), univerzálně využitelná pro elektronický, strojírenský, automobilový průmysl. Také je vhodná pro výrobní a podpůrné činnosti. [28]

Dlabač uvádí právě 2 důvody, proč je do budoucna oblast průmyslového inženýrství, tedy měření práce, klíčová. Prvním je stále se zdrazující lidská práce, které s sebou nese i požadavky na stále přesnější sestavování nabídek. Ty je nutné sestavovat již v předvýrobních etapách vycházet při tom z přesných norem, a nikoliv z odhadů. Druhý důvod je, že se firmy snaží u výrobních pracovníků o stále užší provázanost mzdového systému s výkonovou normou, což naráží na přirozený odpor pracovníků a následnou potřebu o co nejprůhlednější a pro samotné pracovníky co možná nejjednodušší normy spotřeby času. [28]

Ergonomie

Pojem ergonomie byl převzat z anglického slova *ergonomics*, jež vzniklo spojením řeckých slov *ergo* (práce) a *nomos* (zákon, pravidlo). Porozumění interakcí člověka a ostatních složek systému, aplikací vhodných metod, teorií a dat zlepšuje lidské zdraví a výkonnost. Ergonomie jako vědní obor přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktu a prostředí tak, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením pracovníků. [31]

Každý, kdo navrhuje štíhlá pracoviště, by měl mít i základní znalosti z oblasti ergonomie a ergonomického projektování. Ergonomicky navržená pracoviště přispívají k ekonomičnosti pracovních pohybů a následně nižší spotřebě času výrobní operace. Spolu s tím, jak obyvatelstvo stárne a hranice odchodu do důchodu se prodlužuje, jsou podniky s významným podílem manuálních činností a montážních pracovišť nuceny se otázkou ergonomie zabývat mnohem více, než tomu bylo v minulosti. Cílem ergonomicky navrženého pracoviště je minimalizovat negativní dopad pracovního prostředí na samotného pracovníka a z dlouhodobého hlediska minimalizovat riziko trvalých zdravotních následků. Především pro účely této práce je nutné věnovat pozornost těmto třem základním pravidlům, aby bylo při návrzích dosaženo ergonomických principů a to:

- Respektovat ergonomická kritéria již od počátku projekčního a konstrukčního vývoje (výšky pracovních rovin, manipulátory, osvětlení, mikroklimatické podmínky)
- Odstraňovat nedostatky, úpravy pracovišť (podesty pod palety, vozíky pod KLT, ergonomické rohože atd.)
- Dodržovat antropometrické parametry (výška člověka, dosahy rukou, nohou atd.) [32]

Neustále se opakující činnosti, extrémní pohyby kloubů a síla vedou ke vzniku kumulativních traumatických poruch. Konkrétním příkladem je syndrom karpálního tunelu. Minimalizování ergonomické zátěže je možné nejenom ze stran průmyslových inženýrů, ale již při navrhování nových výrobků, při výrobním procesu. [33]

Při navrhování štíhlých pracovišť je dnes nezbytným trendem propojování metod. Příkladem je propojení metody MTM a ergonomie, které dávají vzniknout obecně platným principům, díky kterým lze minimalizovat zátěž při práci např.

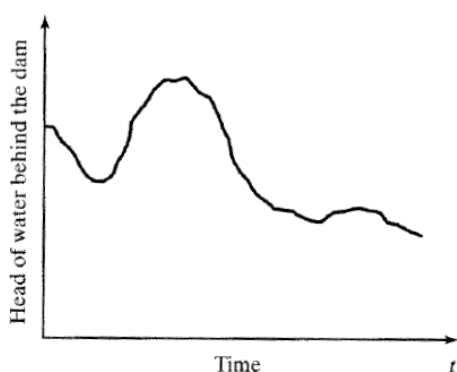
- optimální ergonomie
- optimální dosahové vzdálenosti
- dosah 20 cm na mobilní vozík
- U-linka
- příprava dílů bez obalu
- jeden dotyk, jeden pohyb [32]

2.5 Systém, model, simulace

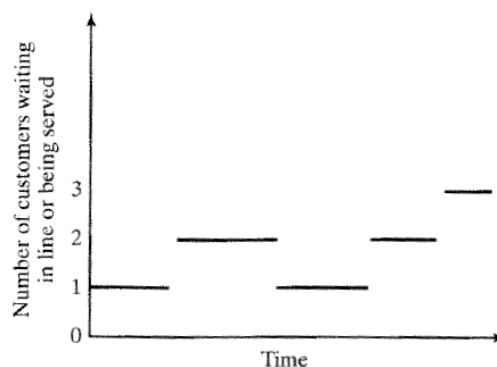
Modelování a simulace se dříve využívala především v technických oborech při řešení tzv. jednoduchých problémů. **Jednoduché** systémy obsahují podstatně méně částí, než tomu je u komplexních systémů. Vždy však záleží na úhlu pohledu, tedy i jednoduchý systém se může skládat z mnoha částí, které vyznačují pravidelnost v uspořádání i chování. Vhodnými reprezentanty jsou např. kladkostroj, v ekonomii trh, jedná-li se o monopol atd. K analyzování nám stačí pouze dedukce. Oproti tomu systémy **chaotické** jsou neorganizované, složené z velkého množství částí, mezi kterými probíhají krátké, nepravidelné a náhodné interakce např. atomy v plynu, které lze aproximovat průměrným chováním. Čímž dostaneme relativně malý výčet rovnic. Vhodným nástrojem pro analýzu neorganizovaného systému jsou především statistické metody. [34]

Většinou se lidé v minulosti snažili rozkládat systémy na podsystémy a tyto jednoduché systémy následně řešit. Dnešní komplexní problémy takto dělit nelze. **Komplexní systémy** se skládají z mnoha částí, jejich řešení vyžaduje interdisciplinární pohled a interakce nelze označit ani za jednoduché, ani náhodné. Systém nelze pouze omezit a nahradit průměrem, jak tomu bylo výše. Vhodným řešením jsou simulace, díky kterým můžeme systém navrhovat, řídit, předpovídat chování, porozumět a v neposlední řadě se učit. Právě z důvodu potřeby velké výpočetní kapacity se studium komplexních systémů rozvíjí od 80. let 20. století. [34]

Obecná definice praví: „**Simulace** je imitace reálné operace, procesu, zařízení nebo systému za daná čas.“ [35] To, co je předmětem zájmu se obvykle nazývá systém. Pokud studujeme daný systém vědecky, je zapotřebí vytvořit předpoklady fungování. Tyto předpoklady mají matematické nebo logické vazby vytvářející model. [35]



Obr. č. 7: Spojitý systém [35]



Obr. č. 6: Diskrétní systém [35]

Systém je definován jako soubor entit, např. lidí nebo strojů, které jednají a komunikují společně směrem k dosažení nějakého logického konce. Za „systém“ v praxi označeno to, co závisí na cílech konkrétní práce. Sbirka entit, které tvoří systém pro jednu studii, může být pouze podmnožinou celého systému pro studii další. **Stav systému** definujeme tak, aby byl nezbytný počet proměnných schopen popsat systém v určitém čase ve vztahu k cílům studie. Bližším studováním systémů získáme vzhled do vztahů mezi různými složkami, což nám umožňuje předpovědět výkon za určitých nových zvažovaných podmínek. [36]

Rozlišujeme 2 typy systémů – diskrétní a spojitý. Diskrétní systém je takový, jehož stav může nabýt spočetně mnoha hodnot představovaných izolovanými body na reálné ose. Spojitý

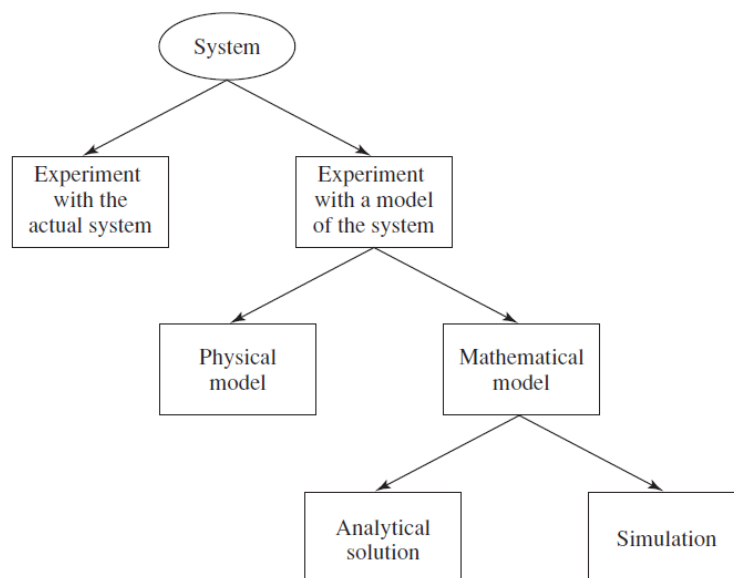
system naopak může nabýt všech hodnot v určitém intervalu (tedy může nabýt nespočetně mnoha hodnot). V praxi se můžeme potkat s některými systémy, které jsou zcela diskrétní nebo zcela spojité. V praxi se ale setkáme se systémy, kde jeden typ změny převládá ve většině systémů. Obvykle je možné označit systém pouze za diskrétní nebo spojitý. [37] [36]

2.6 Způsoby, jak studovat systém

V této části budou zmíněny způsoby, jak daný systém nahlížet, jak se dle sebe dané pohledy liší. Pro přehlednost je rozdělení zobrazeno na Obr. č. 8: Způsoby studování systému.

2.6.1 Experiment se stávajícím systémem vs. experiment s modelem systému

Tento experiment popisuje situaci, kdy je možné fyzicky změnit systém a nechat ho fungovat za nových podmínek. V tomto případě není pochyb o tom, že to, co je studováno, je platné. Avšak tento experiment musí být nákladově efektivní, což v některých případech, např. změna stavu zaměstnanců v bance, navrhování komunikační sítě nebo strategické využití jaderných zbraní, není možné. Takový experiment nelze provést z důvodu velké finanční náročnosti nebo z důvodu devastace původního systému. Z těchto důvodů je vytvoření modelu reprezentující stávající systém možností, jak studovat skutečný systém za mnohdy nižších nákladů. Při vytvoření modelu je nutné se zabývat otázkou, zda modelovaný systém opravdu přesně odráží skutečný systém, a to vzhledem k rozhodnutí, která mají být učiněna. [36]



Obr. č. 8: Způsoby studování systému [36]

2.6.2 Fyzický model vs. matematický model

Pod fyzickým modelem si lze představit odpojené kokpity od letadel určené pro výcvik pilotů nebo miniaturní ropný tanker plovoucí v bazénu. Takové modely se též označují za tzv. ikonické modely a nejedná se o typické modely využívané v operačním výzkumu a analýze systémů. Avšak někdy vytvoření fyzického modelu bylo využito při engineeringu nebo v systémovém managementu např. stolní model *material-handling systems* – zmenšené modely systémů manipulace s materiálem [36], nebo úplný fyzický model restaurace rychlého občerstvení uvnitř skladu ve skutečné velikosti a s pravděpodobně hladovými lidmi. [38] Většina modelů vytvořená pro tyto účely jsou modely matematické, reprezentující systém z pohledu logických

a kvantitativních vazeb. Pokud model změněme, můžeme sledovat, jak by systém reagoval, za předpokladu, že je matematický model platný. Příkladem matematického modelu může být vztah $d = r/t$, kde r = rychlost jízdy; t = čas strávený cestováním; d = vzdálenost cestování. Z příkladu můžeme usoudit, že to, co dostačuje pro jednu instanci, nemusí dostačovat pro účely jiné. Např. vesmírná sonda dosáhne určité rychlosti při letu na jinou planetu vs. dopravní špička při přetížení městské dopravy. [36]

2.6.3 Analytické řešení vs. Simulace

Po vytvoření modelu dochází k analýze systému. Díky analýze systému jsme schopni odpovědět na otázky, které nás zajímají a jsou kladeny v souladu s modelem, který odpovídá systému, který jsme vytvořili. Pokud je řešení jednoduché, jsme schopni ho vyřešit pomocí tužky a papíru. Avšak to se mnohdy nestává. Analytická řešení mohou být mimořádně složitá a vyžadující velké výpočetní zdroje. Pokud je možné dosáhnout analytického řešení matematického modelu výpočetně efektivně, je vhodné uplatnit právě tento přístup. Mnoho systémů je ale natolik složitých, jejich matematické modely jsou komplexní, znemožňující analytická řešení, nezbývá než daný model studovat pomocí simulace, tzn. zkoušet pomocí numerických změn vstupy a sledovat tak výstupní měřítko výkonu. [36]

2.7 Typy modelů

„Všechny modely jsou špatně. Některé modely jsou užitečné.“ (G. Box, W. E. Deming) Jak vyplývá z myšlenky, modely se liší od reality. Jsou zjednodušením aspektům reality, tudíž jsou apriori špatně. Modelujeme problém, nikoliv systém. Dobrý model je přesto velice užitečný, věnuje-li se podstatným aspektům reality. [34] Aby bylo zaručeno, že je matematický model studován pomocí simulace tzn. Simulačního modelu správně, je zapotřebí použít konkrétních nástrojů. Za tímto účelem dochází ke členění simulací do tří kategorií. [36]

2.7.1 Statické vs. dynamické modely

Statický simulační model reprezentuje systém v danou dobu, kde čas nehraje žádnou roli. Příkladem statické simulace je metoda Monte Carlo. Dynamická simulace modelu představuje systém, který se vyvíjí v čase např. dopravník v továrně. [36]

2.7.2 Deterministické vs. stochastické simulační modely

Pokud systém neobsahuje pravděpodobnostní části, označuje se daný model za deterministický. Je to komplikovaný systém, k jehož popisu se využívá diferenciálních rovnic, je analyticky neřešitelný. Příkladem může být chemická reakce. Na druhou stranu jsou systémy, které obsahují alespoň nějaké náhodné vstupní složky. Tyto modely označujeme za stochastické simulační modely. Většina systémů řazená do fronty nebo inventáře jsou velmi často řazena náhodně. Výstupy stochastických simulačních modelů jsou náhodné a jedná se s nimi jako pouze s odhadem skutečné charakteristiky modelu. Tento fakt je jednou z nevýhod simulačních modelů. [36]

2.7.3 Spojité vs. diskrétní simulační modely

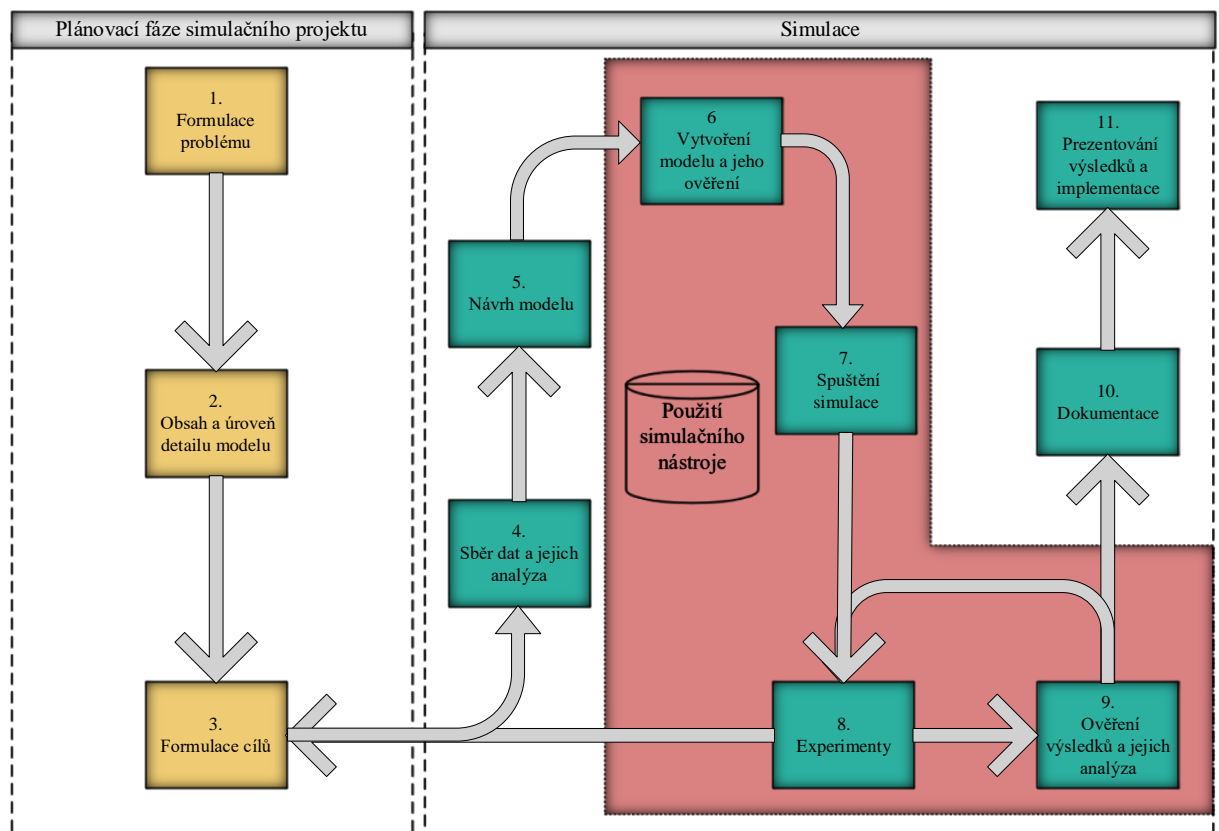
Spojité a diskrétní simulační modely byly popsány již výše viz Kapitola 28 Avšak diskrétní model nemusí být vždy použit pouze k modelování diskrétního systému a stejně tak to platí pro simulační modely spojité. Rozhodnutí, zda použijeme k modelování diskrétní nebo spojitý model, vždy závisí na konkrétních cílech studie. Například, pokud by charakteristiky a pohyb jednotlivých automobilů byly důležité, jedná se o diskrétní model dopravního proudu na dálnici. Případně, pokud pro naši studii není důležitý pohyb jednotlivých automobilů a lze tak s auty zacházet „souhrnně“, můžeme tok provozu popsat pomocí diferenciálu rovnice v spojitém modelu. [36]

2.8 Diskrétní simulace (z angl. Discrete-event simulation)

Simulace diskrétních událostí se týká modelování systému, který se vyvíjí v čase. Simulace je diskrétní, dynamická a stochastická. Stavové proměnné se mění okamžitě na základě reprezentujících izolovaných bodů v čase. Tzn. systém se může změnit v pouze spočítatelném množství bodů v čase. Body, u kterých je možné, aby došlo k události, musí mít definovanou událost jako okamžitý výskyt, který zapříčiní změnu stavu systému. Simulace diskrétních událostí lze koncepčně provést ručními výpočty, avšak množství dat, která musí být uložena a manipulována pro většinu systémů v reálném světě, předurčuje provádění diskrétních událostí pomocí simulace na počítači. [36]

2.9 Metodika simulace

Proces vytváření simulace je komplexní a časově náročný proces. Simulační projekt můžeme rozdělit do 11 základních kroků vycházející z manuálu k aplikaci Witness – Learning WITNESS Book One, Manufacturing Performance Edition vytvořené Lanner Group Ltd v roce 2016 [39] a budou doplněny informacemi od autora Jerry Banks [35]. Tyto kroky lze obecně rozdělit na 2 fáze viz Obr. č. 9 – na fázi plánovací a na samotnou tvorbu simulace. 1. Formulace problému a cílů 2. Obsah a úroveň detailu modelu, jsou součástí fáze plánovací, body 3. - 11. se týkají samotné tvorby simulace.



Obr. č. 9: 11 základních kroků simulačního projektu (zpracováno dle [35] [39])

Cílem plánovací fáze je vytvoření plánu projektu, během kterého je **formulován konkrétní problém a cíle** simulace, je prověřena **vhodnost simulace** viz Obr. č. 9.

1. Formulace problému

Každý simulační projekt by měl začít definicí problému. V této fázi by se měl sejít zadavatel a tvůrce simulačního modelu. Problém by měl být pochopen všem zúčastněnými. V této fázi bychom měli být schopni odpovědět na otázku, zda bude pomocí simulace dosaženo, nedosaženo daných cílů. Zda je simulace vhodná závisí především na typu řešeného problému. Někdy je proces vytváření simulace natolik přínosný, že takto získané podstatné znalosti lze následně využít jako podmínky ke zlepšení. Na druhou stranu se také může zjistit, že simulace je nevhodným řešením, zde uvádí Gibson a Banks 10 pravidel, která jsou jasnými indikátory nevhodnosti. Jedná se o případy, kdy lze využít jiných řešení např. selský rozum, analytická řešení. Také můžeme během plánovací fáze dojít ke zjištění, že nemáme dostatek dalších potřebných zdrojů, jako jsou např. lidské zdroje (vzdělané v oboru), data a čas. Taktéž finanční prostředky jsou důležitým faktorem, pokud lze provést reálné experimenty na fyzickém pracovišti za nižších finančních nákladů, než jsou náklady na samotnou simulaci, stává se simulace nevhodnou. [40] Může se tedy stát, že po setkání všech zúčastněných stran dojde k přeformulování zadání.

V rámci simulačního projektu je nutné myslet i na formální stránku věci. Simulační projekt je projekt jako každý jiný, tudíž i zde bude podléhat projektovému řízení. Součástí projektu by měly být i písemné dohody především o době trvání simulačního projektu, rozsahu plánu a postupu simulačního projektu, cílech simulačního projektu, nákladech na simulační projekt a v neposlední řadě stanovení podkladů, které je v rámci projektu nutné vypracovat. Dohody podepisují všichni zúčastnění. Dohody zajišťují prokazatelnou informovanost všech účastníků a předchází zbytečným nedorozuměním. [41]

2. Obsah a úroveň detailu modelu

Tvorba modelu je umění i věda zároveň, jak tvrdí Banks. Tvůrce k zadání nikdy nedostane kompletní instrukce, jak postupovat krok za krokem. Má k dispozici pouze základní principy, podle kterých postupuje, stejně jako my v této práci. Umění vytváření modelů spočívá ve schopnosti abstrahovat základní rysy problému, tzn. nahlížet na problém optikou simulačního nástroje, vybírat a upravovat základní předpoklady, které charakterizují systém tak, aby vznikla užitečná aproximace. [35]

Při jednání o rozsahu simulace je nutné vymezit začátek a konec simulace. Zlaté pravidlo praví modelovat nejnужnější minimum nutné k dosažení cíle modelu. Přestože obecně více podrobností vede ke zestručnění, v našem případě přidání zbytečných detailů by mohlo vést ke snížení přesnosti modelu. Witness Horizon nám umožňuje např. celý stroj nahradit jedním prvkem simulace, čímž odpadá přílišná detailnost, avšak tento přístup vyžaduje apriori znalost konkrétního simulačního nástroje. [39]

3. Formulace cílů

Ten, kdo simulaci vytváří, by měl být ztotožněn s cíli a následně být schopen aplikovat v kontextu simulace vhodné řešení. Cílem simulace není vytvořit reálnou „kopii“, ale vyzdvihnout ty informace, které mají v kontextu simulace smysl a následně na základě analýz vycházejících ze simulace učinit strategické rozhodnutí. Plánovací fázi není dobré podceňovat. Může nám totiž přinést velice důležité odpovědi nejen na otázky týkající se samotné vhodnosti simulace. [39] [35]

Dalším krokem je stanovení dílčích úkolů (formulování konkrétních menších cílů), včetně sledování pro nás podstatných vlivů (např. směnný kurz) a vzájemných vazeb mezi jednotlivými cíli. Nechybí zde stanovení hlavních otázek, kterým bude potřeba věnovat pozornost, stanovení hranic systému a rozhraní systémového okolí, stanovení měrných veličin,

také by mělo být zřejmé, zda se jedná o jednorázovou nebo opakovanou (vícenásobnou) simulaci (např. s ohledem na výběr dodavatele atd.).

4. Sběr dat a jejich analýza

„Zásadní chybou je teoretizovat dřív, než má člověk data. Jinak člověk začne přizpůsobovat fakta teoriím, místo aby přizpůsoboval teorie faktům.“

(S. Holmes /A. C. Doyle/)

Sběr dat je časově náročný, proto je dobré začít se sběrem dat co nejdříve souběžně s následující 5. fází – Návrh modelu. Je obvyklé, že dojde ke komplikacím typu – máme nebo nemáme potřebné informace v dané kvalitě. Data potřebná pro simulaci řadíme do některé z následujících kategorií:

- Dostupná – Data jsou dostupná buď v elektronické nebo papírové formě.
- Dostupná a schopná sběru – Nejenom, že jsou data dostupná, ale můžeme provést analýzu dat a vybrat pro nás ta data, které jsou pro naši práci relevantní.
- Nedostupná a nemožná sběru – Pakliže nastane tato varianta, stále můžeme použít odhady, které lze získat:
 - Použitím dat výrobců – Data lze dohledat např. v příručkách strojů.
 - Citlivostní analýza

Ať už potřebná data získáme jakkoliv, je potřeba doložit na jakých informacích/předpokladech je model založen.

5. Návrh modelu

Posledním podstatným krokem před vytvořením simulačního modelu je jeho struktura viz Obr. č. 9. Jsou vyzdvíženy nejobtížnější oblasti pro vytváření modelu a doplněny další požadavky na data, které až dosud mohly být přehlédnuty, například čas přenosu mezi částmi. Návrh modelu má obvykle podobu náčrtu schématu, které má být modelováno. Plán by měl identifikovat, který prvek WITNESS (nebo soubor prvků) má být použit k modelování každého procesu v reálném životě. Dále zde mohou být zahrnuty další požadavky, které jsou pro nás klíčové. [39]

6. Vytvoření modelu a jeho ověření

Realizace modelu probíhá v konkrétním simulačním prostředí. Model se sestavuje postupně a po každé fázi je testován. Průběžné vytváření modelu nám pomáhá odhalit chyby snadněji, než pokud hledáme chybu v již vytvořeném modelu. V této fázi se nedoporučuje experimentování s modelem. Experimenty je vhodné vytvářet až v experimentální fázi, kdy je model dokončen, ověřen, jsou určeny metriky a výsledky simulací lze porovnávat. Hlavní kroky při vytváření modelu jsou vytváření prvků a jejich následné propojení s pravidly. Složitější logiku můžeme do svého modelu zabudovat také pomocí akcí. [39] Ověřením modelu je úzce spjata se 7. bodem – Spuštění simulace a myslí se tím jeho verifikace a validace.

Norma ISO říká, že validace je potvrzení objektivních důkazů, že byly splněny požadavky pro konkrétní zamýšlené použití nebo aplikaci. Objektivita je zajištěna výsledkem testu nebo jinou formou. Podmínky použití pro validaci mohou být skutečné nebo simulované. Verifikace simulačního modelu znamená kontrolu, která ověří, že namodelovaný systém je plně funkční [42]

Verifikace má zajistit, že měřicí zařízení (v našem případě simulace) vyhovuje požadavkům pro jeho zamýšlené použití a je vhodným řešením. Dále požadavky obsahují informace o rozsahu, rozlišení a maximální přípustné chybovosti. [42]

7. Spuštění simulace

Po splnění předcházejících kroků simulaci spustíme.

8. Experimenty

Jak bylo zmíněno výše, experimenty se provádí, jakmile je model plně nastaven a ověřen. Experimenty s modelem lze označit za „What-if analýzy“ resp. „Co se stane, když“. Experimenty se nedějí náhodně, řídí se podle plánu, který jsme si vytvořili. Experimenty jsou konzultovány s uživatelem.

9. Ověření výsledků a jejich analýza

Po experimentech probíhá analýza výsledků. Je ověřena přijatelnost výsledků a kvalita výsledků z hlediska řešení problému ověřená testem. Neméně důležitá je diskuse se zákazníkem o dalších simulačních opatřeních (pokud nejsou výsledky uspokojivé), např. opakování důležitých kroků až do ověření výsledku

10. Dokumentace

Podstatné je provádět záznamy průběžně, aby bylo možné simulaci reprodukovat. Dokumentace obsahuje:

- Dokumentace modelu
- Dokumentace experimentů s modelem
- Reporting výsledků

11. Prezentování výsledků a implementace

3 Analytická část

V rámci analýzy je popsána organizační struktura, globální analýza procesů. Detailní analýza se zaměřuje na výrobu satorových cívek, konkrétně na činnosti odehrávající se na pracovišti tvarování. Pro účely nalezení plýtvání bylo provedeno pozorování na pracovišti. V rámci globální analýzy procesů jsou pospány informační systémy využívané ve společnosti podstatně pro řešení bakalářské práce.

3.1 O společnosti

Siemens AG je konglomerátní společnost patřící mezi největší výrobce elektroniky na světě. Siemens byl založen Wernerem von Siemensem v Berlíně roku 1847. Siemens a jeho dceřiné společnosti zaměstnávali k roku 2020 na 293 000 lidí ve 200 zemích. Meziročně tak Siemens celosvětově zaznamenal pokles o 23 %, důvodem jsou dopady COVID-19 zejména v oblastech obchodu a servisu. Především nejdříve postižená národní ekonomika Číny se vrací k růstu, ekonomiky v Americe a Evropě zůstávají nadále postižené. [43]

Součástí globálního technologického koncernu Siemens AG je skupina Siemens Česká republika. Působení společnosti Siemens na Českém území se datuje ke konci 19. století, kdy např. dodala osvětlení do Stavovského divadla, postavila městské elektrárny nebo zprovoznila v několika městech veřejné osvětlení. Po pádu komunismu se společnost navrátila a řadí se k největším zaměstnavatelům v České republice. Zaměřuje se na oblast výroby a distribuci elektrické energie, inteligentní infrastrukturu budov, distribuované energetické systémy a automatizaci a digitalizaci v zpracovatelském a výrobním průmyslu. [44]

Bakalářská práce je zpracována v podniku Siemens Electric Machines s.r.o. v Drásově, dále jen SEM Drásov. Historie založení podniku se datuje od roku 1912, kdy bratři Beranové založili továrnu na výrobu cihlářských strojů a v roce 1918 byly aktivity rozšířeny na opravu elektromobilů, v roce 1921 zde začíná výroba elektrických strojů a přístrojů. Během komunismu byl podnik znárodněn a v roce 1950 vzniká název MEZ Drásov. Závod v Drásově a jméno Siemens se spojilo až v roce 1994, kdy závod koupila společnost Siemens AG. [45]



Obr. č. 10: Siemens Electric Machines s.r.o. v Drásově

3.1.1 Výrobní program

Závod v Drásově se dnes zabývá výrobou synchronních generátorů, asynchronních a synchronních motorů, výrobou komponent, servisem a opravami. [45] V současné době tvoří hlavní náplň společnosti následující výrobky: synchronní generátory ve výkonech 500 kVA – 25 MVA, asynchronní a synchronní motory ve výkonech 500 kW – 20 MW, navinuté komponenty, segmentové plechy a buďiče a jiné komponenty pro závody Siemens. [46]

Synchronní generátory se uplatňují zejména na lodích, v lokomotivách, na vrtných plošinách v zařízeních s turbínami (plynové, parní), ve větrných elektrárnách, ve vodních elektrárnách. Synchronní a asynchronní motory jsou osazovány převážně do: čerpadel, ventilátorů, kompresorů, pásových dopravníků a drtičů. [46]

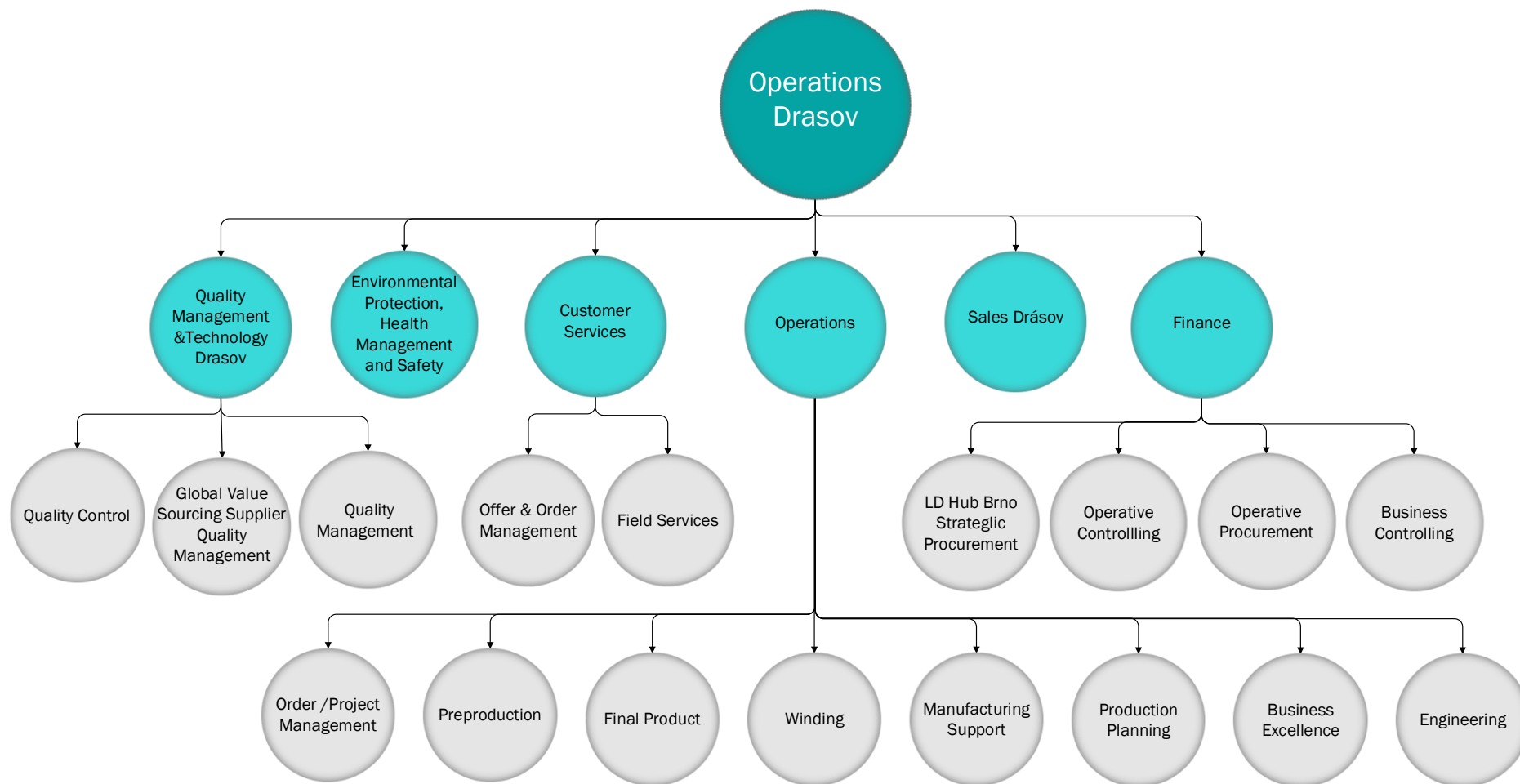
Společnost rozlišuje dva způsoby výroby, a to MTO a ETO. **MTO** (z angl. *Manufacturing to Order*) je výrobní proces, ve kterém výroba začíná po přijetí objednávky zákazníka. **ETO** (z angl. *Engineer to Order*) se liší od MTO tím, že před samotnou výrobou musí proběhnout fáze návrhu. Zahrnuje tak vytvoření celého produktu, který je vyroben na zakázku dle požadovaných specifikací zákazníka. Jedná se o komplikovaný proces a vyžaduje úzkou spolupráci mezi výrobní společností a klientem. [47]

3.1.2 Organizační struktura

„Každá společnost ví, že i minimální požadavky normy ČSN EN ISO 9001 vyžadují, aby vrcholové vedení deklarovalo tzv. politiku a cíle jakosti, naplánovalo tyto cíle pro jednotlivé organizační úrovně, přezkoumávalo systém managementu jakosti, vymezilo odpovědnosti a pravomoci pomocí organizační struktury apod.“ [48] SEM Drásov má certifikaci ČSN EN ISO 9001, tudíž splňuje výše uvedené požadavky na tuto normu. Organizační struktura společnosti je zobrazena na Obr. č. 11.

Vzhledem k velikosti Siemens je i organizační struktura velice spletitá. Abychom nezacházeli do pro tuto práci nepodstatných detailů, bude zde pouze zmíněno, že SEM Drásov je součástí LDA (Large Drives Applications), kam také spadají další společnosti, které pod značkou Siemens vyrábí těžké elektrické pohonné systémy pro střední a vysoké napětí, speciální velké pohony pro lodě, doly a válcovny. S příchodem digitalizace výroby nabízí tento sektor i služby využívající znalosti dané problematiky. Jedná se např. o řešení udržující výkony strojů a o maximalizaci dostupnosti nabízených pohonů. LDA je jedna ze šesti druhů portfoliových společností⁷. Tyto společnosti jsou decentralizované, flexibilní a agilní, což jim umožňuje rychle rozhodovat, být konkurenceschopní a zaměřit se na zákazníka. [49]

⁷ Mezi šest portfoliových společností patří: LDA (*Large Applications*), které jsou pospány výše, *Siemens Logistics*, soustředí se na vývoj a aplikaci cytrých řešení pro logistiku, *Commercial Vehicles* produkuje inovativní systémy pro komerční elektrická vozidla, *Mechanical systems and components* se soustřeďuje na technologii zpracování plechů a jako poslední se zde nachází *Portfolio Companies Investment*. Dále dochází k členění těchto kategorií. [49]



Obr. č. 11: Organizační struktura (vlastní zpracování dle intranetu společnosti)

Quality Management & Technology Drasov

Oddělení kvality zodpovídá za řízení systému kvality a dokumentace procesů, zabývá se interními audity.

Environmental Protection, Health management and Safety

Toto oddělení má na starost náležitosti související s BOZP, kontrolami, školeními, ochranou životního prostředí.

Customer Service

Oddělení zákaznického servisu zpracovává nabídky a objednávky, také zajišťují servis a vyřizují případné reklamace.

Operations

Výroba je dějištěm transformačního procesu, kde se fyzicky vstupy mění na výstupy, ale zdaleka sem nespadá jen jedno oddělení. *Projektový management* má na starosti jednotlivé výrobní projekty, jejich rozplánování a kontrolu dodržování plánu. *Předprodukce* se zabývá zajišťováním výroby a plánováním. Výroba se neděje jen v Drásově, ale také v Brně v úzké kooperaci se Siemens v Německu. *Final Product* se rozumí veškeré dokončovací práce jako jsou montáž, kontroly a zajištění dokumentace o výrobku pro zákazníka. *Winding* je oddělení specializující se na vinutí mědi. *Manufacturing Support* je uskupení oddělení starající se o plynulost výroby, čímž se rozumí např. vytváření přípravků pro výrobu, správa informačních technologií, potřeby zaměstnanců a veškeré agendy. *Production Planning* plánuje produkci, zajišťuje plynulost navazujících procesů, vyhodnocuje stávající stav. *Business Excellence* má na starosti popis procesů, vytváření layoutů, zabývá se měřením práce a zlepšováním procesů. *Engineering* je oddělení zabývající se nejenom vypracováním a správností výrobních dokumentů.

Sales Drasov

Toto oddělení má na starost prodej a další nezbytné procesy, které jsou v této souvislosti pro podnik nutné.

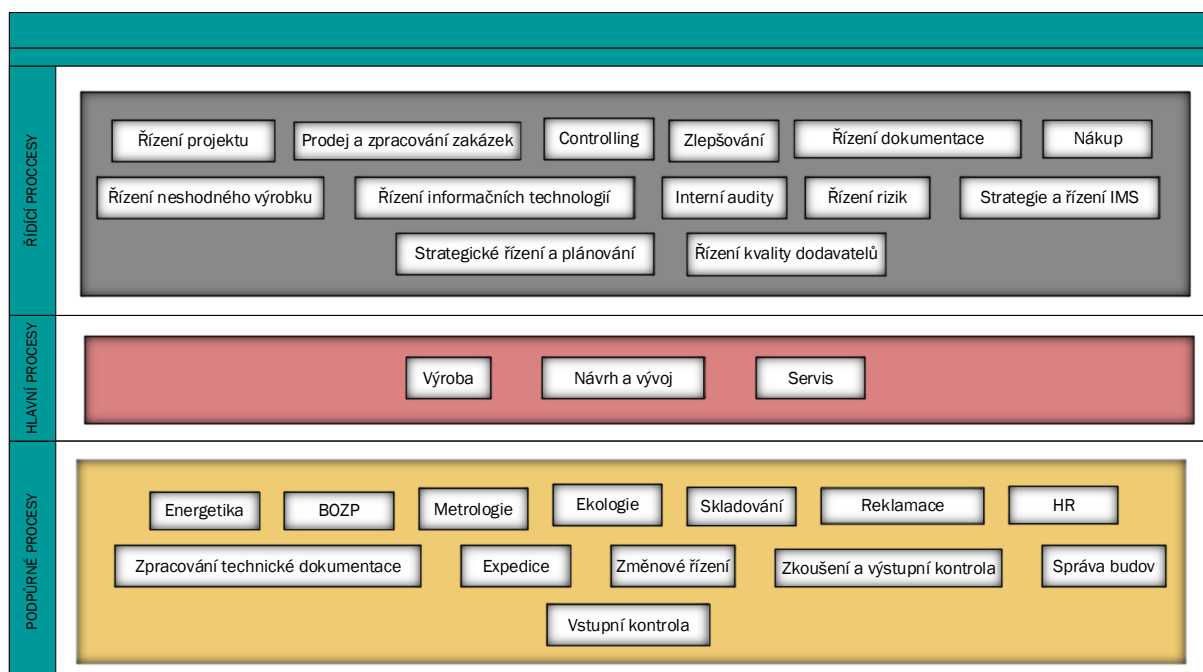
Finance

Oddělení financí má na starost v první řadě controlling, strategické a operativní zásobování.

3.1.3 Globální analýza procesů

Procesy je možné dělit například podle důležitosti a účelu do tří základních skupin procesů a jejich rozdělení zobrazuje Obr. č. 12: Každý z těchto procesů plní v podniku jiné funkce. Pro správné fungování každé organizace je potřeba, aby všechny skupiny procesů a jednotlivé procesy, které jsou v nich zastoupené, fungovaly co nejlépe s velkým synergickým efektem. Procesně řízená organizace své aktivity pouze neřídí, ale také je schopná své procesy měřit a vyhodnocovat. Tento přístup může odhalit nedostatky pro tvorbu strategie postavení podniku na konkurenčním trhu a v neposlední řadě efektivně řídit procesy. [2]

V SEM Drasov jsou procesy řízeny, jak můžeme vidět viz Obr. č. 12. U každého definovaného procesu známe: vlastníka procesu – tedy toho, kdo za proces zodpovídá, cíl procesu – k čemu daný proces slouží, ukazatele výkonnosti – jakým způsobem proces měřit a jaké parametry máme sledovat, čímž společnost splňuje ČSN EN ISO 9001.



Obr. č. 12: Členění procesů ve společnosti (vlastní zpracování dle [46])

Každý proces má svého vlastníka, jak bylo uvedeno v kapitole 0, kterého lze dohledat v organizační struktuře společnosti na Obr. č. 11. Procesy 4) Řízení informačních technologií a 18) HR sice své vlastníky mají, avšak v organizační struktuře nejsou uvedeni, jelikož organizačně spadají pod externí společnosti. Procesy 7) Nákup, skladování; 8) Vstupní kontrola, řízení kvality dodavatelů; 0) Servis, reklamacce, jsou v obrázku výše z důvodu svých charakteristik rozděleny a zařazeny do odlišných skupin, avšak detailní popis k těmto výše zmíněným procesům bude v následujícím textu proveden souhrnně. Popis těchto procesů je doplněn přehledovými tabulkami uvedenými v příloze, kde jsou uvedeny odpovědnosti za proces, jeho vstupy, výstupy a ukazatele.

1) Prodej a zpracování nabídek

Společnost při řešení jednotlivých zakázek určuje požadavky specifikované zákazníkem, požadavky nezbytné pro specifikované nebo zamýšlené použití, zákonné požadavky, požadavky legislativy v oblasti životního prostředí a BOZP, požadavky předpisů vztahující se k produktu, energetické náročnosti výroby, provozování produktu a další doplňující požadavky. Postup určování požadavků specifický pro jednotlivé zakázky je stanoven postupy jakosti. Společnost před odesláním nabídky nebo potvrzením objednávky nebo přijetím změn přezkoumává požadavky týkající se poskytovaného produktu a zajišťuje stanovení požadavků na tento produkt tak, aby byla zajištěna schopnost splnit stanovené požadavky na produkt včetně požadavků legislativy v oblasti životního prostředí, BOZP, energetickou náročnost a jiné specifické požadavky. Postup přezkoumávání požadavků na produkt je stanoven v postupu jakosti. Požadavky na ochranu životního prostředí, které definuje zákazník nebo jsou stanoveny interně, mohou být tedy součástí technické specifikace viz příloha. [50]

2) Řízení projektu

Společnost plánuje a vyvíjí procesy potřebné pro realizaci svých produktů. Plánování a realizace produktů je ve shodě s požadavky ostatních procesů Příručky integrovaného systému řízení, dále jen IMS (Příručka kvality). Plánování realizace produktů vychází z plánu obratu na obchodní rok, rozpracovává se do plánu zakázek na jednotlivé měsíce. Kontroly plnění plánu obratu se projednávají na poradě vedení. Činnosti s tím související jsou stanoveny v postupech jakosti. Vedoucí zaměstnanci na všech úrovních řízení jsou odpovědní za řízení procesů v souladu s politikou IMS. viz příloha Tab. 2. [50]

3) Řízení neshodného výrobku

Tento postup jakosti zabezpečuje, že produkt, který není ve shodě se specifikovanými požadavky, je identifikován a řízen, aby se zabránilo jeho nezamýšlenému použití nebo dodání viz příloha Tab.3. Řešení reklamací je popsáno v postupu jakosti. V případě výskytu závažné neshody nebo problému nebo v případě jejich opakování se dle postupu jakosti přijímají nápravná opatření. [50]

4) Řízení informačních technologií

Společnost řídí informační technologie a tím vytváří a udržuje informační systém, který optimálně využívá potenciálu dostupných zdrojů z oblasti informačních technologií k maximální podpoře podnikových cílů viz příloha Tab 4. Informační systém je udržován a provozován na základě stanovených pravidel, které musí dodržovat všichni uživatelé systému. [50]

5) Controlling

Jedná se o koordinační strategii, pomocí které vedení a odpovědné osoby mohou usměrňovat chod podniku. Předmětem controllingu je nejen vnitřní situace podniku, ale i jeho koncepce, finance a vztahy s věřiteli a konkurencí. [50] Díky průběžným informacím je vedení společnosti reagovat odpovídajícím způsobem viz příloha Tab. 5. Controlling čerpá informace z manažerského a finančního účetnictví. [51]

6) Řízení dokumentace

Záznamy vytvářejí odpovědní zaměstnanci na základě ustanovení organizačních a řídicích aktů společnosti, výrobní dokumentace, rozhodnutí orgánů státní správy a ustanovení právních předpisů. Řízení organizačních řídicích aktů – jejich navrhování, zpracování, uvolnění, přezkoumání, schválení, vydání, seznámení, distribuce, evidence, provádění změn a archivování viz příloha Tab 6. Záznamy jsou ochráněny proti vlivům, které by mohly způsobit jejich znehodnocení nebo zničení a jsou zabezpečeny před ztrátou, neoprávněnou manipulací nebo zneužitím. Neaktuální dokumenty jsou okamžitě staženy a zlikvidovány. [50]

7) Nákup, skladování

Společnost nakupuje jen takové výrobky a služby, které vyhovují specifikacím pro nakupování. Postup je popsán v postupu jakosti, kde je rovněž popsán postup výběru a hodnocení dodavatelů. Při nakupování energetických služeb, produktů a vybavení s potenciálním vlivem na významná užití energie informuje dodavatele o tom, že jsou nabídky z části hodnoceny na základě energetické náročnosti. Proces nakupování začíná specifikací výrobku, který se má nakoupit. Tato informace o nakupování popisuje v odpovídajících případech i požadavky na schvalování výrobku, postupů, procesů a zařízení, požadavky na kvalifikaci zaměstnanců. Společnost zajišťuje přiměřenost specifikací pro nákup před jejich sdělením dodavateli. Společnost stanovuje a uplatňuje činnosti nezbytné pro zajištění, že nakoupený produkt splňuje specifikace definované před jeho nakoupením. Součástí postupu jakosti je stanovení způsobu uplatnění reklamace v případě, když produkt nesplňuje stanovené nebo předpokládané specifikace viz příloha Tab. 7. [50]

8) Vstupní kontrola, Řízení kvality dodavatelů

Postup plánování, přípravy, realizace a vyhodnocení auditů u dodavatelů je stanoven postupem jakosti. Kritéria výběru a hodnocení dodavatelů školení jsou stanoveny postupem jakosti viz příloha Tab. 8. Záznamy o výsledcích hodnocení a výběru dodavatelů jsou udržovány. [50]

9) Interní audity

Ve společnosti se plánují a provádějí interní audity, aby se určilo, zda Integrovaný systém řízení vyhovuje plánovaným činnostem, požadavkům normám ISO a společností stanovených požadavkům na integrovaný systém řízení a jsou efektivně uplatňovány a udržovány viz příloha Tab. 9. Postup plánování, přípravy, realizace a vyhodnocení interních auditů i je stanoven postupem jakosti. Program auditu je plánován s ohledem na stav a důležitost procesů a oblastí, které se mají podrobit auditu, a také na výsledky předchozích auditů. Volba interních auditorů a provádění interních auditů zajišťuje objektivitu a nestrannost procesu auditu. Auditóři neprovádějí audit své vlastní práce. Postup jakosti rovněž stanovuje odpovědnosti a požadavky na plánování a provádění auditů, na předkládání protokolů o výsledcích a na udržování a archivaci záznamů. V případě zjištění neshod se postupuje podle příručky. [50]

10) Řízení rizik

Management společnosti řídí rizika v rámci svých činností. Dodržování metodiky a implementace risk managementu je součástí integrovaného systému řízení. Vlastník rizika odpovídá za rizika identifikována v rámci jeho působnosti viz příloha Tab. 10. Má na starosti řízení a monitorování rizik, která vlastní, včetně implementace opatření/akčních plánů. [50]

11) Výroba

Výroba v SEM Drásov probíhá různými výrobními procesy. Konkrétně MTO, ETO, jak bylo zmíněno v 3.1.1. Oba procesy začínají po přijetí objednávky zákazníka, což znamená zahájení objednávky materiálu a komponent od dodavatelů viz příloha Tab. 11. Pracoviště jsou plánována tak, aby byl optimalizován pohyb surovin, polotovarů a výrobků se zabezpečením optimálního toku. Průběžně je prováděna optimalizace činností a pracovišť s ohledem na:

- zásady štíhlé výroby
- efektivního využití energií, surovin a materiálů
- snižování negativních dopadů činností, výrobků a služeb společnosti
- zlepšování prevence a péče o životní prostředí
- zvyšování úrovně bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- zajištění vysoké úrovně hygieny práce
- zvyšování efektivnosti a bezpečnost výrobku [50]

12) Servis a reklamace

Společnost přijímá oprávněné reklamace, kterými se zabývá reklamační řízení. Opravu je možno provést jak u zákazníka, tak v závodě. V případě provedení opravy u zákazníka je určena servisní skupina. V rámci reklamačního řízení jsou vystaveny podklady a specifikace pro diagnózu. Servis i reklamace zahrnuje montáž, demontáž zařízení a provedení opravy viz příloha Tab. 12. [50]

13) Návrh a vývoj

Společnost plánuje a řídí návrh a vývoj podle postupu jakosti. V průběhu zajišťování návrhu nebo vývoje určuje jeho etapy, stanovuje jmenovité odpovědnosti a pravomoci a výsledky jednotlivých etap přezkoumává. Společnost řídí rozhraní mezi útvary projektů a zajišťuje efektivní komunikaci mezi nimi. Analyzováním a shromažďováním údajů z českého a zahraničního trhu se zabývají prodejci v jednotlivých regionech. O výsledcích analýz informují naši společnost na pravidelných poradách. [50]

Útvary, které se podílejí na vývoji, mají za úkol vyvíjet výrobky nezatěžující životní prostředí a odpovídají právním požadavkům z oblasti BOZP, jsou energeticky nenáročné a případně vyhovují i

jiným předpisům. V podmínkách naší společnosti zahrnuje environmentální přístup v oblasti návrhu a vývoje výrobků zejména zajištění informací o vstupních surovinách prostřednictvím bezpečnostních a materiálových listů. Je kladen důraz na vhodný výběr, případně náhrady vstupních materiálů a pomocných přípravků (nátěrů, impregnantů, izolantů a těsnění, řezných emulzí aj.) s ohledem na působení na životní prostředí. Ekologická nezávadnost výrobků ve stádiu vývoje se prověřuje a dokumentuje v průběhu všech etap vývoje viz příloha Tab. 13. Ve fázi návrhu a vývoje aplikují zaměstnanci naší společnosti do finálního produktu požadavky týkající se bezpečnosti výrobků, zároveň všechny součásti navrhují v souladu s bezpečnostní předpisy pro výrobu. [50]

14) Zpracování technické dokumentace

Společnost dohlíží na bezchybné zpracování a pořízení konstrukční dokumentace a vystavení výrobních podkladů viz. příloha Tab. 14. [50]

15) Změnové řízení

Společnost uplatňuje velké množství komunikačních prostředků pro informování zákazníka o výrobku, při vyřizování poptávek, smluv nebo objednávek, včetně jejich dodatků a zajištění zpětné vazby od zákazníka, včetně stížností a monitorování spokojenosti zákazníka viz příloha Tab. 15. [50]

16) Zkoušení a výstupní kontrola

Společnost monitoruje a měří znaky produktu, aby si ověřila, zda požadavky na produkt byly splněny. Tato měření se provádějí ve stanovených etapách procesu realizace produktu, prostřednictvím zaměstnanců vstupní kontroly, mezioperační kontroly ve výrobě, zaměstnanců zkušebny a výstupní kontroly viz příloha Tab. 16. Uvolnění produktu nepokračuje, dokud nejsou uspokojivě dokončeny plánované činnosti a pokud to příslušný orgán, popřípadě zákazník neschválí jinak. Monitorování a měření je popsáno v postupech jakosti. [50]

17) Expedice

Společnost monitoruje informace týkající se vnímání zákazníka, pokud jde o to, zda společnost splnila požadavky zákazníka viz příloha Tab. 17. Činnosti při monitorování jsou stanoveny v postupech jakosti. Informace se získávají prostřednictvím osobního jednání nebo dotazníků. [50]

18) Personalistika

Na všechny zaměstnance společnosti a jejich funkce, a tím i zaměstnance, kteří jsou pověřeni odpovědnostmi, jsou stanoveny požadavky na jejich vzdělání, znalosti a dovednosti. SEM Drásov zajišťuje odborný výcvik tak, aby byly pokryty požadavky na odbornou způsobilost zaměstnanců viz příloha Tab. 18. V případě rozdílu mezi požadavky a skutečností ve znalostech a dovednostech, ale i na základě pohovorů se zaměstnancem nebo individuálního plánu přípravy je zaměstnanci zajišťováno školení. [50]

19) Metrologie

Činnosti týkající se řízení monitorovacích a měřících zařízení a povinnosti společnosti dané zákonem o metrologii jsou stanoveny postupem jakosti. Činnosti při monitorování a měření jsou stanoveny v kontrolních a technologických předpisech. U všech měřících a monitorovacích zařízeních, jimiž se poskytuje důkaz o shodě produktu, jsou stanoveny kalibrační lhůty a je o nich vedena evidence. Kalibrace se provádí jak externím způsobem, tak interně viz příloha Tab. 19. [50]

O provedené kalibraci se provádí záznam, z něhož je jasné, na jaký etalon je měřící zařízení navázáno. Monitorovací a měřící zařízení je identifikováno způsobem, z něhož lze určit status kalibrace. Všichni uživatelé monitorovacích a měřících zařízení jsou proškoleni o způsobu používání těchto zařízení. Tím je zajištěna správnost výsledků. V případě, že se zjistí, že monitorovací nebo měřící zařízení je mimo kalibrační stav, je prověřován možný dopad na kvalitu již hotových výrobků, životní prostředí a BOZP a v případě potřeby jsou stanovena opatření. Měřící software má charakter výše uvedených monitorovacích a měřících zařízení a veškeré činnosti seřídí stejnými pravidly. [50]

20) Ekologie

Při určování požadavků týkajících se produktu jsou zvažovány environmentální aspekty ve společnosti SEM DRÁSOV, které jsou výsledkem činností spojených s výrobou a ovlivňují životní prostředí různým stupněm a různou četností výskytu. V případě, že environmentální aspekty mohou mít nebo mají vliv na životní prostředí, jsou identifikovány, evidovány a stanoveným postupem vyhodnocovány v registru viz příloha Tab. 20. [50]

21) BOZP

BOZP identifikuje nebezpečí, hodnotí a řídí rizika. Rizika jsou ve společnosti vyhodnocována na základě analýzy a významná rizika jsou zohledňována při stanovování cílů a programů viz příloha Tab. 21. Významná rizika jsou ve společnosti řízena a jsou k nim přijímána nápravná opatření a preventivní opatření. [50]

22) Energetika

Ve společnosti je posuzována energetická náročnost. Energeticky významná zařízení jsou evidována v registru a pravidelně podle stanovené metodiky vyhodnocována viz příloha Tab. 22. U každého energeticky významného zařízení jsou identifikovány možnosti snížení spotřeby energie. V případě zjištění nestandardních hodnot při vyhodnocení jsou přijímána opatření k nápravě. [50]

23) Správa budov

Společnost zajišťuje provoz a správu budov s cílem zajistit optimální podmínky pro výrobu kvalitních produktů a bezpečnou práci zaměstnanců viz příloha Tab. 23. Při těchto činnostech zohledňuje bezpečnostní, ekologické a energetické požadavky dané legislativou a interními předpisy Siemens. [50]

24) Zlepšování

Společnost neustále zlepšuje vhodnost, přiměřenost a efektivnost IMS, a to využíváním politiky IMS, cílů a programů, projektů na zlepšování, výsledků auditů, analýzy údajů a týkající IMS, opatření k nápravě, preventivních opatření, zlepšovacích návrhů a přezkoumání managementu. Podnětem pro uložení preventivního opatření je zjištění možnosti výskytu neshody nebo rizikového stavu. Mezi hlavní nástroje ke stanovení a realizaci preventivních opatření patří FMEA⁸ v průběhu návrhu a vývoje nových výrobků a uplatňování metodiky viz příloha Tab. 14. [50]

3.2 Výroba

3.2.1 Řízení výroby

V SEM Drásov jsou politika, plánování, mise, vize specifikovány v IMS. Každý úsek má viz Obr. č. 11 na operativní úrovni svůj plán, který následuje. Konkrétně naše společnost klade důraz např. na tyto oblasti ve svém strategickém řízení:

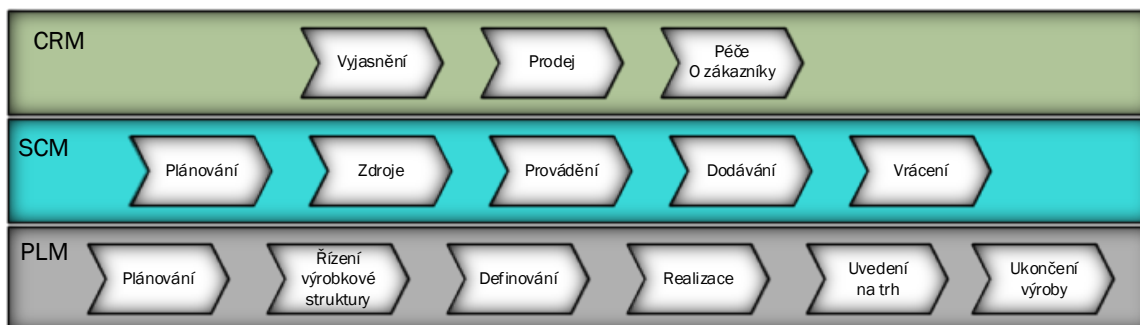
- Konkurenceschopnost
- Inovace
- Digitalizace výroby
- Prvotřídní úroveň zaměstnanců
- Kultura práce bez chyb a úrazů
- Environmentální prostředí
- BOZP
- Snižování energetické náročnosti aj. [50]

3.2.2 Výrobní informační systémy

Aby bylo možné efektivně podnik řídit, je vhodné využít podpory rozhodování v podnikových informačních systémech. Ve společnosti SEM Drásov je využíván pro řízení projektů ERP systém SAP. Tento systém je integrován s dalšími systémy a to PLM (z angl. *Product Lifecycle Management*), SCM

⁸ Z angl. *Failure Mode and Effects Analysis*, analýza možného výskytu a vlivu vad [25]

(z angl. *Supply Chain Management*) a CRM (z angl. *Customer Relationship Management*) a s MES (z angl. *Manufacturing Execution System*). Implementované funkcionality systémů PLM, SCM a CRM jsou uvedeny na Obr. č. 13.



Obr. č. 13: Operativní procesy (zpracováno dle [50])

MES systém PAP (Papier Arme Produktion) vznikl v Siemensu v Bad Neustadt nacházející se v Německu. PAP byl následně přejat i dalšími závody. Implementace systému proběhla v SEM Drásov v roce 2017. PAP můžeme označit za frontend⁹ SAPu. Daný pracovník má po přihlášení vhléd do SAPu. Vidí zde např. zásobu práce, kterou mu naplánoval mistr a má možnost skrze PAP práci odhlašovat, dále má možnost zobrazit si potřebnou dokumentaci (výkresová dokumentace, bezpečnostní listy, technické postupy). Zadané informace se uloží pod číslo dané výrobní, zákaznické zakázky do elektronického výkazu systému SAP. Zde je přehledně zobrazeno, kdo práci vykonal, přehled časů, kdy byla zakázka odhlášena a na tomto základě jsou následně propočteny výkony jednotlivých zaměstnanců a středisek. PAP je již umístěn na všech, pro podnik strategických místech, v podobě stacionárně výrobních terminálů. V roce 2021 je na některých pracovištích testována eliminace papírové dokumentace, avšak stále dochází k tisku výrobní dokumentace z následujících důvodů:

- postupné přeučení zaměstnanců, především starší generace
- není nahrána veškerá dokumentace, která je klíčová pro zaměstnance
- nemožnost vzít si pevně ukotvený PAP přímo ke stroji a výkres si zobrazit, zkrátka papírová dokumentace je v tomto ohledu k „přenášení“ pohodlnější.

Redukování papírové dokumentace dochází k odstranění plýtvání, a to konkrétně v podobě: zbytečné chůze, čekání na vytištění zakázky, duplicitní tisk v případě ztráty, snížení nákladu na tisk. Nespornou výhodou zavedení bezpapírové dokumentace je možnost rychlé reakce na změny. PAP lze spouštět přes všechny webové prohlížeče a je kompatibilní s každým operačním systémem, a díky tabletům, které jsou zde momentálně testovány, jsou v rámci závodu informace dostupné kdekoli a kdykoli. PAPy lze v budoucnu rozšířit a použít je např. pro přivolání interní dopravy nebo čtení QR kódů. Bezpapírová dokumentace má také svá negativa, která nebývají příliš diskutována. Přestože má bezpapírová dokumentace svá pro, má také svá proti. Zrealizovat bezpapírovou výrobu je finančně náročné – investice do vybavení, natažení sítě, propojení celého systému a náklady na správu a údržbu. Na následné sestavení ROI¹⁰ mnohdy není dostatek reálných dat, odpovídající skutečnosti. Bez důkladné znalosti procesů je ROI pro podnik takřka nicneříkající.

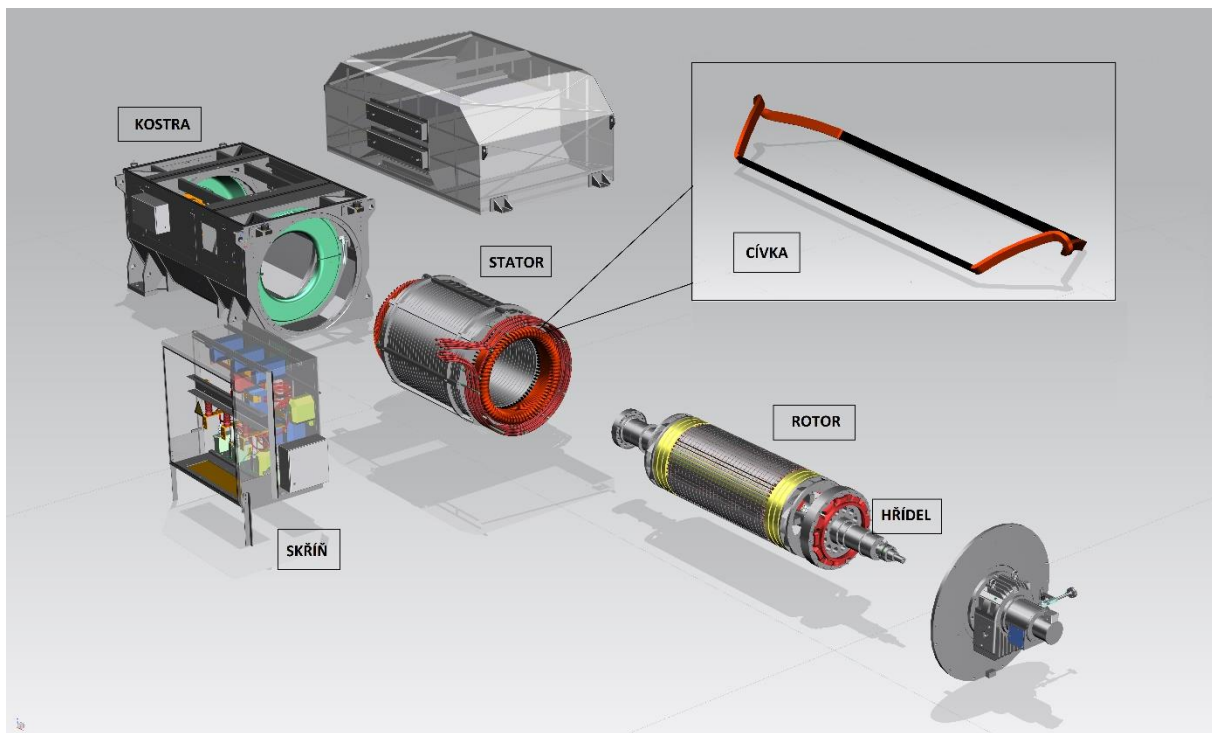
⁹ Frontend je anglické slovo požívající se mezi programátory, ale dnes i na veřejnosti. Frontend doslova znamená „přední konec“, tedy to, co je vidět. Frontend je označení pro to, co se zobrazí na obrazovce, tzn. ta část, kterou vidí v našem případě pracovník a umožňuje mu interakci se systémem. Oproti tomu technologie Backendu běží na serveru, klientem není vidět, avšak připraví na serveru vše potřebné pro zobrazení na frontend. [56]

¹⁰ Z angl. *Return on Investment*, Návrstnost investice lze vypočítat jako poměr výnosu či změny hodnoty investice k investovanému kapitálu, nebo poměr výsledku hospodaření k investicím. Návrstnost se počítá pro

3.3 Detailní analýza procesů

Vzhledem k povaze bakalářské práce se bude tato část věnovat operaci tvarování statorových cívek, jak nám zobrazuje Obr. č. 14. Snad čtenář promine strohost popisu elektrických točivých strojů. Popis je stručný vzhledem k povaze této práce a také z důvodu, že by při bližším popisu mohlo nedopatřením dojít k vynechání některých typů strojů, jejichž cívky jsou použity v této práci. V SEM Drásov se vyrábí mnoho druhů elektrických točivých strojů různých specifikací. Obecně můžeme říct, že se elektrický točivý stroj skládá z mechanické konstrukce, z elektrického obvodu, magnetického obvodu a chlazení. Elektrický a magnetický obvod nám dává vzniknout motoru, který se skládá ze statoru a rotoru. Jak stator, tak rotor má své vlastní jádro a vlastní cívky, přičemž rotor upevněn na hřídeli je vložen do statoru, který je upevněn v kostře.

Tvarování statorových cívek je pouze dílčí částí z mnoha výrobních procesů, které v SEM Drásov probíhá, aby byla zřejmá návaznost bezprostředně na sebe navazujících procesů, byla provedena detailní analýza. Na Obr. č. 15 jsou znázorněny procesy odehrávající se jak v kanceláři, tak ve výrobě. Rozhodně nevidíme všechny procesy, ale pouze ty, které jsou pro nás podstatné a mají vliv na pracoviště tvarování.

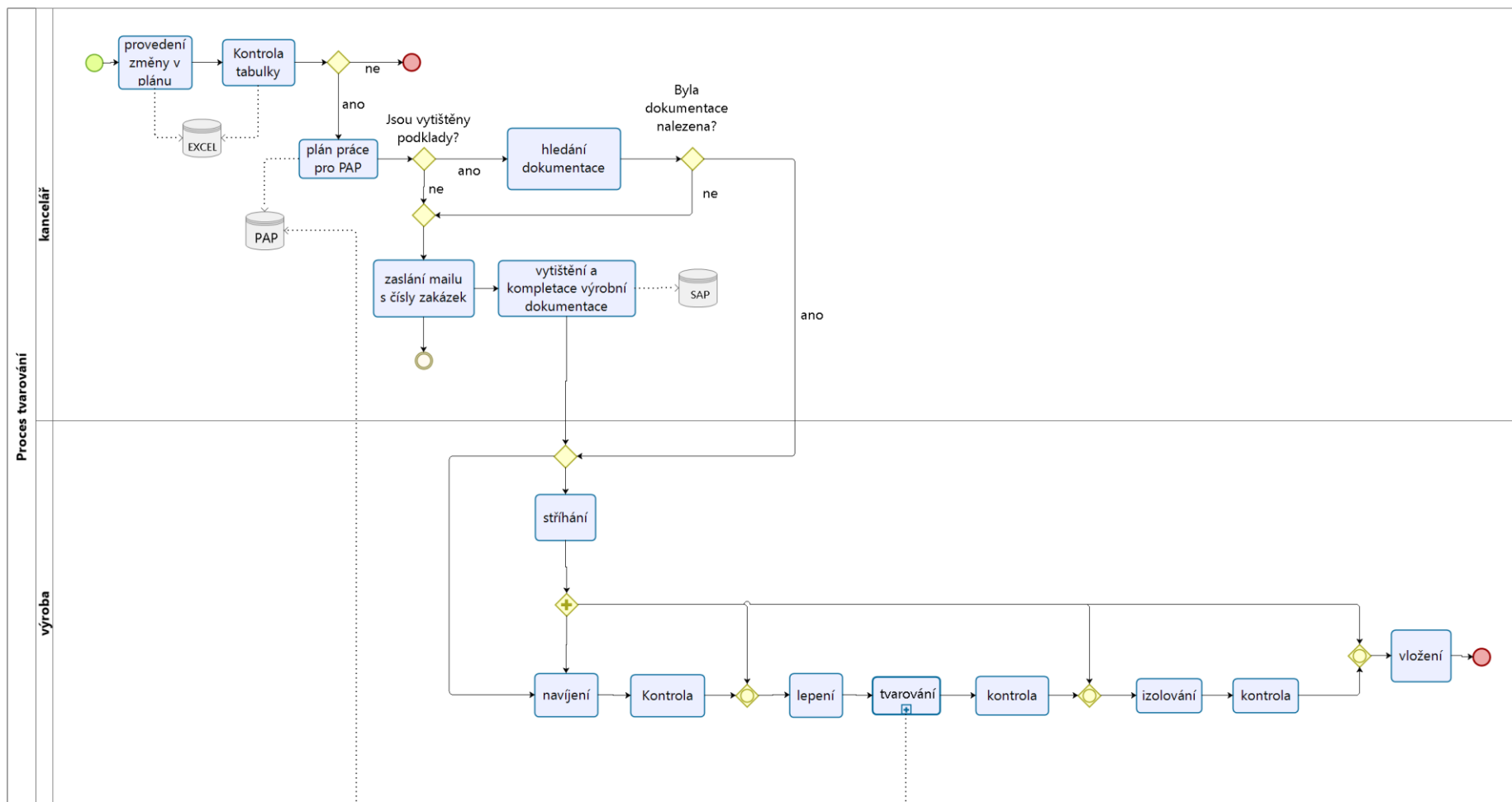


Obr. č. 14: Rozpad elektrického točivého stroje vyráběného v SEM Drásov

konkrétní případ, projekt, podnikatelský plán nebo jiný logicky oddělitelný úkon, u kterého lze spočítat zisky i celkové investice. Vyjadřuje se v procentech a vyhodnocuje se nejčastěji ročně, dá se však vyjádřit i za jiné období, anebo předpokládaným časem, za který kumulované výnosy splatí investovaný kapitál. [58]

3.3.1 Zadávání práce

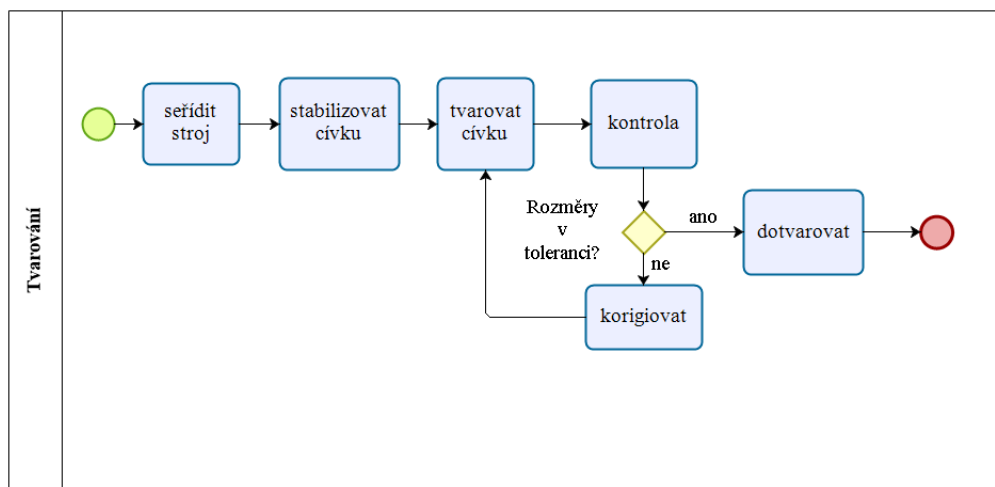
Proces zadávání práce a podkladů pro výrobu připravuje mistr a logistik. Mistr tvarování se řídí při zadávání práce dle plánů výroby v podobě Excel tabulky, podle které uvolní na týden zásobu práce do PAPu. Během dne monitoruje změny, ke kterým ve výrobě dochází. Dále vytvoří seznam se zakázkami a přidělenými prioritami, kterou zadává do pracovní tabulky v Excelu, do které promítá změny a tu pracovníkům na pracoviště vytiskne. Vytisknuté podklady putují na pracoviště stříhání, kde probíhá nastříhání izolačního materiálu, který je vstupním materiálem i pro další pracoviště v námi popsané mapě. Měď se navíjí a posléze lepí, kontroluje, a vzniká cívka. Cívka je tvarována, izolována, a nakonec je proces ukončen vložením cívky na pracovišti vložení do statoru, viz Obr. č. 15.



Obr. č. 15: Detailní mapa procesů

3.3.2 Pracovní postup

Z Obr. č. 15 vychází obrázek níže. Jedná se o bližší pohled na pracoviště tvarování.



Obr. č. 16: Detailní mapa procesů – subprocess tvarování

A) Seřídít stroj

V PAPu si pracovník vyhledá zakázku, na které bude pracovat v závislosti na pokynech od mistra. Dle výkresu, kusovníku, v případě +/- (A/B) cívek a přepočtu dat z přepočtové tabulky dle TIMS, vypočte obsluha vstupní data pro tvarování a zapíše do formuláře. Vyplněný formulář je uložen do složky u tvarovacího stroje. Korekce a tvarovací šablony se doplní po dosažení definitivního nastavení tvarovačky. Stejně údaje se zapisují i do řídicího systému stroje. Seřízení stroje probíhá dle provozního návodu stroje a může probíhat dle následujících scénářů:

- pracovník ručně zadá do systému všechny potřebné údaje a všechny korekce
- pracovník v systému stroje najde zakázku, některé údaje pozmění a ručně zadá korekce
- pracovník si v systému najde zakázku i korekce a některé údaje pozmění

B) Stabilizovat cívku

První cívka v sadě, která se použije pro nastavení geometrie evolvent, se vždy v čele stabilizuje páskami v nose. Před tvarováním je potřeba zastabilizovat každou cívku v několika bodech dle TIMS vhodnými stabilizačními nástroji. Na pracovišti rozlišujeme 2 druhy cívek:

- cívky pro seřízení tvarovačky

Cívky, které byly tvarovány, do doby dosažení optimálního tvaru cívky se musí označit. Tzv. „seřizovací cívky“ se také použijí do vinutí statoru, pouze podle nich nesmí být nastavovány další stroje.

- kontrolní tvarovací cívka

Pro optimální nastavení tvarovačky se na pracovišti uloží tzv. kontrolní cívka. Ta zůstane na pracovišti až do ukončení zakázky. Aby bylo možné rozeznat změny během procesu, tak se vždy každá desátá cívka srovnává s cívkou kontrolní (vzorovou).

Před tvarováním je nutno čelo každé cívky zpevnit, aby nedocházelo k poškození čela vinutí při tvarování. Zpevnění čela cívky suchými zipy se provádí přímo na transportním vozíku za použití držáku.

Držáky musí být chráněny dvěma vrstvami silikonových izolačních trubiček. Cívky se musí v čele od konce drážkové části cívky do poloviny čela stabilizovat – ovinout jednou polohou slídové pásky.

C) Tvarovat cívku

Cívka je vložena do stroje s vývody směrem doleva, tzv. cívka je určena pro vkládání “vpravo”. Je zakázáno měnit data tvarování v průběhu výroby jedné sady cívek, aby se zajistil stejný tvar cívek v jedné sadě. V případě potřeby je nutné uvědomit kontrolora/technologa. Nadále se provádí 2 tvarovací cykly naprázdno při přestávce tvarování ≥ 15 min. Průběh tvarování se liší dle druhu cívky.

- Tvarování 2pólu – Stroj roztáhne cívku do kroku, po vyjetí tvarovacích šablon se ručně dotvarují čela, šablony sjedou a vytvarovaná cívka se uvolní ze stroje.
- Tvarování 4pólu – Stroj zastaví v polovině roztažení cívky do kroku, ručně se dotvarují čela a stroj potom dokončí roztažení cívky do kroku, po vyjetí tvarovacích šablon se ručně dotvarují čela, šablony sjedou a cívka se uvolní ze stroje.
- Tvarování 6pólu, 12-pólu - Spustí se program tvarování. Není potřeba dalších zásahů.

Po vytvarování je cívka vyjmuta ze stroje, tvarovací šablony musí být nastaveny tak, že nesmí dojít k žádným poškozením izolace dílčích vodičů.

D) Dotvarovat

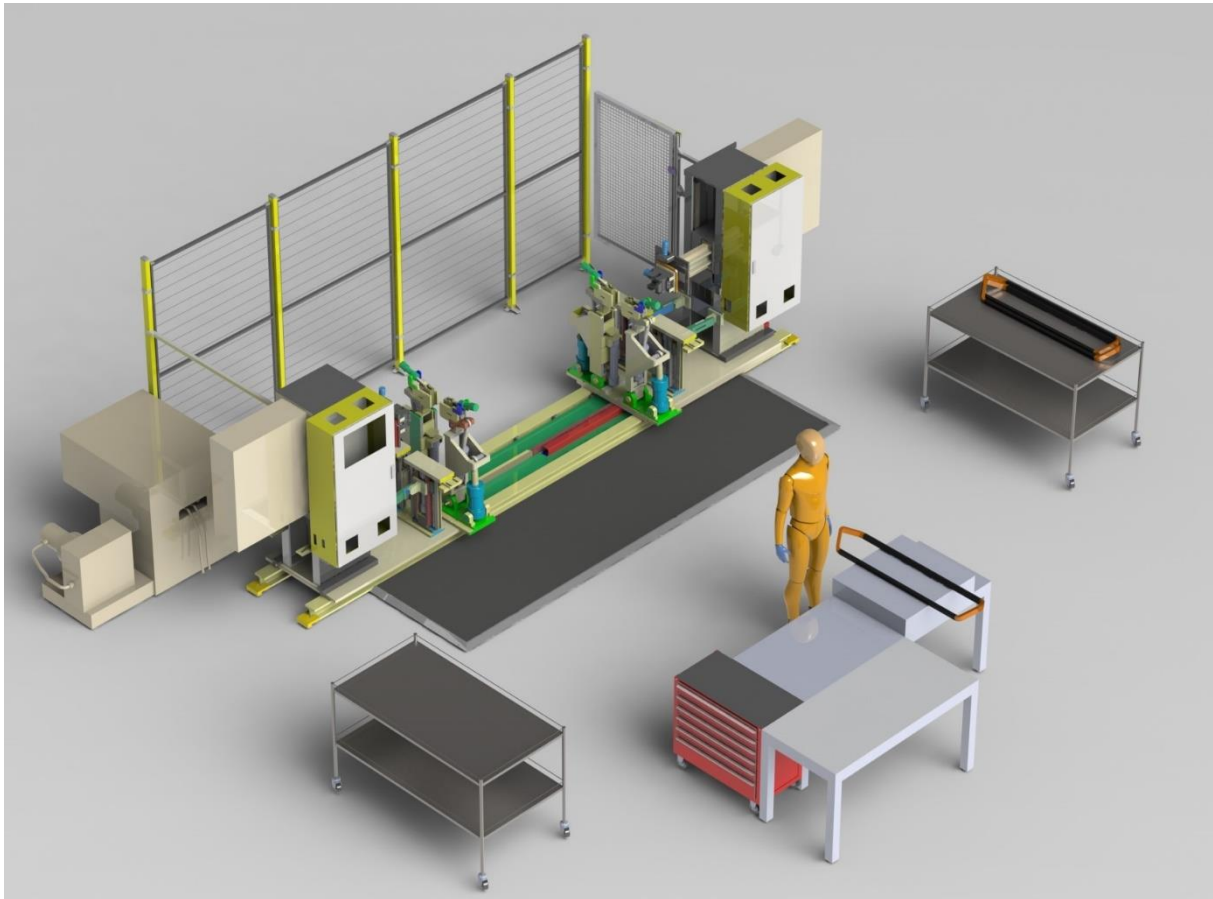
Po vytvarování se přizpůsobí čela cívek vyklepáním za pomoci paličky s PUR nástavci nebo za pomoci dřevěného klínu podle vzorové cívky. Kontrola rádiusu se provede šablonami a vývody cívek se dorovnají a přizpůsobí obrysům strany čela.

E) Kontrola

Po vytvarování první cívky je nutno kontrolovat, zda během tvarování nebyla poškozena izolace dílčích vodičů. V případě, že je čelo stabilizováno, musí se stabilizace u prvních 3 ks cívek sejmut, aby byla možná kontrola izolace dílčích vodičů. Dále je nutná kontrola průhybu ramene cívky v rádiusu na výstupu z drážky až do cca poloviny čela. Pokud k průhybu dochází, je potřeba srovnat gumovou paličkou.

3.4 Layout pracoviště

Pracoviště tvarování nyní disponuje dvěma tvarovacími stroji. Na Obr. č. 17 můžeme vidět uzpůsobení pracoviště v rámci jednoho stroje. Nachází se zde tvarovací zařízení, u kterého se nachází světelná brána a stacionární PAP, vozík s cívkami čekající na vytvarování (vlevo), na stole uprostřed dochází k dotvarování a ke kontrole, odkud se na vozík (vpravo) pokládají vytvarované cívky. Modely byly vytvořeny v životní velikosti.



Obr. č. 17: 3D vizualizace pracoviště

3.5 Snímkování pracoviště

Snímkování pracoviště trvalo 60 minut, bylo provedeno za účasti jednoho pracovníka. Pro snímkování bylo využito aplikace Time Measurement od společnosti API, která zdatelně snižuje čas vyhodnocování naměřených dat. Před měřením si definujeme v aplikaci tlačítka, která nám definují kroky práce a jejichž názvy se promítnou i do vyhodnocovacích formulářů viz Obr. č. 18.

Stabilizace

Zahrnuje stabilizaci suchým zipem, ohnutí vývodů, vložení dalších přípravků zajišťující maximální podporu v čele při tvarování.

Dotvarování

Operace začíná položením vytvarované cívky na stůl. Je sejmuta stabilizace na jedné straně, vývody jsou ohnuty tak, aby kopírovaly tvar vytvarovaného čela a pracovník na vývody umístí ochranné trubičky. Cívka je dotvarována za pomoci paličky s PUR nástavci. Následně pracovník cívku otočí, sundá stabilizaci a druhé čelo taktéž dotvaruje. Během dotvarování i po něm provádí pracovník vizuální kontrolu a pravidelně kontroluje parametry cívky. Operace končí sejmutím cívky ze stolu.



Obr. č. 18: Time Measurement API – tlačítka

Manipulace

Manipulací se rozumí pohyb po trajektorii viz Obr. č. 21. Avšak během pozorování nebylo úplně možné jednoznačně oddělit chůzi a manipulaci s cívkou. Z toho důvodu jsou obě operace souhrnně nazvány jako vložení do stroje, manipulace na dotvarování a uložení na vozík, chůze zpět, ale souhrnně značí manipulaci a chůzi.

Tabulka vstupních údajů - hlavní graf

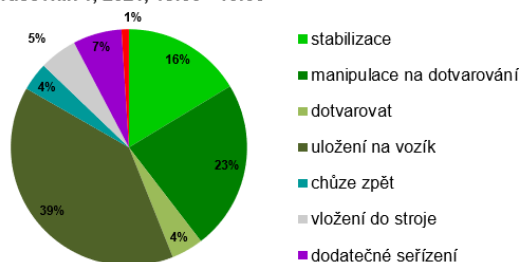
Kategorie	Délka trvání	Poměr %	VA/NVA	ANO	NE
stabilizace	0:09:43	16,35%	ANO	0:09:43	
manipulace na dotvarování	0:13:48	23,22%	NE		0:13:48
dotvarovat	0:02:36	4,37%	ANO	0:02:36	
uložení na vozík	0:23:23	39,34%	NE		0:23:23
chůze zpět	0:02:18	3,87%	NE		0:02:18
vložení do stroje	0:03:04	5,16%	ANO	0:03:04	
dodatečné seřízení	0:03:58	6,67%	ANO	0:03:58	
Přestávka	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Kontrolní činnost	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Rozhovor pracovní	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Dokumentace	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Úklid	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Mimo pracoviště	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
Přestávka pracovníka	0:00:00	0,00%	nepočítá se		
Čekání (nečinnost)	0:00:36	1,01%	NE		0:00:36
Plytvání	0:00:00	0,00%	NE		0:00:00
	0:59:26		100,00%		

Tabulka vstupních údajů - přidává/nepřidává hodnotu

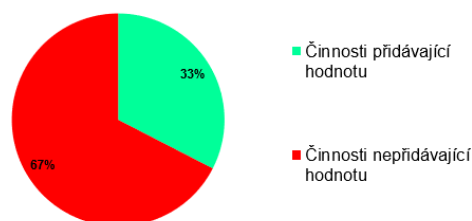
Činnost	Délka trvání
Činnosti přidávající hodnotu	0:19:21
Činnosti nepřidávající hodnotu	0:40:05

Graf. 1 - Analýza činností pracovníka

Pracovník 1, 2021, 15:00 - 16:00



Graf. 2 - Přidávající/nepřidávající hodnotu (bez přestávky)



Obr. č. 19: Analýza činností pracovníka

Tabulka vstupních údajů - hlavní graf

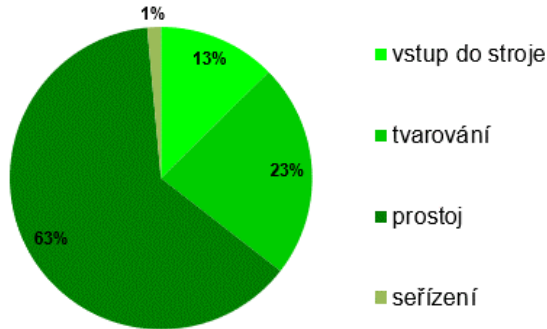
Kategorie	Délka trvání
vstup do stroje	0:07:30
tvarování	0:13:37
prosto	0:37:29
seřizení	0:00:52
	0:59:28

Tabulka vstupních údajů - pracuje/nepracuje

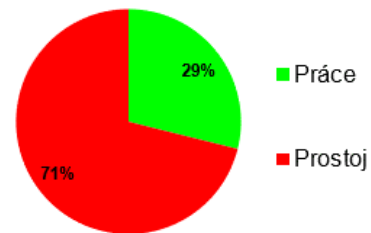
Činnost	Délka trvání
Práce	0:21:07
Prosto	0:51:58

Graf 3 - Analýza práce stroje

Tvarovací stroj, 2021, 15:00 - 16:00



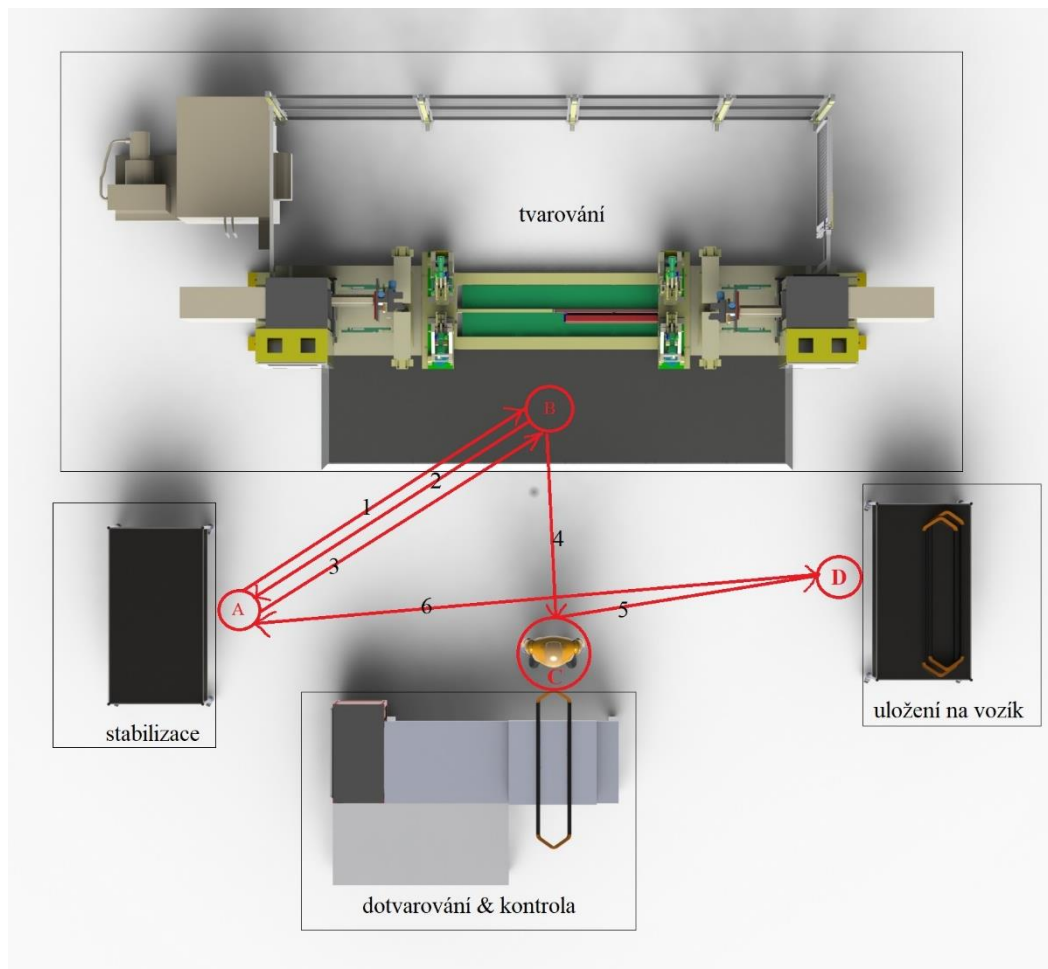
Graf 4 - Analýza práce stroje



Obr. č. 20: Analýza práce stroje

Dle výše uvedeného pozorování dochází na pracovišti k činnostem, které lze označit za plýtvání tzv. muda. Na pracovišti jsem identifikovala muda oprav zmetků, muda čekání, muda pohybu a muda zpracování viz příloha. Vzhledem k zadání bakalářské práce si studentka uvědomuje, že nelze odstranit všechno plýtvání, avšak i poukázání a pojmenování činností, které jsou zdrojem mudy, může být přínosem.

Během chůze obecně žádnou hodnotu nepřidáváme, pouze přesunujeme cívku v rámci jednoho tvarování minimálně 6krát. Z tohoto důvodu byl vytvořen špagetový diagram viz Obr. č. 21, který přesně definuje trasy chůze. Každá jednotlivá trasa značí 3 s chůze.

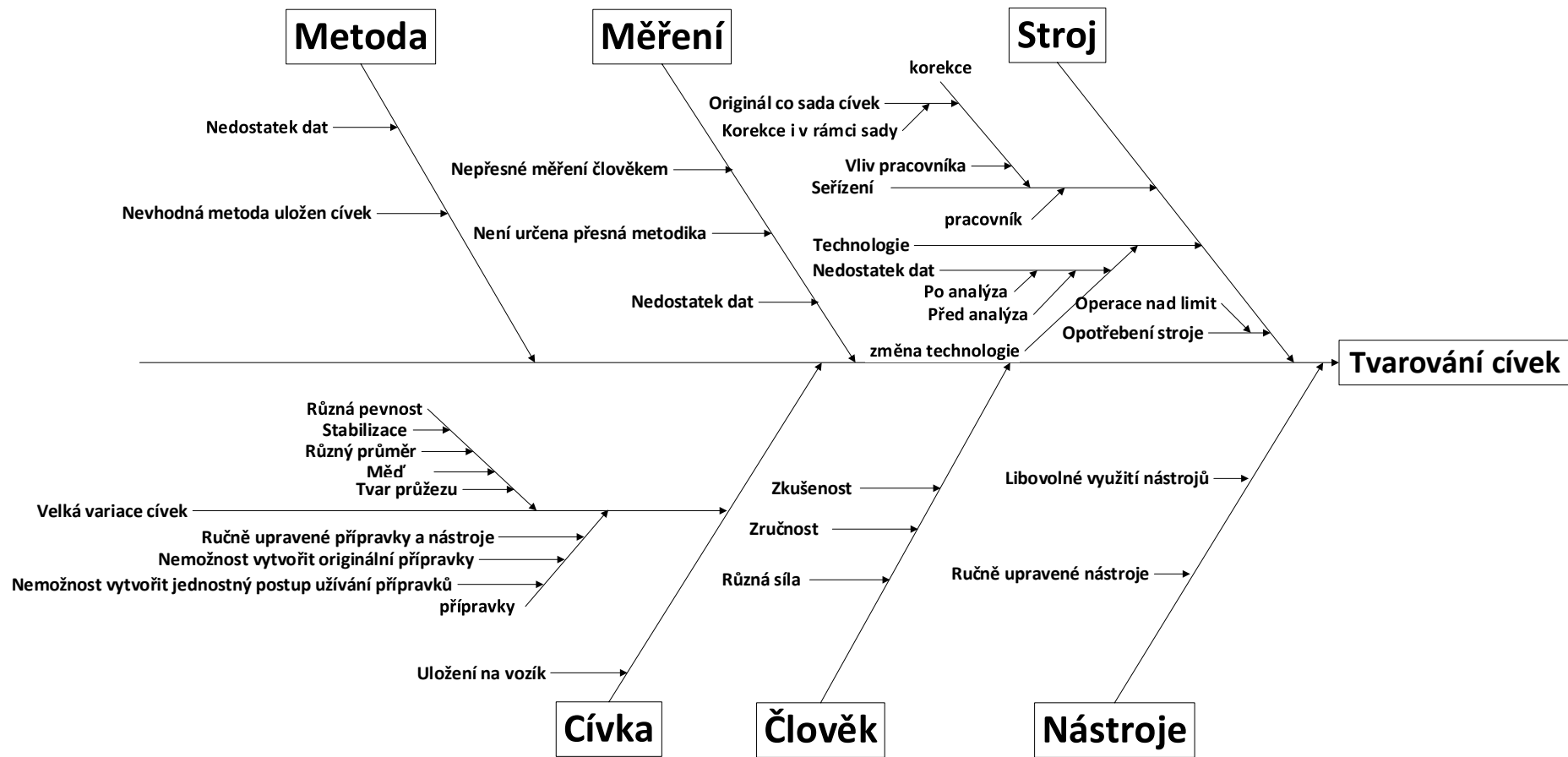


Obr. č. 21: Špagetový diagram

Muda čekání vzniká tehdy, když pracovník čeká na vytvarování cívky, během které by např. mohlo dojít k přípravě cívky na tvarování, popř. čeká na zahřátí stroje při delší pauze.

K pochopení souvislostí mezi skutečnostmi, které mají bezprostřední vliv na kvalitu vytvarované cívky, nám pomáhá Ishikavův diagram viz Obr. č. 22.

Domnívám se, že způsob, jakým se tvaruje, lze sám o sobě označit za mudu zpracování. Do stroje se zadávají korekce, což samo o sobě značí buď špatné seřízení, servis nebo opotřebení stroje. Ruční dotvarování není do jisté míry nic jiného než oprava operace, kterou vykonal stroj, na kterou není uzpůsoben. Navíc ruční dotvarování je neergonomické, nepřesné, a není známo, zda dochází k nekvalitě. Přestože dochází k pravidelným kontrolám, není zaručeno, že kvalita při výstupu bude odpovídat při vstupu na jiném pracovišti. Velký vliv má i uložení cívek. Tato problematika nemůže být vyřešena jedním člověkem. Jedná se o komplexní problém dotýkající se přinejmenším technologie a kvality, tudíž nebude v této práci vyřešen.



Obr. č. 22: Ishikawa diagram — tvarování cívek

3.6 Zhodnocení analytické části

V analytické části jsme se věnovali společnosti a jejím procesům. Organizační struktura nám odhalila hierarchii a rozdělení zodpovědností, bylo odhaleno řízení výroby a informační systémy, které řízení podporují. Pomocí detailní analýzy práce jsme byli schopni popsat zadávání práce a pracovní postup. Rozmístění pracoviště jsme zpracovali ve 3D. Modely využitě pro tento obrázek byly modelovány ve skutečné velikosti a dají se následně použít při studiu ergonomie práce, ve virtuální realitě, v simulačních softwarech nebo při testování návrhů layoutů.

Snímkování pracoviště nám odhalilo plýtvání, a poznatky z pozorování budou využity v simulaci, čímž bude zajištěna správnost dat. Špagetový diagram se zaměřil na chůzi a přesně specifikoval trajektorii, kterou ujde pracovník během tvarování jedné cívky. Toto pochopení je zásadní pro správné vytvoření tras v simulaci. Další vlivy, jako jsou nástroje, vlastnosti stroje, měření probíhající během tvarování, využitě metody při sledování kvality, charakteristické znaky cívky a v neposlední řadě člověk samotný, mají vliv na finální produkt tohoto pracoviště a jeho kvalita a provedení je velice klíčovým vstupem pro další zákazníky procesů.

Poznatky zmíněné v analytické části jsou přínosem nejen pro navržení simulace, ale zároveň i pro podnik samotný. Právě zde zmíněné okruhy, kterými jsou procesy výroby, postupy práce, kvalita a plýtvání rozhodně naskýtají možnosti ke zlepšení. Zkrácení doby výroby na tomto pracovišti, jak ukazují diagramy v analytické části, má velký vliv na průběžnou dobu výroby celého produktu – točivého elektrického stroje.

4 Návrhová část

Z analytické části vyplynula potřeba dynamicky se přizpůsobovat neustálým změnám, snížit možná plýtvání ve výrobním procesu a navrhnout optimalizaci pracoviště tak, aby minimalizovala ztráty a došlo k navýšení efektivity pracoviště tvarování. Zároveň by navržené řešení mělo umožnit predikci budoucího stavu při zadávání konkrétní práce. Jako nejvhodnější nástroj pro řešení se jeví prediktivní simulace. V této části je zacíleno na řešení pomocí prediktivního simulačního nástroje, který se řídí metodikou popsané v kapitole 2.9.

4.1 Formulace problému

Byla iniciována schůzka s vedoucím výroby v SEM Drásov, kde byl dohodnut rozsah modelu pracoviště tvarování, na kterém bude simulace vytvořena tak, aby bylo splněno zadání a bylo možné model využít do budoucna i pro SEM Drásov. V pravidelných intervalech byla situace na pracovišti konzultována s odborníky z oddělení kvality, technologie, výroby i logistiky. Společné konzultace ve spojení se snímkováním pracoviště poskytlo komplexní náhled na toto pracoviště. Tato fáze trvala cca 3 měsíce.

Z možných řešení byla zvolena právě simulace, neboť pomáhá nejenom vizualizovat, ale i pomocí reportů a začlenění náhodných jevů do modelu pochopit situaci, která na pracovišti je, a podpořit tak manažerská rozhodnutí. Dále možnost predikce stavu budoucího zřetelně mluví ve prospěch simulace. Náklady na experimenty prováděné v simulaci jsou v tomto případě nesrovnatelně nižší, než pokud bychom tyto experimenty prováděli ve skutečnosti. Druhý vrchol, který je předpokládán v letních měsících, nám dává dostatek prostoru pro vytvoření simulace, experimentů i analýzy získaných dat, tudíž jen zbývá otázka dostupnosti potřebných dat k tomu, abychom si byli jisti, že simulace je vhodným řešením viz kapitola 2.6.

4.2 Obsah a úroveň detailu modelu

Po snímkování a pozorování popsané v analytické části bylo možné vidět činnosti v souvislostech a uvědomit si, že i přestože je každá zakázka jiná, jsou zde opakující se procesy, které by bylo možné v modelu zobrazit a získat tak potřebné odpovědi na otázky vedení. Zacíleno bude tedy pouze na proces tvarování, tak jak je uveden v Obr. č. 16. Pro zjednodušení práce uživatele s modelem je využito zadávání vstupních dat pomocí excelu.

4.3 Formulace cílů

Cílem bakalářské práce je provést simulaci a získat tak informace o průběhu tvarování ve dnech 10.-17.8. 2020. Dále tato data analyzovat a aplikovat změny, které si kladou za cíl maximálně zefektivnit proces výroby v duchu Lean. Metriky sledované při simulaci jsou mzdové náklady a zkrácení průběžné doby výroby.

4.4 Sběr dat

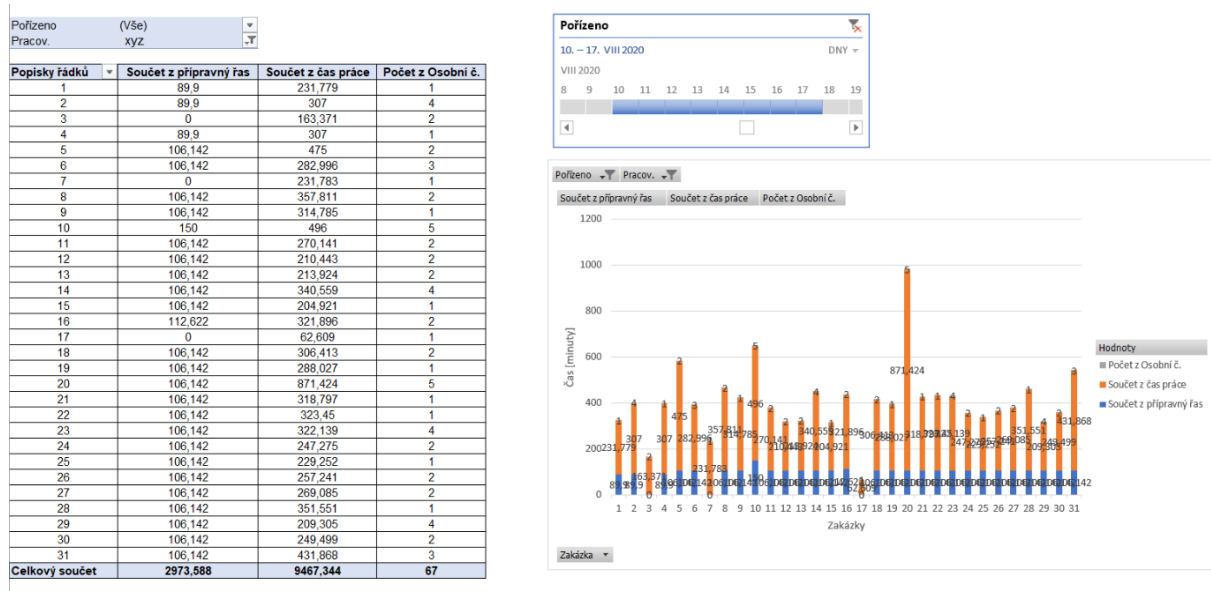
Sběr dat a jejich analýza je mnohem širší záležitost, než se může zdát. Při sběru dat je nejenom potřeba souhlasu, že data můžeme zpracovat, ale že k nim máme i přístup. Ve větších společnostech pouze IT povolení po přihlášení do systému je záležitost týdne (ne-li více), pokud se jedná o nového zaměstnance, studenta. Dále je nutné specifikovat o jaká data se má jednat. Mnohdy cesta k získání dat je tak spleť, že vyžaduje zásah nadřízeného z důvodu omezených pravomocí. Poté co data získáme, měli bychom si ověřit, že se jedná o správná data a my jsme je schopni pochopit.

„Největším úskalím je vždy spolehlivost zpracovávaných dat a následně smysluplné využití získaných výstupních údajů. Pokud se neumíme smířit s pasivním přijetím IT pravidla „garbage in – garbage out“, nezbyvá nám nic jiného než se postarat o větší pravdivost vstupních údajů.“ [52]

Poté, co data získáme, nevyhneme se filtrování, kontrole dat a jejich úpravě, aby vyhovovala určené aplikaci. Sběr dat vyžaduje krom jiného smysl pro detail, aktivní komunikaci a ověřování. Není dobré podceňovat časovou náročnost získávání správných dat!

4.4.1 Analýza dat

Přestože téma práce je prediktivní simulace a predikce značí předpověď, využijeme data z minulosti k tomu, aby bylo možné ověřit správnost modelu a porovnávat ji se simulací možných variant na reálných hodnotách. Po účely simulace byly ze SAP zjištěny informace o zakázkách, které se tvarovaly v období 10. - 17. 8. 2020. V tomto období se pracoviště chovalo stabilně a bylo maximálně vytíženo. Celkem bylo v tomto období identifikováno 31 zakázek.



Obr. č. 23: Kontingenční tabulka data Witness

Na Obr. č. 23 můžeme vidět jeden z mezistavů úpravy dat. Některé zakázky byly odhlášeny v PAP vícekrát. Vymezením datového úseku jsme přišli o některá data, např. časy seřízení nebyly u třech strojů v tomto období dohledány a jednu zakázku bylo nutné úplně odstranit. Odstraněný údaj byl pracovní lístek, který byl v daném časovém úseku pouze odhlášen, ale práce byla již vykonána před datem 10.8. 2020. Data takto získána jsou pro nás velice obecná a takto je do simulace nelze nahrát.

Z analýzy lze vyčíst kolik minut práce bylo odhlášeno, na jaké číslo. Z důvodu výskytu Covid-19 a faktu, že se jednalo o období dovolených, docházelo k výměně pracovníků. Proto, abychom získali počet potřebných pracovníků, je nutné provést výpočet.

Počet pracovníků

$$l_{aS} = S \cdot \sigma$$

l_{aS} – počet pracovníků

S – počet strojních pracovišť

σ – koeficient směnnosti

Výpočet:

$$l_{aS} = 2 \cdot 3$$

$$l_{aS} = 6 \text{ pracovníků}$$

Z výše zmíněných důvodů bylo využití dat z provedených pozorování, jedinou možností, jak odvodit pravidlo, které obecně platí u všech zakázek a umožní nám chybějící údaje dopočítat. Ze SAPu známe odhlášení časů pracovních lístků. Na pracovních lístečích jsou zobrazeny technologické časy **přípravné a výrobní**.

Přípravný čas

Čas přípravný, čímž se rozumí seřízení stroje dle technologických pokynů standardně probíhá 106 Nmin.

Výrobní čas

Skutečné výrobní časy tvarování jsou nám známy ze SAP, avšak časová náročnost dílčích subprocesů, které jsou znázorněny v Obr. č. 16, nám známa není. Byla snaha využít i dat z OEE, avšak V SEM Drásov je zavedeno OEE, které ukazuje kdy byl stroj zapnutý a kdy vypnutý, nelze podle těchto údajů zjistit skutečný průběh tvarování, resp. kdy se cívka tvarovala a jaké bylo skutečné využití stroje.

1. Stabilizace a tvarování cívky

Pro odvození pravidla byly rovněž využity údaje získané technologií, kdy lze rozdělit zakázky na stabilní a nestabilní. Z pozorování vyplývá, že cívky 4 a 6pólové se tvarují kratší čas, naopak při tvarování 2,8,12 pólů je čas potřebný k vytvarování cívky delší. Cívky jsou úzké, bez stabilizace. Během tvarování se chovají nestabilně a cívky je potřeba před tvarováním dodatečně zastabilizovat. Samotný proces tvarování trvá déle a následně ruční dotvarování pracovníkem je časově náročnější. Čas stabilizace a tvarování se liší dle pólů viz. Tabulka 3: Witness_normativy. Ze SAP jsme získali údaje o časovém trvání tvarování.

2. Manipulace a chůze

Během pozorování došlo ke zjištění, že nelze úplně jednoznačně oddělit chůzi od manipulace. Dráhu manipulace jsme identifikovali viz Obr. č. 21 na základě pozorování. Průměrná délka chůze jednoho úseku (rozumějme z bodu 1 do bodu 2 atd.) Trvá v průměru 3 s a tuto dráhu ujde v rámci procesu tvarování jedné cívky minimálně 6x. Celková doba chůze na zakázku se liší dle počtu tvarovaných kusů. V našem případě se doba chůze na zakázku pohybovala v rozmezí od 15-22 minut. Pokud uvažujeme, že běžný člověk na rovném povrchu jde průměrnou rychlostí 5 km/hod, ujde náš pracovník za jednu zakázku minimálně mezi 1250–1 833 m.

Manipulace probíhá při vložení do stroje, pracovník vloží cívku do stroje, popřípadě připevne kovové nástavce, které slouží jako opora při tvarování čela cívky, spustí stroj a pak teprve odchází. Dále je manipulace v rámci operace dotvarování, kdy sundává nástavce a při uložení cívek na vozík, kdy jsou překryty vývody cívek ochranným materiálem. Z tohoto důvodu budeme počítat, že manipulace a chůze tvoří jednu časovou jednotku

3. Dotvarování

Díky provedenému pozorování jsme schopni vypočítat přibližný čas dotvarování pomocí následujícího vzorce.

$$t_{\text{dotvarování}} = \text{výrobní čas} - t_{\text{chůze}} - t_{\text{tvarování}} - t_{\text{stabilizace}}$$

4.4.2 Kontrola

Provedením kontroly si ověříme, že odhlášené časy souhlasí s realitou tedy byly odhlášeny ty zakázky, které byly na pracovišti v danou dobu opravdu vykonány.

$$\text{celkový výrobní čas} = \sum (t_{\text{přípravný}} + t_{\text{výrobní}})$$

$$\text{celkový výrobní čas} = 209,8 \text{ hod/týden}$$

Celkem byl v SAP odhlášen čas 209,8 hod.

Časový efektivní fond

$$F_{ef} = d \cdot h \cdot \sigma \cdot g \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right)$$

d – počet pracovních dní

h – počet hodin jedné směny

σ – směnnost

g – počet vzájemně zaměnitelných pracovišť

z – % nevyhnutelných ztrát

Výpočet:

$$F_{ef} = 5 \cdot 7,5 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \left(1 - \frac{4}{100}\right)$$

$$F_{ef} \doteq 216 \text{ hod}$$

Časový efektivní fond nám říká, že v období od 10. - 17.8.2020 při 3 směnném provozu od pondělí do pátku (5 pracovních dní), při délce jedné směny 7,5 hod (po odečtení 30 min na pauzu), 2 zaměnitelných pracovištích a měli k dispozici 216 minut.

$$\text{Časový efektivní fond} - \text{celkový výrobní čas} = 6,2 \text{ hod/týden}$$

Technologická pauza stroje

Při příchodu pracovníků na první směnu v týdnu, je nutné nechat stroj 30 minut po zapnutí zahřát. Pokud stroj déle jak 15 minut stojí, je potřeba ho nechat 10 minut běžet „na prázdko“, tedy:

$$\text{technologická přestávka stroje} = t_v \cdot g + t_o \cdot d \cdot \sigma \cdot g$$

t_v – čas potřebný na zahřátí stroje, byl-li vypnutý (např. přes víkend)

t_o – čas potřebný na zahřátí stroje po pauze delší 15 minut

g – počet zaměnitelných pracovišť

σ – směnnost

d – počet pracovních dní

Výpočet:

$$\text{technologická přestávka stroje} = 30 \cdot 2 + 10 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 2$$

$$\text{technologická přestávka stroje} = 6 \text{ hod/týden}$$

Pokud na závěr sečteme technologické pauzy stroje a celkový výrobní čas dostaneme hodnotu 215,8 minut, která se liší od časového efektivního fondu o 12 minut. Ztráta 12 minut v rámci týdne je únosná hodnota a data tímto pokládáme za zkontrolovaná.

4.4.3 Příprava vstupních dat modelu

Po sběru, analýze a kontrole dat, přichází poslední fáze – příprava dat. Zde je nutné zmínit, že neexistuje jedno správné řešení. Různé návrhy modelu vyžadují jiné vstupy dat. V našem případě bude v modelu využit prvek Data Table, který lze připojit k externímu úložišti dat, včetně souborů ve formátu CSV a sešitů aplikace Excel. Byly stanoveny normativy vycházející z pozorování a analýzy dat viz Tabulka 3 a také zásoba práce pro 2 tvarovací pracoviště viz Tabulka 4: Witness_1_plán a Tabulka 5.

Nový prvek tabulky dat umožňuje, aby sloupce dat různých typů byly obsaženy v jednom prvku. Datová tabulka může ukládat sloupce dat, kde každý sloupec může být jedním ze standardních datových typů WITNESS – Integer (celá čísla), Real (reálná čísla), Name (název prvku ve WITNESS lze uložit jako atribut nebo proměnnou s typem názvu) nebo String (řetězce). [39] V našem případě jsme zvolili jako proměnou obor reálných čísel.

počet pólů	seřízení [min]	stabilizace [min]	tvarovat [min]
2	106	1	1,2
4	106	0,7	0,83
6	106	0,7	0,83
8	106	1	1,2
12	106	1	1,2

Tabulka 3: Witness_normativy

č. zakázky	počet kusů cívky	počet pólů	dotvarování [min]		
			min	mod	max
1	54	6	1,6	2	2,4
2	24	2	3,1	3,8	4,6
3	60	2	3,9	4,9	5,9
4	60	4	0,7	0,9	1
5	72	8	1,6	2	2,4
6	60	4	1,2	1,5	1,8
7	48	4	1,2	1,5	1,8
8	48	4	1,2	1,5	1,8
9	72	8	1	1,3	1,5
10	48	2	1,5	1,9	2,3
11	72	6	2,1	2,7	3,2
12	48	2	1,7	2,2	2,6
13	54	6	1,7	2,2	2,6
14	72	6	1,9	2,4	2,9
15	48	2	2	2,6	3,1

Tabulka 4: Witness_1_plán

č. zakázky	počet kusů cívky	počet pólů	dotvarování [min]		
			min	mod	max
1	73	6	1,5	1,9	2,3
2	73	6	1,5	1,9	2,3
3	48	4	2,3	2,9	3,5
4	72	6	2,1	2,6	3,2
5	72	4	3,1	3,9	4,7
6	48	4	1,1	1,4	1,7
7	72	6	1,9	2,4	2,9
8	72	6	1,7	2,1	2,6
9	48	2	2,4	3	3,6
10	72	12	1,7	2,1	2,5
11	72	6	1,7	2,1	2,6
12	48	4	1,4	1,8	2,1
13	60	4	1,2	1,5	1,8
14	48	4	1,1	1,4	1,6
15	48	4	4,8	6	7,2

Tabulka 5: Witness_2_plán

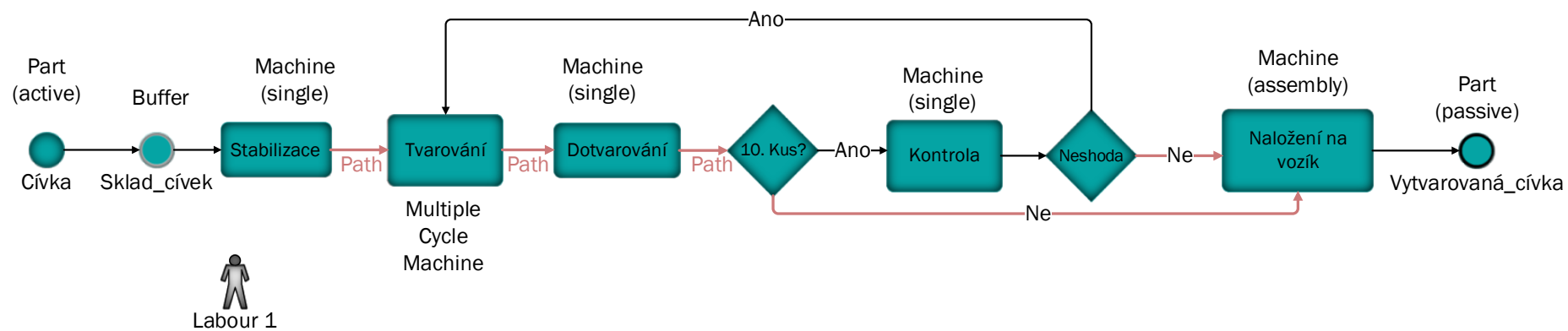
V jedné datové tabulce může být obsažen libovolný počet sloupců různých typů. K datům v datové tabulce lze přistupovat v akcích, pravidlech nebo výrazech. [39] Data v Excelu mají podobu matice s určitým počtem řádků a sloupců. My následně tyto pozice ve Witness definujeme viz Obr. č. 24.

!1. řádek

```
Plan(3, 2) = XLCellToReal ("DATA_Witness_neupraveno 29.4.xls","1_plán", "B3")
Plan(3, 3) = XLCellToReal ("DATA_Witness_neupraveno 29.4.xls","1_plán", "C3")
Plan(3, 4) = XLCellToReal ("DATA_Witness_neupraveno 29.4.xls","1_plán", "D3")
Plan(3, 5) = XLCellToReal ("DATA_Witness_neupraveno 29.4.xls","1_plán", "E3")
Plan(3, 6) = XLCellToReal ("DATA_Witness_neupraveno 29.4.xls","1_plán", "F3")
```

Obr. č. 24: Witness_zadání_dat

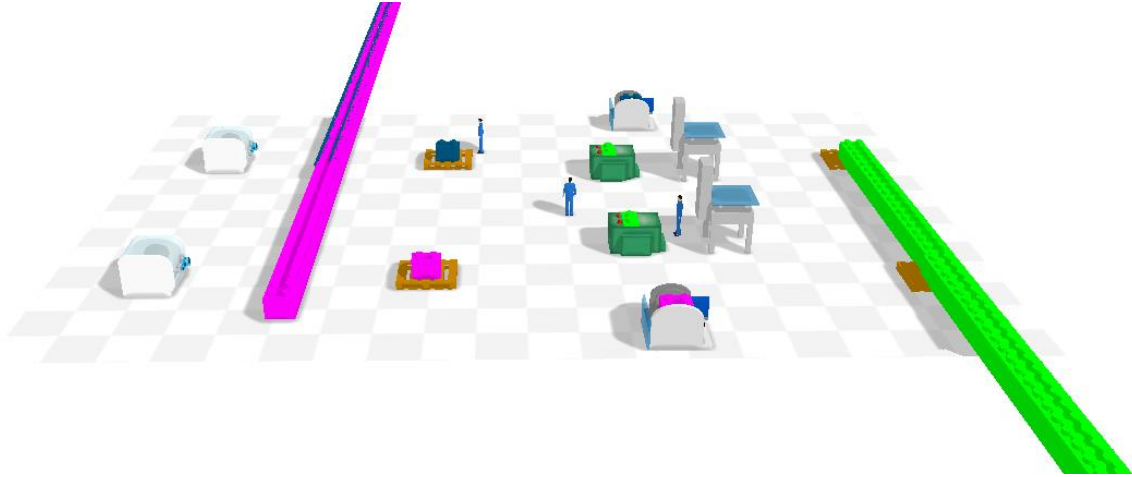
4.5 Návrh modelu



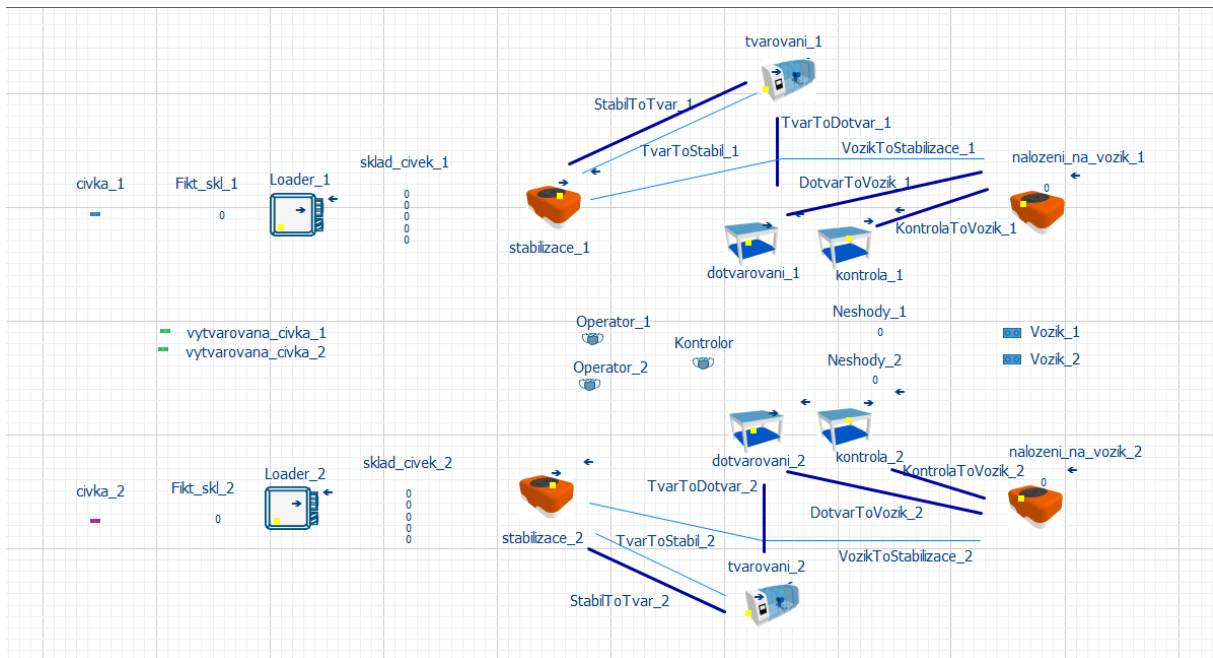
Obr. č. 25: Konceptuální schéma procesu tvarování ve WITNESS

4.6 Vytvoření modelu a jeho ověření

Při tvorbě modelu byly definovány elementy symbolizující skutečně prováděné činnosti, které jsou blíže popsány v analytické a návrhové části. Mezi elementy byly vytvořeny návaznosti vystihující nynější stav, ale zároveň umožní následnou aplikaci experimentů. Model vychází z analýzy průběhu výroby viz. kap. 3.3. Do simulace byla nahrána připravená data a níže můžete vidět screenshots 2D a 3D modelu, které byly sejmuty ze simulace aktuálního stavu. Vytvořený model byl ověřen porovnáním plánu s počtem vyrobených kusů za dané časové období.



Obr. č. 26: Witness – 3D model pracoviště



Obr. č. 27: Witness – 2D model pracoviště

4.7 Simulace

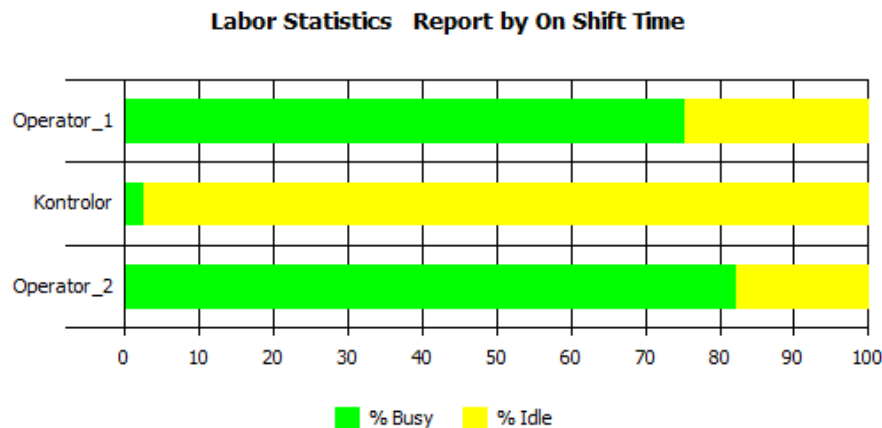
Simulace aktuálního stavu zobrazuje proces tvarování při délce operací zobrazených Tabulka 3, Tabulka 4, Tabulka 5. Tvarování probíhá na dvou strojích za přítomnosti 2 pracovníků. Každý pracovník také seřizuje, čas seřízení je 106 minut. Mzda obou pracovníků je 144 Kč/hod (tj. 2.40 Kč/hod). Zvolená délka běhu simulace – 120 hod (7 200 min). Pro simulaci stávajícího stavu bylo dosaženo následujících statistik:

Stavy pracovišť:

- Idle (žlutá barva) – čekání na součásti (NVA)
- Busy (zelená barva) – pracuje (VA)
- Setup (sv.modrá barva) – seřízení (NVA)
- Cycle Wait Labor (tm.modrá) – čekání na pracovníka (NVA). Operace může být zahájena, ale pracovník pracuje na jiném pracovišti.
- Blocked (fialová barva) – blokování (NVA) – příčina blokování je za pracovištěm. Pravděpodobné příčiny jsou v tom, že pokud pracovník pracuje na jiném pracovišti nebo se přesouvá po cestě, součást zůstává na pracovišti a nemá kam odejít.

Stavy pracovníků:

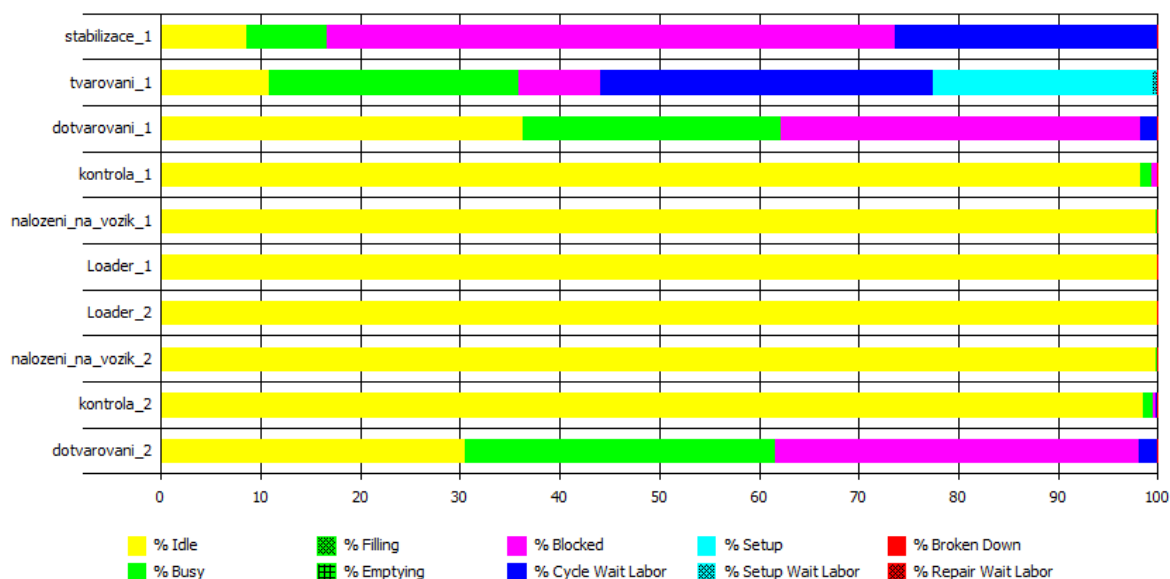
- Idle (žlutá barva) – čekání na součásti (NVA)
- Busy (zelená barva) – pracuje (VA)



Name	% Busy	% Idle	Quantity	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	Avg Job Ti
Operator_1	75.28	24.72	1	5026	5026	0	0	1.09
Kontrolor	2.56	97.44	1	122	122	0	0	1.53
Operator_2	82.16	17.84	1	5562	5562	0	0	1.07

Obr. č. 28: Witness – aktuální stav_statistika pracovníků

Machine Statistics Report by On Shift Time



Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wait Labor	% Setup	% Setup Wait Labor	% Broken Down	% Repair Wait Labor	No. Of Oper
stabilizace_1	8.57	8.10	0.00	0.00	56.94	26.39	0.00	0.00	0.00	0.00	840
tvarovani_1	10.82	25.10	0.00	0.00	8.24	33.37	21.89	0.58	0.00	0.00	840
dotvarovani_1	36.28	25.87	0.00	0.00	36.11	1.73	0.00	0.00	0.00	0.00	840
kontrola_1	98.19	1.24	0.00	0.00	0.53	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	30
nalozeni_na_vozik_1	99.86	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15
Loader_1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	840
Loader_2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	926
nalozeni_na_vozik_2	99.86	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15
kontrola_2	98.58	0.99	0.00	0.00	0.21	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	24
dotvarovani_2	30.57	31.06	0.00	0.00	36.46	1.91	0.00	0.00	0.00	0.00	926
tvarovani_2	2.59	27.67	0.00	0.00	7.88	39.35	21.89	0.62	0.00	0.00	926
stabilizace_2	0.16	8.92	0.00	0.00	59.33	31.59	0.00	0.00	0.00	0.00	926

Obr. č. 29: Witness – aktuální stav_statistika strojů

Costs	Element	Fixed	By Use	By Quantity	Total
	Operator_1(1)	0,00 Kč	16 294,41 Kč		16 294,41 Kč
	Operator_2(1)	0,00 Kč	17 781,88 Kč		17 781,88 Kč
Total Cost		0,00 Kč	34 076,29 Kč	0,00 Kč	34 076,29 Kč

Obr. č. 30: Witness – aktuální stav_statistika nákladů

Komentář

Plán práce byl hotov za 7 263 minut. Čas se liší od délky simulace. Důvodem může být začlenění kontroly nebo rozdělení zakázek, tedy rozdílný počet kusů cívek, která navýšila čas na jednom z pracovišť o 63 minut. Operator_1 pracuje 75 % času, naopak Operator_2 z 82 %. Na 1. tvarovacím stroji docházelo k čekání na pracovníka 33 % času a na druhém stroji 39 % času, a cca 8 % času byl stroj blokován, tedy cívka byla ve stroji již vytvarovaná a 22 % času byl stroj seřizován. Oba pracovníci nás stáli 34 077 Kč.

4.8 Experimenty

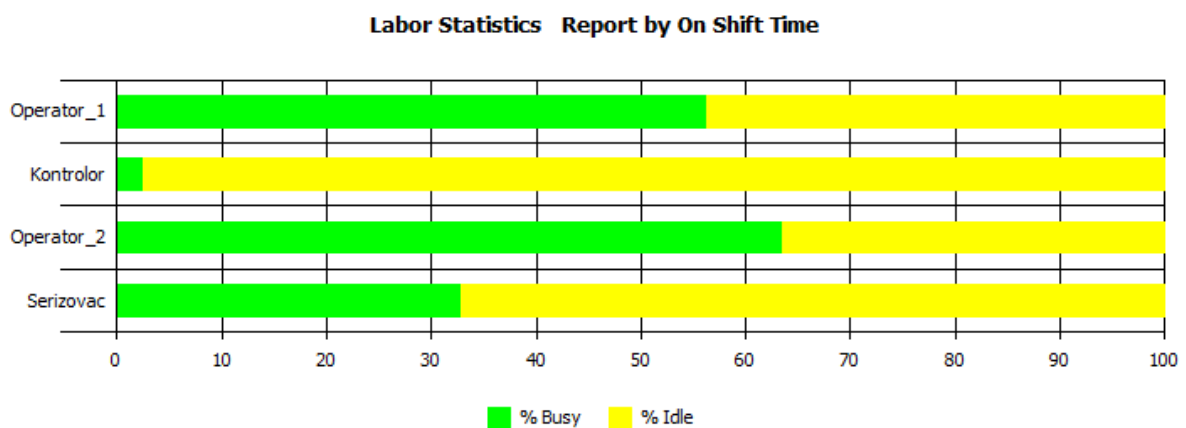
Konkrétně budou provedeny 3 experimenty.

1. Experiment

Do procesu tvarování přibude seřizovač, který bude mít za úkol seřízení obou tvarovacích strojů. Snažíme se tím zjistit, zda je možné dosáhnout úspor na mzdě. Hypotéza říká, že při seřízení zkušenějším pracovníkem dojde ke snížení času seřízení tvarovacích strojů ze 106 min na 76 min a ke kvalitnějšímu seřízení strojů.

Přímé mzdové náklady:

- Seřizovač – 179 Kč/hod (tj. 2.98 Kč/min)
- Operátor – 144 Kč/hod (tj. 2.40 Kč/hod)



Name	% Busy	% Idle	Quantity	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	Avg Job Ti
Operator_1	56.36	43.64	1	5025	5025	0	0	0.78
Kontrolor	2.50	97.50	1	109	109	0	0	1.59
Operator_2	63.49	36.51	1	5547	5547	0	0	0.79
Serizovac	32.83	67.17	1	30	30	0	0	76.00

Obr. č. 31: Witness – experiment 1_statistika pracovníků

Machine Statistics Report by On Shift Time



Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wai	% Setup	% Setup Wai	% Broken D	% Repair Wa	No. Of Oper
stabilizace_1	11.06	8.47	0.00	0.00	52.87	27.60	0.00	0.00	0.00	0.00	840
tvarovani_1	13.41	26.25	0.00	0.00	9.00	34.88	16.41	0.05	0.00	0.00	840
dotvarovani_1	54.72	27.06	0.00	0.00	16.41	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	840
kontrola_1	98.31	1.30	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30
nalozeni_na_vozik_1	99.86	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15
Loader_1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	840
Loader_2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	926
nalozeni_na_vozik_2	99.85	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16
kontrola_2	98.69	1.04	0.00	0.00	0.12	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	24
dotvarovani_2	47.22	32.48	0.00	0.00	18.30	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	926
tvarovani_2	2.72	28.93	0.00	0.00	8.71	41.13	16.41	2.08	0.00	0.00	926
stabilizace_2	0.18	9.33	0.00	0.00	57.45	33.03	0.00	0.00	0.00	0.00	926

Obr. č. 32: Witness – experiment 1 _statistika strojů

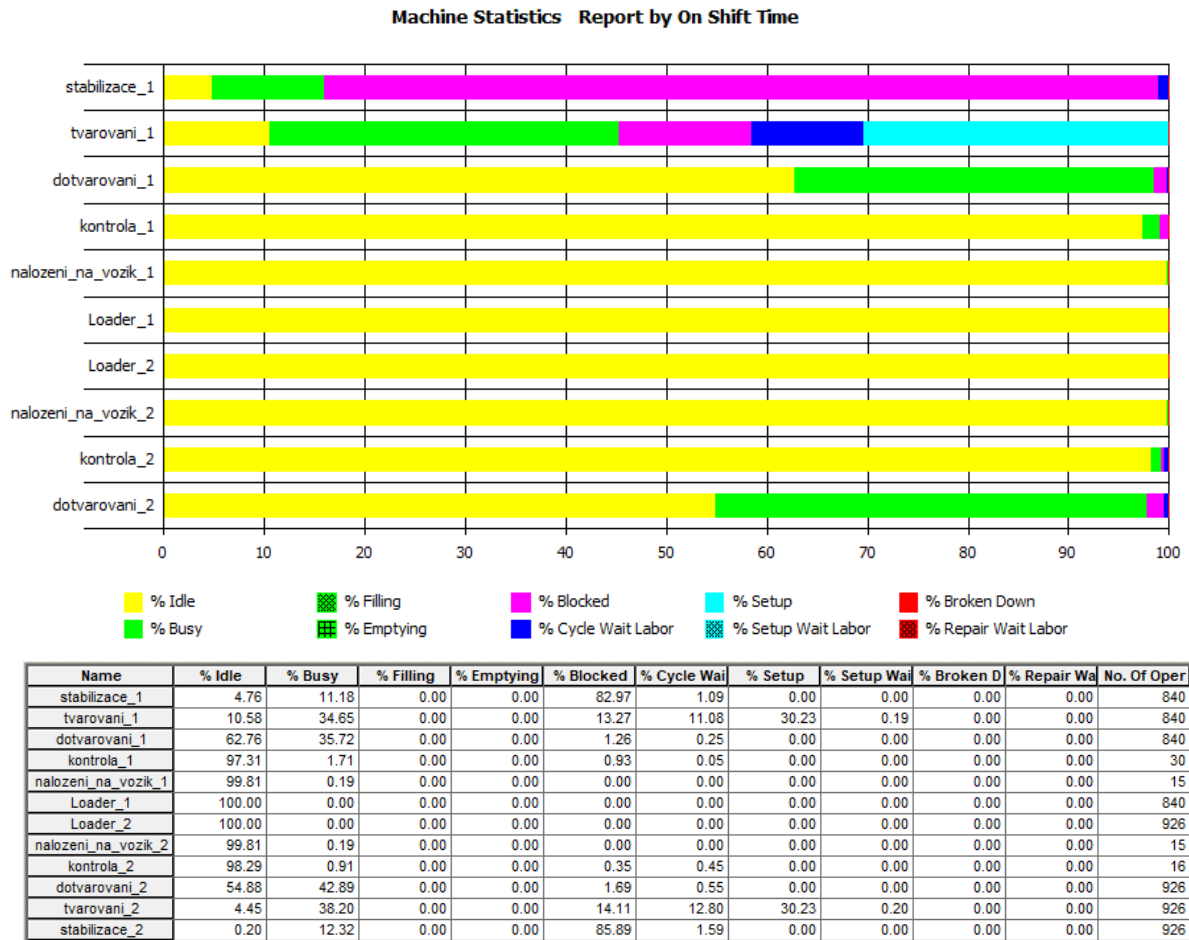
	Costs	Element	Fixed	By Use	By Quantity	Total
		Operator_1(1)	0,00 Kč	9 394,10 Kč		9 394,10 Kč
		Operator_2(1)	0,00 Kč	10 583,05 Kč		10 583,05 Kč
		Serizovac(1)	0,00 Kč	6 794,40 Kč		6 794,40 Kč
	Total Cost		0,00 Kč	26 771,55 Kč	0,00 Kč	26 771,55 Kč

Obr. č. 33: Witness – experiment 1 _statistika nákladů

Délka běhu simulace (po dokončení obou plánů) – 6 945 min. Důvod, proč se liší čas aktuálního stavu a tohoto experimentu je ten, že došlo ke snížení času na dokončení operací celkově o 4 %. Příčinou je snížení času seřízení strojů zkušeným seřizovačem o 30 min. Operátor_1 pracuje 56 % času, naopak Operátor_2 z 63 % času. Na 1. tvarovacím stroji docházelo k čekání na pracovníka 35 % času a na druhém stroji 41 % času, a cca 9 % času byl stroj blokován. Seřízení trvalo 17 % času. Všichni 3 pracovníci nás stáli 26 772 Kč.

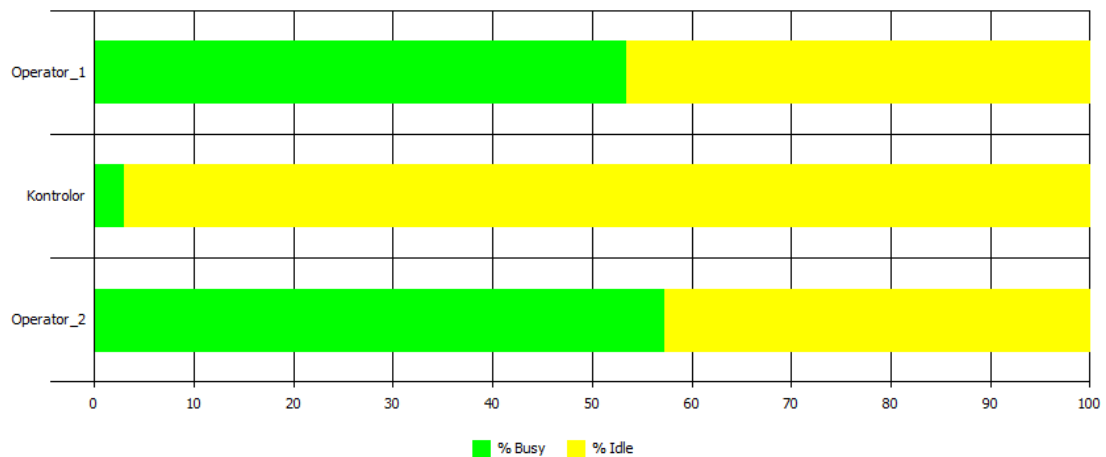
2. Experiment

V tomto experimentu zde budou dva operátoři na jeden tvarovací stroj tzn. celkově 4. Zařízení si sami seřizují, délka seřízení je 106 min. Mzda operátora je 179 Kč/hod (tj. 2.98 Kč/hod).



Obr. č. 34: Witness – experiment 2_statistika strojů

Labor Statistics Report by On Shift Time



Name	% Busy	% Idle	Quantity	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	Avg Job Ti
Operator_1	53.44	46.56	2	5040	5040	0	0	1.12
Kontrolor	3.01	96.99	1	96	96	0	0	1.65
Operator_2	57.23	42.77	2	5566	5566	0	0	1.08

Obr. č. 35: Witness – experiment 2 _statistika pracovníků

Costs	Element	Fixed	By Use	By Quantity	Total
	Operator_1(1)	0,00 Kč	8 224,69 Kč		8 224,69 Kč
	Operator_1(2)	0,00 Kč	8 527,13 Kč		8 527,13 Kč
	Operator_2(1)	0,00 Kč	9 294,05 Kč		9 294,05 Kč
	Operator_2(2)	0,00 Kč	8 648,00 Kč		8 648,00 Kč
Total Cost		0,00 Kč	34 693,87 Kč	0,00 Kč	34 693,87 Kč

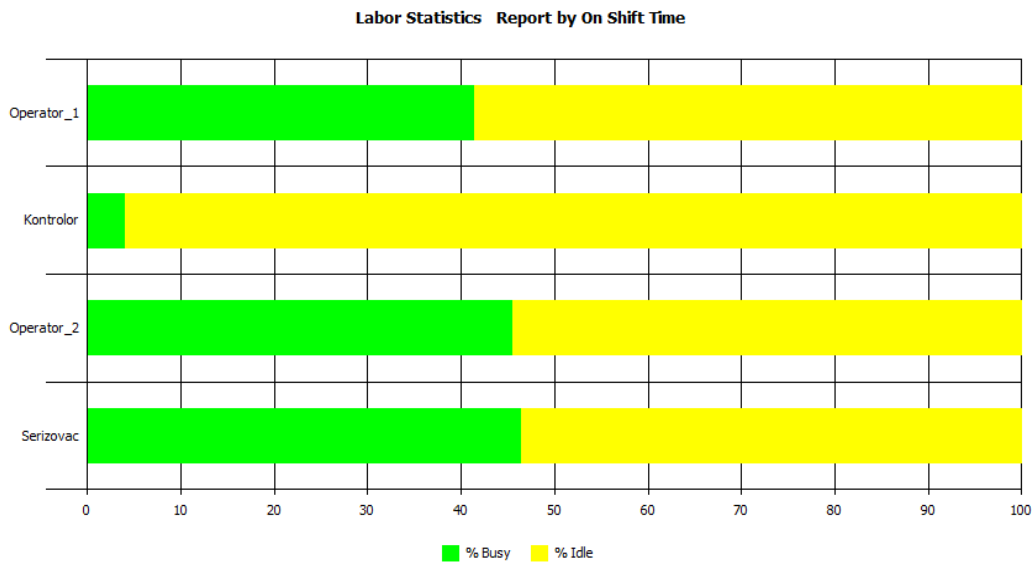
Obr. č. 36: Witness – experiment 2 _statistika nákladů

Komentář

Délka běhu simulace (po dokončení obou plánů) je 5 290 min. Oproti aktuálnímu stavu došlo ke snížení času na dokončení všech operací o 27 %. Příčinou je přidání 2 pracovníků, tedy celkové navýšení na 4 pracovníky. Obsluha tvarovacího stroje 1 je vytížená 53 % a obsluha tvarovacího stroje 2 z 57 %. Na tvarovacích strojích docházelo k čekání 11 % a 13 % času a v rozmezí 13-14 % času se pohybovala blokáce strojů. Seřízení strojů trvalo 30 % času. Všichni 4 pracovníci nás stáli 34 694 Kč.

3. Experiment

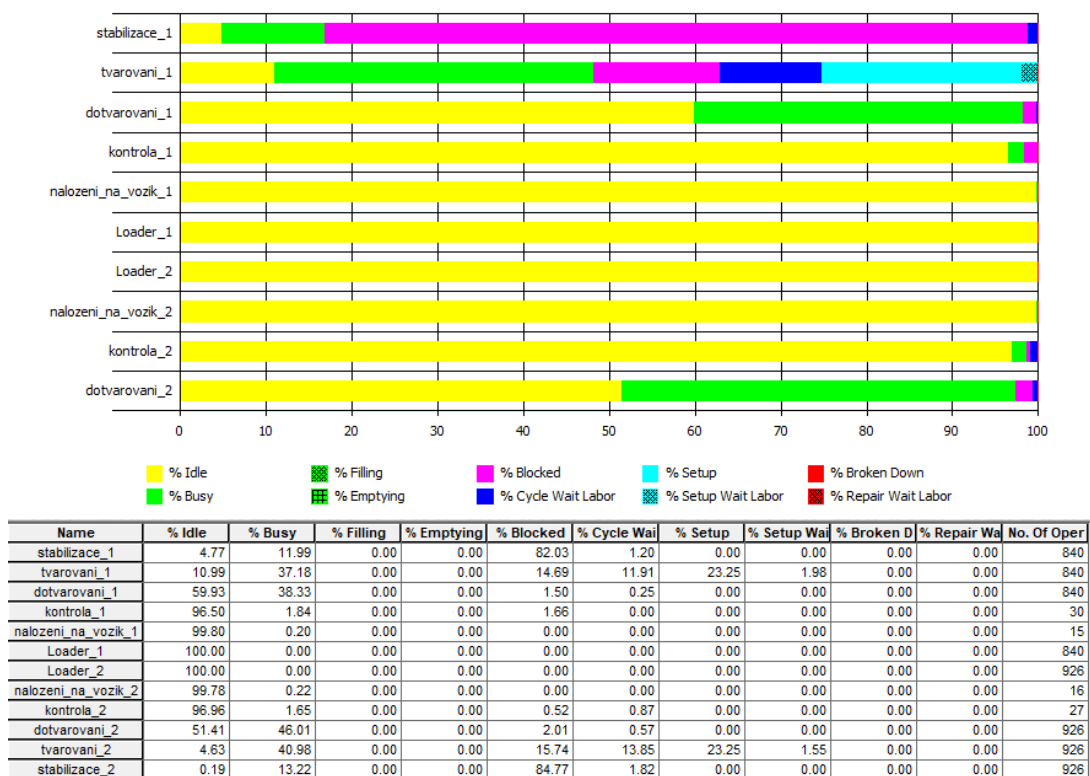
V tomto experimentu zde budou dva operátoři na jeden tvarovací stroj tzn. celkově 4 a přibude k nim jeden seřizovač. Čas seřízení seřizovačem uvažujeme, že je 76 min. Mzda operátora je 179 Kč/hod (tj. 2.98 Kč/hod), mzda seřizovače – 179 Kč/hod (tj. 2.98 Kč/min.).



Name	% Busy	% Idle	Quantity	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	No. Of Jobs	Avg Job Ti
Operator_1	41.39	58.61	2	5025	5025	0	0	0.81
Kontrolor	4.10	95.90	1	118	118	0	0	1.70
Operator_2	45.50	54.50	2	5541	5541	0	0	0.81
Serizovac	46.50	53.50	1	30	30	0	0	76.00

Obr. č. 37: Witness – experiment 3 _statistika pracovníků

Machine Statistics Report by On Shift Time



Obr. č. 38: Witness – experiment 3 _statistika strojů

Costs	Element	Fixed	By Use	By Quantity	Total
	Operator_1(1)	0,00 Kč	5 133,37 Kč		5 133,37 Kč
	Operator_1(2)	0,00 Kč	4 606,77 Kč		4 606,77 Kč
	Operator_2(1)	0,00 Kč	5 479,41 Kč		5 479,41 Kč
	Operator_2(2)	0,00 Kč	5 229,04 Kč		5 229,04 Kč
	Seřizovac(1)	0,00 Kč	6 794,40 Kč		6 794,40 Kč
Total Cost		0,00 Kč	27 242,99 Kč	0,00 Kč	27 242,99 Kč

Obr. č. 39: Witness – experiment 3 _statistika nákladů

Komentář

Délka běhu simulace (po dokončení obou plánů) je 4 903 min. Oproti aktuálnímu stavu došlo ke snížení času na dokončení všech operací o 32 %. Příčinou je přidání pátého seřizovače ke čtyřem pracovníkům, čímž docílíme snížení času seřízení. Obsluha tvarovacího stroje 1 je vytižena z 41 % a obsluha tvarovacího stroje 2 z 46 %. Seřizovač seřizuje 47 %. Na tvarovacích strojích docházelo k čekání 12 % a 14 % času a v rozmezí 15-16 % času se pohybovala blokáce strojů. Seřízení strojů trvalo 23 % času a dalších 2% stroj čekal na seřízení. Všech 5 pracovníků nás stálo 27 242 Kč.

5 Zhodnocení přínosů návrhů řešení

Při porovnávání experimentů s aktuálním stavem došlo k následujícím zjištěním. Zapojení seřizovače nejenom sníží časy seřízení, ale také sníží vytížení pracovníků. Důsledkem je zvýšení doby čekání pracovníků. Dosáhnout úspor z rozsahu je hezká myšlenka, avšak v praxi znamená zabývat se více faktory, provést několik experimentů a také se zabývat otázkou, jak společnost vypočítává mzdy, aby výsledky simulace byly pro podnik smysluplné a využitelné. Při třech osobách (dva pracovníci na dvou strojích a seřizovač) nedochází na čekání seřízení. Tvarovací zařízení čeká na seřizovače tehdy, pokud na pracovišti přibudou další dva pracovníci tvarování. Celkově je jich na pracovišti pět. Seřizovač v této variantě nestíhá, jak lze vidět na 3. experimentu viz. Obr. č. 38.

V budoucnu by bylo přínosné rozšířit experimenty o další varianty, neboť jsou to právě experimenty, které dokáží změnit úhly pohledu i na otázky, o kterých se apriori domníváme, že jsou špatné, dostatečně neefektivní. Vytváření modelů simulací je složité a časově náročné, vyžaduje pochopení procesů a v praxi se nevyhneme pozorování na pracovišti a analýze dat, jak tomu koneckonců bylo i v našem případě. Není proto divu, že společnosti usilující o vytváření digitálních dvojčat ve svých podnicích vyčleňují celé týmy lidí, aby na řešení spolupracovali. Čas strávený zjišťováním informací nelze brát jako ztrátu. Například v tomto procesu zjišťování informací a vytváření simulace, byla nalezena možná úspora až 6 hodin/týdně na pracovišti tvarování, pokud dokážeme lépe pracovat s technologickou přestávkou stroje viz. kap. 4.4.1. Rozhodně tedy přínosem simulace nejsou pouze experimenty, výsledky, ale je to užitečný nástroj v procesu učení, pochopení souvislostí. Vzhledem k situaci, ve které se podniky nachází jsou tyto schopnosti klíčové pro budoucí inovace.

Model digitálního dvojčete považuji za úspěšně dokončený. Bylo prokázáno, že využití prediktivní simulace má své místo i v kusových a malosériových výroбах. Model vytvořený v rámci bakalářské práce bude nadále využit v SEM Drásov, kde bude rozšířen o další hodnoty a budou na něm provedeny další experimenty. Ke snižování nákladů a optimalizaci procesů ve společnosti je nadále zapotřebí provádět další simulace, jež pomáhají zachovat konkurenceschopnost společnosti.

6 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se věnovala optimalizaci výrobního procesu za využití prediktivní simulace. Cílem mé práce bylo vytvořit simulaci na základě reálných dat, jejíž výsledky bude možné využít při dalším hledání ztrát a zvyšování efektivity. Teorie systémů, modelů a simulací dokázala poskytnout odpověď na otázku vhodnosti řešení cílů práce. Během procesu vytváření modelu respektuji souvislosti mezi procesy a další nutné náležitosti vycházející z teoretické části, ve které mj. rozebírám jednotlivé prvky procesního prostředí, metody používané při optimalizaci produkčních procesů a metodiku simulačního projektu, ze které jsem poté vycházela v návrhové části své práce.

Analytická část práce byla zaměřena na představení podniku, se kterým jsem při tvorbě práce spolupracovala a na popis procesů, se kterými se zde můžeme setkat. Pro vytvoření simulace byl podstatný podrobný popis výrobního procesu a jeho analýza. Byl popsán výrobní postup i rozmístění pracovišť a rozdělení činností mezi jednotlivé pracovníky. Při tvorbě této části jsem provedla pozorování. Na základě tohoto popisu současného procesu bylo možné vytvořit digitální dvojče. Ze simulace aktuálního stavu jsem získala potřebná data, jež lze vidět v tabulkách v návrhové části.

V návrhové části byl po diskusích s vedením společnosti SEM Drásov formulován problém, rozsah modelu a cíle, kterých má být dosaženo. Byla provedena simulace aktuálního stavu a posléze další experimenty. Hlavní metrikou jsou mzdové náklady. Na základě porovnání údajů současného stavu a experimentů lze vidět, že aplikací navrhovaných řešení lze dosáhnout značné časové úspory i úspory na mzdě. Dále shromažďování informací a analýza dat poukázala na technologickou přestávku stroje, kterou pokud se alespoň částečně podaří odstranit, dojde ke zvýšení efektivity pracoviště až o 6 hod/týdně při 3směnném provozu. Nalézání ztrát při optimalizaci pracoviště, za použití prediktivního digitálního dvojčete, v této práci prokazuje, že je tento nástroj vhodným řešením při manažerském rozhodování nejen ve velkosériových, ale i v kusových, malosériových výrobcích.

7 Bibliografie

- [1] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [2] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [3] HEŘMAN, Jan. *Řízení výroby*. Slaný: Melandrium, 2001. ISBN 80-861-7515-4.
- [4] SYNEK, Miloslav a Eva KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck, 2010. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-336-3.
- [5] SVĚTLÍK, Vladimír. Systémy pro efektivní operativní řízení výroby. *SystemOnLine.cz - ekonomické a informační systémy v praxi* [online]. Brno: CCB spol. s r.o., 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/clanky/systemy-pro-efektivni-operativni-rizeni-vyroby.htm>
- [6] SYNEK, Miloslav a Eva KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck, 2010. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-336-3.
- [7] HEŘMAN, Jan a Olga HOROVÁ. *Průmyslové technologie pro ekonomy*. Praha: Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1907-4.
- [8] ŘEPA, Václav. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2252-8.
- [9] COMMUNICATION PROMOTERS GROUP OF THE INDUSTRY-SCIENCE RESEARCH ALLIANCE a ACATECH – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry, Final report of the Industrie 4.0 Working Group* [online]. In: . [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/download-pdf?lang=en>
- [10] CEJNAROVÁ, Andrea. Od 1. průmyslové revoluce ke 4. | Technický týdeník. In: *TT / Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ s.r.o., 2007 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [11] BÍLIK, Petr. Digitální dvojče: Vůdčí technologie inteligentního průmyslu - Vše o průmyslu. In: *Portál pro digitalizovanou výrobu - Vše o průmyslu* [online]. Český Těšín: TRADEMEDIA INTERNATIONAL, 2016 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/digitalizace/digitalni-prototypovani/digitalni-dvojce-vudci-technologie-inteligentniho-prumyslu.html>
- [12] GLAESSGEN, Edward a D STARGEL. *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*. Hampton: NASA/Langley Research Center, 2012.

- [13] QI, Qinglin, Fei TAO, Ying ZUO a Dongming ZHAO. Digital Twin Service towards Smart Manufacturing. *Procedia CIRP* [online]. Elsevier B.V, 2018, **72**, 237-242 [cit. 2020-12-27]. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2018.03.103
- [14] RUDRA, Nijhum. Top 10 Strategic Technology Trends for 2017- Gartner Reports. *PC Quest*. 2017. ISSN 0971-216X.
- [15] *Gartner: top 10 strategic technology trends for 2019: top 10 strategic technology trends for 2019*. Newton, 2018. ISSN 18174027.
- [16] QI, Qinglin, Fei TAO, Ying ZUO a Dongming ZHAO. Digital Twin Service towards Smart Manufacturing. *Procedia CIRP* [online]. Elsevier B.V, 2018, **72**(51), 237-242 [cit. 2020-12-27]. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2018.03.103
- [17] GRIEVES, Michael. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication: A Whitepaper* [online]. , 9 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
- [18] WOPATA, Matthew. Industry 4.0 Adoption 2020 - who is ahead?. In: *IoT Analytics - Market insights for the Internet of Things* [online]. Hamburg, Germany: IoT Analytics, 2021 [cit. 2021-05-22]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/industry-4-0-adoption-2020-who-is-ahead/>
- [19] WILSON, Lonnie. *How to implement lean manufacturing*. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 978-0-07-162507-4.
- [20] EARLEY, John A. A. *The Lean Book of Lean: A Concise Guide to Lean Management for Life and Business*. 1. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2016. ISBN 978-1-119-27170-3.
- [21] ROTHER, Mike. *Toyota kata: systematickým vedením lidí k výjimečným výsledkům*. 1. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0435-2.
- [22] SHINGO, Shigeo. *A revolution in manufacturing: the SMED system*. 1. Stamford, Conn.: Productivity Press, 1985. ISBN 09-152-9903-8.
- [23] VIDECKÁ, Zdeňka. *Management výroby: studijní opora*. Brno, 2015.
- [24] OHNO, Taiichi. *Toyota production system: beyond large-scale production*. Boca Raton: Productivity Press, 1988. ISBN 09-152-9914-3.
- [25] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- [26] KILIC, Huseyin Selcuk, M. Bulent DURMUSOGLU a Murat BASKAK. Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2012, **62**(9-12), 1135-1146 [cit. 2021-05-12]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-011-3875-4
- [27] ŠLAICHOVÁ, Eva. Racionalizace technické kontroly výroby. *ACC journal* [online]. Technical University of Liberec, 2012, **18**(3), 192-201 [cit. 2021-05-16]. ISSN 1803-9782. Dostupné z: <https://doaj.org/article/cd50fab40056451785b8b38c7b9aa649>

- [28] DLABAČ, Jaroslav. Analýza a měření práce | API Akademie. In: *API - Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečovice: API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o., c2005-2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace#:~:text=Pod%20n%C3%A1zvem%20anal%C3%BDza%20a%20m%C4%9B%C5%9En%C3%AD,roz%C4%9Blit%20do%20dvou%20z%C3%A1kladn%C3%ADch%20skupin.>
- [29] *Prezentace API*. Želečovice, 2019.
- [30] DLABAČ, Jaroslav. *Techniky analýzy a měření práce I* [prezentace]. Želečovice: API – Akademie produktivity a inovací, 2015. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/5760817-Techniky-analyzy-a-mereni-prace-i.html>
- [31] *What Is Ergonomics? | The International Ergonomics Association is a global federation of human factors/ergonomics societies, registered as a nonprofit organization in Geneva, Switzerland*. [online]. Geneva, Switzerland.: The International Ergonomics Association [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>
- [32] KARBUSOVÁ, Marie. *Seznámení s metodikou MTM – Ergonomie - CIP* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013, 49 s. [cit. 22.5.2020]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/TP/2013_18_03_Projektov%C3%A1n%C3%AD%20v%C3%BDrobn%C3%ADch%20syst%C3%A9m%C5%AF_Sezn%C3%A1men%C3%AD%20M-TM-Erg-CIP.pdf
- [33] MITAL, Aashi, Anil MITAL a Anoop DESAI. *Fundamentals of Work Measurement: What Every Engineer Should Know* [online]. USA: CRC Press, 2017 [cit. 2021-05-16]. ISBN 978-1-4987-4582-6. Dostupné z: <https://www.routledge.com/Fundamentals-of-Work-Measurement-What-Every-Engineer-Should-Know/Mital-Desai-Mital/p/book/9781498745826>
- [34] PELÁNEK, Radek. *Modelování a simulace komplexních systémů: jak lépe porozumět světu*. Brno: Masarykova univerzita, 2011. ISBN 978-80-210-5318-2.
- [35] BANKS, Jerry, John S. CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. *Discrete-Event System Simulation*. 5. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2010. ISBN 0-13-815037-0.
- [36] LAW, A. a W. KELTON. *Simulation modeling and analysis*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 9780073401324.
- [37] *Matematická biologie učebnice: Spojité a diskrétní náhodné veličiny. Matematická biologie učebnice: Úvod* [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovy univerzity [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinicky-a-biologicky-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--nahodna-velicina-rozdeleni-pravdepodobnosti-a-realna-data--spojite-a-diskretni-nahodne-veliciny&fbclid=IwAR2ejUvwajV6e-QL-_ubr3nTmeAQbwyp6iuD3dfTLAFVHD_TKMGjWLwElcA
- [38] SWART, William a Luca DONNO. Simulation Modeling Improves Operations, Planning, and Productivity of Fast Food Restaurants. *Interfaces* [online]. 1981, **11**(6), 35-47 [cit. 2021-03-27]. ISSN 0092-2102. Dostupné z: doi:10.1287/inte.11.6.35

- [39] WITNESS - *Learning book number one: Manufacturing Performance Edition* [online manuál k aplikaci]. United Kingdom: © Lanner Group Ltd, 2016, 112 s. [cit. 24.4.2021]. ISBN: 978-1-291-47674-3. Dostupné v rámci aplikace Witness Horizon.
- [40] BANKS, Jerry a Randall GIBSON. Don't simulate when...10 rules for determining when simulation is not appropriate. *IIE Solutions* [online]. Norcross: Institute of Industrial and Systems Engineers (IIE), 1997, **29**(9), 30-32 [cit. 2021-04-24]. ISSN 10851259. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/231536381/>
- [41] JEŽKOVÁ, Zuzana. *Projektové řízení: jak zvládnout projekty*. Kuřim: Akademické centrum studentských aktivit, 2013. ISBN 978-809-0529-717.
- [42] *ISO 9000:2015*. 4th. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2015.
- [43] Annual Report 2020. In: *SIEMENS* [online]. Berlin and Munich: Siemens AG, 2020 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uid:45446098-6c39-45ba-a5fc-e5f27ebfa875/siemens-ar2020.pdf>
- [44] Siemens je součástí českého průmyslu již 120 let. In: *Siemens Česká republika* [online]. Praha: Siemens, s.r.o., 2020 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/zpravy>
- [45] Siemens Česká Republika. In: *Historie společnosti: Fotokniha* [online]. Drásov: Siemens Electric Machines s.r.o., 2013 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs.html>
- [46] *Příručka Integrovaného systému řízení*. Drásov: Siemens Electric Machines s.r.o., 2019.
- [47] MTO (Make To Order) | Lean Manufacturing. *Lean Manufacturing* [online]. Japan: Asprova Corporation, 2008 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://www.lean-manufacturing-japan.com/scm-terminology/mto-make-to-order.html>
- [48] HUTYRA, Milan. *Management jakosti*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1484-1.
- [49] Portfolio Companies | Our offering | Siemens Global. *Siemens* [online]. Munich, Germany: Siemens, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/company/about/businesses/portfolio-companies.html>
- [50] *Příručka jakosti _Siemens_ interní dokument*.
- [51] LAZAR, Jaromír. *Manažerské účetnictví a controlling*. Praha: Grada, 2012. Účetnictví a daně (Grada). ISBN 9788024741338.
- [52] JEŽEK, Vlastimil. Když OEE mám měřit, tak výsledkům chci věřit. In: *API - Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečovice: API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o., © 2005-2021 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25911n-kdyz-oee-mam-merit-tak-vysledkum-chci-verit>
- [53] ZANDIN, Kjell B. a Therese M. SCHMIDT. *MOST® Work Measurement Systems* [online]. 4th. USA: CRC Press, 2021 [cit. 2021-05-15]. ISBN 978-0-367-34531-0. Dostupné z: <https://www.routledge.com/MOST-Work-Measurement-Systems/Zandin-Schmidt/p/book/9780367345310>

- [54] VYTLAČIL, Milan, Ivan MAŠÍN a Miroslav STANĚK. *Podnik světové třídy: geneze produktivity a kvality*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 1997. ISBN 80-902-2351-6.
- [55] PÉREZ-GOSENDE, Pablo, Josefa MULA a Manuel DÍAZ-MADROÑERO. Facility layout planning. An extended literature review. *International journal of production research*. --(--), 1-40. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/00207543.2021.1897176
- [56] DOSTALOVÁ, Zuzana. Frontend vs. Backend - Czechitas. In: *IT je i Tvoje budoucnost. - Czechitas* [online]. Praha: Czechitas, c2016-2021 [cit. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://www.czechitas.cz/cs/blog/zaciname-s-it/frontend-vs-backend>
- [57] Milk run - Wikipedia. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Milk_run
- [58] FERNANDO, JASON a JULIUS MANSA. Return on Investment (ROI) Definition. In: *Investopedia: Sharper insight, better investing*. [online]. Dotdash [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>

8 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Vztahy mezi strategickým plánem a plány operativními [2].....	14
Obr. č. 2: vývojové etapy průmyslové revoluce (zpracováno dle [9])	15
Obr. č. 3: Úroveň jednotky, systému a SoS v pětidimenzionální modelu digitálního dvojčete [16].....	18
Obr. č. 4: Klíčové osvojení 17 technologií v rámci průmyslu 4.0 pro rok 2020 [18]	19
Obr. č. 5: SMED (zpracováno dle [23])	22
Obr. č. 6: Diskrétní systém [35]	28
Obr. č. 7: Spojitý systém [35].....	28
Obr. č. 8: Způsoby studování systému [36].....	29
Obr. č. 9: 11 základních kroků simulačního projektu (zpracováno dle [35] [39])	31
Obr. č. 10: Siemens Electric Machines s.r.o. v Drásově	35
Obr. č. 11: Organizační struktura (vlastní zpracování dle intranetu společnosti)	37
Obr. č. 12: Členění procesů ve společnosti (vlastní zpracování dle [46])	39
Obr. č. 13: Operativní procesy (zpracováno dle [50]).....	44
Obr. č. 14: Rozpad elektrického točivého stroje vyráběného v SEM Drásov	45
Obr. č. 15: Detailní mapa procesů	47
Obr. č. 16: Detailní mapa procesů – subproces tvarování	48
Obr. č. 17: 3D vizualizace pracoviště.....	50
Obr. č. 18: Time Measurement API – tlačítka.....	51
Obr. č. 19: Analýza činnosti pracovníka	51
Obr. č. 20: Analýza práce stroje	52
Obr. č. 21: Špagetový diagram	53
Obr. č. 22: Ishikawa diagram — tvarování cívek.....	54
Obr. č. 23: Kontingenční tabulka data Witness	57
Obr. č. 24: Witness_zadání_dat.....	61
Obr. č. 25: Konceptuální schéma procesu tvarování ve WITNESS	62
Obr. č. 26: Witness – 3D model pracoviště.....	63
Obr. č. 27: Witness – 2D model pracoviště.....	63
Obr. č. 28: Witness – aktuální stav_statistika pracovníků.....	64
Obr. č. 29: Witness – aktuální stav_statistika strojů	65
Obr. č. 30: Witness – aktuální stav_statistika nákladů	65
Obr. č. 31: Witness – experiment 1_statistika pracovníků.....	66
Obr. č. 32: Witness – experiment 1_statistika strojů.....	67
Obr. č. 33: Witness – experiment 1_statistika nákladů	67
Obr. č. 34: Witness – experiment 2_statistika strojů.....	68
Obr. č. 35: Witness – experiment 2_statistika pracovníků.....	69
Obr. č. 36: Witness – experiment 2_statistika nákladů	69
Obr. č. 37: Witness – experiment 3_statistika pracovníků.....	70
Obr. č. 38: Witness – experiment 3_statistika strojů.....	71
Obr. č. 39: Witness – experiment 3_statistika nákladů	71

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Metody měření času dle cyklového času a. objemu výroby [53].....	25
Tabulka 2: Stanovení počtu měření [54]	26
Tabulka 3: Witness_normativy.....	60
Tabulka 4: Witness_1_plán.....	60
Tabulka 5: Witness_2_plán.....	61