

Racionalizace návrhu výrobní linky na základě simulačního modelu

Bc. Michal Žváček

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Žváček**
Osobní číslo: **M18228**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Racionalizace návrhu výrobní linky na základě simulačního modelu**

Zásady pro vypracování

Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

I. Teoretická část

- Zpracujte literární podklady týkající se filozofie lean, nástrojů pro plánovací analýzy a počítačových simulací.

II. Praktická část

- Analyzujte koncepty vybraných linek a vytvořte simulační modely těchto konceptů.
- Na základě výsledků analýzy a simulačních modelů vytvořte projekt pro vytvoření linky.
- Zhodnoťte navrhované řešení.

Závěr

Rozsah diplomové práce: **cca 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BADIRU, Adedeji Bodunde. *Handbook of industrial and systems engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014, 1452 s. ISBN 978-1-4665-1504-8.
- BANGSOW, Steffen. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and Simtalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer, 2010, 297 s. ISBN 978-3-642-05073-2.
- BAUER, Miroslav. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Brno: BizBooks, 2012, 193 s. ISBN 978-80-265-0029-2.
- CHROMJAKOVÁ, Felicity a Rastislav RAJNOHA. *Řízení a organizace výrobních procesů: kompendium průmyslového inženýra*. Žilina: GEORG, 2011, 138 s. ISBN 978-80-89401-26-0.
- SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011, 223 s. Expert. ISBN 978-80-247-3938-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Pivnička, Ph.D.**
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání diplomové práce: **6. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. dubna 2020**

L.S.

doc. Ing. David Tuček, Ph.D.
děkan

Ing. Eva Juříčková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORADIPLOMOVÉ PRÁCE

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na elektronickém nosiči v příruční knihovně Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s přípustí-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

1. že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
2. že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

Jméno a příjmení:

.....

podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na racionalizaci návrhu výrobní linky. V teoretické části práce jsou zpracovány literární podklady, které slouží jako znalostní základna pro praktickou část. Praktická část je rozdělena na analýzu a projekt. V rámci analýzy je zpracována MTM pohybová analýza a počítačová simulace. Na základě uvedených analýz je vytvořen projekt, který je zaměřen na výstavbu nové montážní linky. V závěru práce je projekt zhodnocen po finanční stránce.

Klíčová slova: MTM, počítačová simulace, montážní linka, automatizace, výrobní takt

ABSTRACT

This work is aimed to the rationalization of the production line proposal. In the theoretical part are processed literary materials, which serve as a knowledge base for the practical part. The practical part is divided into analysis and project. The analysis includes MTM motion analysis and computer simulation. Based on these analyzes, a project is created that focuses on the construction of a new assembly line. At the end of the work the project is evaluated financially.

Keywords: MTM, computer simulation, assembly line, automation, production cycle

Poděkování bych chtěl věnovat především panu Ing. Michalu Pivničkovi, Ph.D., který vedl mou diplomovou práci. Velmi si vážím jeho aktivního přístupu ke konzultacím a dobrých rad, které mi věnoval po celou dobu psaní této diplomové práce.

Děkuji své rodině za celoživotní podporu ve studiu, díky které tato práce mohla vzniknout. Díky paří i společnosti, ve které tato práce vznikla. Díky ní byla získána potřebná data pro vytvoření této práce.

OBSAH

ÚVOD	8
CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY LEAN	11
1.1 LEAN V PODNIKU.....	12
1.2 LEAN VE VÝROBĚ	14
2 INDUSTRY 4.0	15
2.1 PODOBNOSTI MEZI INDUSTRY 4.0 A LEAN	15
2.2 ROZDÍLY MEZI LEAN A INDUSTRY 4.0	16
2.3 INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS	17
3 PROJEKTOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH BUNĚK A PRACOVÍŠŤ	18
3.1 MONTÁŽNÍ BUŇKY	19
3.1.1 Postup při projektování montážních buněk:.....	19
3.1.2 Tvary montážních buněk.....	20
3.1.3 Štíhlé pracoviště	21
3.1.4 5S.....	21
3.1.5 Ergonomie	22
4 METODY PŘEDEM URČENÝCH ČASŮ	24
4.1 MTM	25
4.1.1 MTM-1.....	25
4.1.2 MTM-2.....	26
4.1.3 MTM-UAS	26
4.2 MOST.....	27
5 VYUŽITÍ SIMULACÍ PŘI PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH LINEK	29
6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
7 PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI	34
7.1 HISTORIE SPOLEČNOSTI	34
7.2 STRUKTURA SPOLEČNOSTI.....	35
7.3 VÝROBA	35
7.4 TECHNICKÉ CENTRUM	35
7.5 INFORMAČNÍ TECHNOLOGIE	35
7.6 PODPŮRNÁ ODDĚLENÍ.....	35
7.7 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY	36
7.7.1 Popis aktuální situace ve firmě	36
7.7.2 Požadavky společnosti	37
7.7.3 Stěžejní oddělení	37
8 ANALYTICKÁ ČÁST	39
8.1 POPIS MONTÁŽE.....	39
8.2 ZPRACOVÁNÍ MICROLAYOUTŮ.....	40
8.2.1 Golden zone	42

8.2.2	Strike zone.....	43
8.2.3	Microlayout	43
8.3	MTM ANALÝZA	45
8.3.1	MTM Analýza pro pracoviště E040 BASIS před automatizací.....	48
8.3.2	MTM Analýza pro pracoviště E040 BASIS po automatizaci	52
8.3.3	Určení počtu pracovníků na základě MTM analýzy	54
8.3.4	Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS	55
8.3.5	Určení počtu pracovníků pro variantu HIGH.....	57
8.4	POČÍTAČOVÁ SIMULACE	58
8.4.1	Vstupní data	59
8.4.2	Princip fungování simulace podle plánu montáže	61
8.4.3	Výpočet ročního požadavku.....	62
8.4.4	Výstupy simulace varianty BASIS před automatizací	62
8.4.5	Výstupy simulace varianty BASIS po automatizaci	64
8.4.6	Výstup simulace varianty BASIS experiment.....	66
8.4.7	Výstup simulace varianty HIGH před automatizací	67
8.4.8	Výstup simulace varianty HIGH po automatizaci	68
8.4.9	Výstup simulace varianty HIGH experiment	69
8.4.10	Shrnutí počítačové simulace	70
9	SHRnutí ANALYTICKÉ ČÁSTI	71
10	PROJEKTOVÁ ČÁST.....	72
10.1	LOGICKÝ RÁMEC PROJEKTU	73
10.2	RIZIKOVÁ ANALÝZA	74
10.3	ČASOVÝ HARMONOGRAM PROJEKTU	77
10.3.1	Definování odpovědností	78
10.3.2	Vytvoření specifikace pro dodavatele	79
10.3.3	Přípravy před dovozem linky	80
10.3.4	Převoz linky	80
10.3.5	Zprovoznění linky	80
10.3.6	Vytvoření standardů výroby.....	81
10.3.7	Proškolení operátorů	81
10.3.8	Výroba prvních OK kusů	81
10.4	ZHDNOCENÍ NAVRHNUTÉHO PROJEKTU	82
10.4.1	Výpočet návratnosti investice	84
10.5	SHRnutí PROJEKTU	85
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	88
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM TABULEK.....	94
	SEZNAM GRAFŮ	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

V dnešní době se velké výrobní firmy, které drží aktuální trendy výroby, musejí velmi snažit, aby si byly schopny vytvořit či udržet konkurenční výhodu. Je velmi obtížné se prosadit v tak husté konkurenci, jako je například odvětví automotive. To firmy vede k tomu, že jsou nuceny používat stále vyspělejší výrobní technologie.

Do jisté doby bylo velikým trendem aplikovat ve firmách „štíhlou výrobu“, která je zaměřena na eliminaci veškerých činností, které jsou kategorizovány jako plýtvání. Tím se rozumí všechny činnosti, které nepřinášejí finálnímu zákazníkovi hodnotu a on za ně není ochotný zaplatit. Princip „štíhlé výroby“ neboli filosofie „Lean“ je stále ve firmách důležitý. Dalo by se říct, že v některých oblastech průmyslu je tento přístup dokonce nezbytný. A to je důvod, proč firmy hledají nové cesty, jak si vytvořit náskok před konkurencí. Logickým krokem je rozšířit tuto „štíhlou“ filosofii napříč celým podnikem. Většina firem se tak snaží fungovat a rozšiřovat tyto principy na všechny podnikové procesy.

V aktuální situaci se čím dál víc mluví o „štíhlém vývoji“. Spousta firem se již nezabývá pouze výrobou, ale i vývojem nových produktů. To je velkou výhodou z hlediska plynulosti procesů, které se mohou řešit interně. Díky tomu, že se firmy zabývají jak vývojem, tak výrobou, je možné eliminovat daleko větší množství chyb a vad již ve vývojové fázi a zabránit tak zbytečnému prodražování projektů, které byly špatně navrženy.

V souvislosti s faktem, že mnoho firem už si nevystačí pouze s dodržováním „štíhlých“ principů, aby si dokázalo udržet konkurenční výhodu, přichází do firem masivní vlna automatizace a digitalizace, která je způsobena posledními trendy, které přinesl INDUSTRY 4.0. Spousta firem dnes investuje do automatizace a robotizace s cílem snížit celkové výrobní náklady a zvýšit efektivitu výroby.

Dnešní situace svědčí o tom, že automatizace je směr, kterým se ubírá a bude dále ubírat velká část firem. Proto je třeba posilovat vývojové aktivity, aby si firmy byly samy schopné určit způsob výroby, který se jim vyplatí nejvíce.

CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je vytvoření projektu racionalizace návrhu výrobní linky. Tento návrh je potřeba porovnat s aktuálním plánem a určit, která z těchto variant je pro firmu finančně výhodnější.

K dosažení výše uvedeného cíle budou použity následující metody:

- Zpracování teoretických východisek na základě literatury a internetových zdrojů na téma, které se týká praktické části této práce. Konkrétně jde o základní principy „štíhlé“ filosofie, industry 4.0, projektování montážních buněk a pracovišť, metody předem určených časů a využití počítačových simulací při projektování výrobních linek.
- Analýza montážního toku, která bude zpracovávat posloupnost montážního procesu při dvou variantách výroby.
- Vytvoření microlayoutů (detailů jednotlivých pracovišť) dle metodologie „Golden zone“ a „Strike zone“.
- MTM plánovací analýza, která spadá mezi metody předem určených časů, bude použita pro určení časové náročnosti na jednotlivých pracovištích při různých variantách výroby.
- Určení počtu pracovníků pomocí vybalancování linky dle taktu požadovaného zákazníkem.
- Využití počítačové simulace v rozhraní Tecnomatix Plant Simulation od společnosti Siemens. Tato simulace má sloužit k ověření MTM plánovací analýzy a otestovat zásobování linky v konkrétním časovém horizontu.
- Metoda SMART pro určení projektového cíle.
- Logický rámec projektu.
- Metoda RIPRAN pro vytvoření analýzy rizik v uvažovaném projektu.
- Pro přehlednost a snadnou orientaci bude vytvořen časový harmonogram projektu, který bude definovat, které činnosti projektu se mají provádět v konkrétních kalendářních týdnech.
- Vyčíslení návratnosti investic v případě realizace projektu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY LEAN

Podstatou „Lean“ je seskupení určitých principů a postupů, které se zabývají identifikací a následnou eliminací těch procesů a činností, které nepřidávají zákazníkovi hodnotu během vyrábění výrobku či zprostředkování služeb, které mají sloužit zákazníkům konkrétních procesů. (Svozilová, 2011, s. 32)

Tímto pohledem se dají podle Svozilové (2011, s. 32) určit nechtěné produkty nebo plýtvání. Tato filosofie byla vyvinuta především pro zdokonalení podnikových procesů ve výrobních odvětvích, avšak později se tyto principy začaly aplikovat i v jiných oblastech, zejména v administrativě a ve službách. Podstata filosofie „Lean“ je velmi jednoduchá. Celá tato filosofie je totiž stavěna na jednoduchosti a na logickém uvažování. Dalo by se tvrdit, že „Lean“ staví na „selském rozumu“, a to metodologicky a systematicky.

Badiru (2014, s. 291) uvádí, že „Lean“ je soubor principů, konceptů a technik, které vycházejí z Toyota JIT (Just-in-time) systému výroby. JIT znamená dosahovat přesně takového množství produkce, jaké požaduje zákazník. Předcházející procesy ve výrobě mají minimální, ideálně žádné plýtvání materiálem. Jedná se o strategii, kdy konkrétní výrobní operace zásobuje další výrobní operaci přesně v požadovaný čas a požadovaném množství.

Oproti tomu Ing. Pavelka (2017) ve svém článku sděluje, že se často setkává s názorem, že filosofie „Lean“ je užívána především ve velkosériových výrobních odvětvích, v odvětví automotive atd. Spoustu lidí si neumí představit, jak by mohla tato filosofie fungovat mimo výrobní sféru. Není jednoduché přijít na nějakou konkrétní metodu, kterou lze aplikovat. Ovšem „Lean“ není pouze o aplikaci konkrétních zlepšovacích metod a neřeší pouze zlepšování procesů. Spíše ukazuje jiný pohled na danou problematiku a hledá nové cesty. Cílem tedy není jen zlepšovat procesy, ale především hledat nové cesty.

Klíčovými principy „Lean“ filosofie jsou:

- *„Otevřenost – problém je příležitost,*
- *Problém se detailně zkoumá a řeší tam, kde vznikl,*
- *Snaha o dokonalost – zlepšování nikdy nekončí,*
- *Důvěra a spolupráce vytvářejí synergii,*
- *Minimalizace plýtvání a maximalizace přidané hodnoty,*
- *Definování hodnoty pro zákazníka,*
- *Vybudování plynulých toků,*

- *Zavedení tahového řízení,*
- *Dovedení všeho do dokonalosti.*“ (Chromjaková, 2013, s. 33)

Pavelka (2017) ve svém článku popisuje čtyři základní charakteristiky, na kterých filosofie „Lean“ staví:

- Vymezení a určení zákaznické přidané hodnoty, kterou je třeba neustále zlepšovat,
- Určení hodnotového toku, jehož cílem je dokonalost díky odstranění neefektivity,
- Využití tahových systémů a JIT – výrobek či služba se tvoří pouze v případě požadavku,
- Veškeré zúčastněné zaměstnance je třeba zapojit do systematického a neustálého zlepšování.

Podle Svozilové (2011, s. 33) metodologie „Lean“ představuje:

- Filosofický přístup, který je dlouhodobý a je prosazován vedením společnosti skrze dlouhodobé strategické úkoly,
- Proces je nositelem kvality, proto je třeba se na něj zaměřit,
 - Pokud je proces správně navržen, budou výrobky kvalitní,
 - Pokud je proces vyvážený a plynulý, pak náklady nemusí krýt špičky a udržování zásob,
 - Pokud proces produkuje v požadovaném množství to, co má, bude splňovat to, co požaduje trh,
 - Pokud se proces zaměří na dílčí opravy, pak nebude zatížen náklady na přepracování neshodných výrobků,
- Vyhledávání konkrétních jednotlivců, kteří aplikují naše záměry, starání se o jejich osobní rozvoj,
- Podpora samoučících se procesů a rozvoje společnosti.

1.1 Lean v podniku

„Lean“ v podniku, jinými slovy „štíhlý podnik“. Jeho podstatu lze vyjádřit těmito pilíři, které v synergii vedou k dobrému managementu znalostí a k rozvoji podnikové kultury: (Košturiak a Frolík, 2006, s. 20)

- *„Štíhlá výroba,*
- *Štíhlá administrativa,*

- *Štíhlá logistika,*
- *Štíhlý vývoj.* “ (Košturiak a Frolík, 2006, s. 20)

Základem pro „štíhlý podnik“ je myšlenka eliminace plýtvání. Někteří autoři definují 7 druhů plýtvání. Často je těchto 7 (někteří autoři uvádí 8) druhů plýtvání označováno pojmem „MUDA“. Tento pojem pochází z Japonska a vyjadřuje „Nekonečně mnoho“. (Bauer, 2012, s. 26)

Plýtvání je cokoli, co navyšuje náklady na konkrétní produkt, aniž by tato konkrétní věc přidávala hodnotu pro zákazníka. (Pavelka, 2015)

Bauer (2012, s. 26-27) takto definuje 7 druhů plýtvání:

- *„Čekání,*
- *Zásoby,*
- *Transport,*
- *Zmetky,*
- *Chyby ve výrobě,*
- *Nadprodukce,*
- *Zbytečné pohyby.*“

Oproti tomu Benedikt (2019) ve svém článku o plýtvání uvádí osm druhů plýtvání, které jsou mírně odlišné.

- *„Přesuny,*
- *Zásoby,*
- *Pohyb,*
- *Nevyužitý lidský potenciál,*
- *Čekání,*
- *Zbytečná komplexita,*
- *Nadprodukce,*
- *Chyby.*“ Benedikt (2019)

Významným prvkem pro „zeštíhlení“ podniku může být použití metody „KAIZEN“. Přičemž slovo kaizen vychází z japonštiny a znamená „zlepšení“. Kaizen je strategie, která se zaměřuje na eliminaci plýtvání (všeho, za co zákazník není ochoten zaplatit) pomocí malých krůčků. (Hobbs, 2011, s. 11)

Základním faktorem metody kaizen jen zapojení co nejvíce pracovníků z konkrétní organizační jednotky. Nesejde na tom, jestli jsou zapojeni pracovníci manažeři či řadoví pracovníci. Podstatou je, že se může zapojit naprosto každý a vznášet podněty pro zlepšování. Tyto návrhy pracovníků jsou následně kolektivně diskutovány. (Kaizen, ©2016)

1.2 Lean ve výrobě

Podle zkušeností Košturiaka a Frolíka (2006, s. 23) se dá definovat několik prvků štíhlé výroby. Patří mezi ně:

- *„Štíhlé pracoviště,*
- *Týmová práce,*
- *Management toku hodnot,*
- *Kanban, pull synchronizace, vyvážený tok,*
- *Kaizen,*
- *Procesy kvality a standardizovaná práce,*
- *Štíhlý layout výrobní buňky,*
- *TPM, rychlé změny, redukce dávek.“* (Košturiak a Frolík, 2006, s. 23)

Chromjaková a Rajnoha (2011, s. 44) uvádí, že „Lean“ nebo jinak „štíhlá výroba“ je ucelený systém, který je zaměřen především na změnu myšlení v oblasti řízení konceptů výroby, které jsou realizovány na podnět lidí. Cílem štíhlé výroby je dosažení efektivně řízeného postupu, vyladěných výrobních procesů a souvisejících operací. To vše na základě uvědomění si, že ve zvyšování produktivních složek tvořících přidanou hodnotu je velký potenciál. Dobrou zprávou je, že tyto „Lean“ principy si postupně razí cestu i do oblasti administrativy a dalších obslužných procesů, které fungují na velmi podobných principech jako výrobní procesy. Stěžejním bodem je v tomto případě zapojení a „vtažení“ všech zaměstnanců do této filosofie, všech optimalizačních procesů a také do všech zlepšovacích procesů.

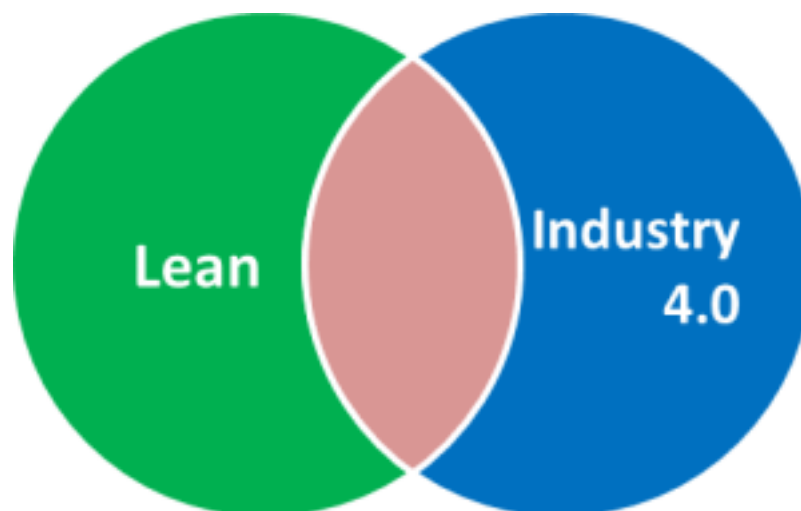
2 INDUSTRY 4.0

Aktuální situace je taková, že se stále více mluví o nové éře výroby, která navzájem elektronicky propojuje (IoT) celý proces od přání zákazníka, přes veškeré administrativní procesy, až po expedici k samotnému zákazníkovi. Čím dál více se role operátorů nahrazuje chytrými stroji a z továren se pomalu stávají inteligentní továrny, kde lidé už jen dohlíží na činnost strojů. Nové softwarové prostředí umožní, že se budou výrobní programy měnit okamžitě podle přání zákazníka a také se budou samy opravovat. Lidé se budou moci rozhodovat na základě obrovského objemu dat, která budou uložena na cloudu. To podle Wencela (2018) znamená Industry 4.0.

2.1 Podobnosti mezi Industry 4.0 a Lean

Filosofie Lean a Industry 4.0 toho mají hodně společného. Prvním společným prvkem je to, že tyto přístupy vyžadují čas jak od vedení společnosti, tak od zaměstnanců. Častým společným úskalím je situace, kdy se společnost soustředí na několik projektů zároveň. Často nedokončí ani jeden a ve výsledku nic moc nezíská. (Lean and Industry 4.0, ©2018)

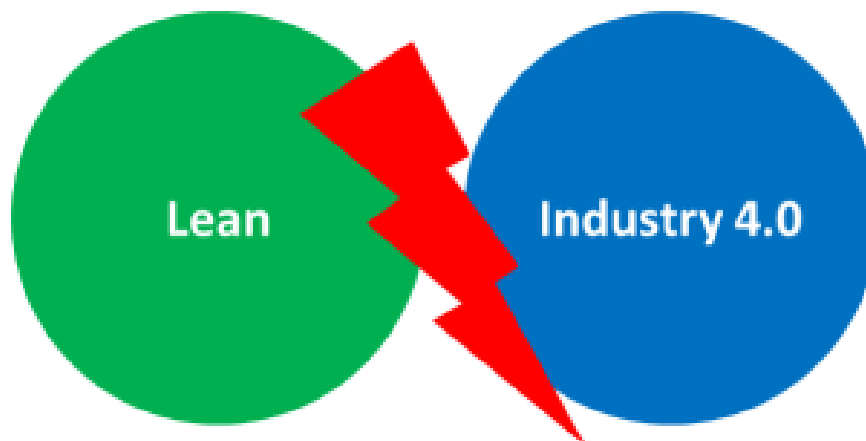
Ať už společnost aplikuje metody Lean nebo Industry 4.0, vždy pomůže PDCA diagram (Plan, Do, Check, Act). Hodí se pro příležitost prezentování či na shop floor management. Každé z těchto odvětví dokáže udělat v podniku ve výsledku velký rozdíl. Ať už významně zkrátit průběžnou dobu výroby, zlepšit kvalitu nebo celkově navýšit výdělečnost operací. Je tedy patrné, že tato dvě velká odvětví se významně prolínají. (Lean and Industry 4.0, ©2018)



Obr. 1 - Lean a Industry 4.0 (Lean and Industry 4.0, ©2018)

2.2 Rozdíly mezi Lean a Industry 4.0

Mezi Lean a Industry 4.0 je také několik rozdílů. Zatímco Lean se hodně soustředí na interakci s lidmi a mezilidské vztahy, tak Industry 4.0 se spíš orientuje na počítače, automatizaci a robotiku. V extrémním případě by v plně automatizované továrně nemuseli být žádní lidé. Jisté články ovšem uvádí, že i pro Industry 4.0 továrnu je třeba přítomnost lidí. Dalším rozdílem je používání počítačů. Při aplikování Lean principů se používá počítač vždy, když je to aktuálně nejlepším řešením. Pokud tomu tak není, použije se jiné řešení. Ovšem u Industry 4.0 se používají výhradně počítače. Dalším rozdílem je, že u klasické Lean továrny lze spoustu problémů a poruch vyřešit jednoduše a intuitivně. Ovšem u Industry 4.0 je zapotřebí programátorů a odborníků. Stejně tak je tomu u jednoduchých vylepšení. U Lean továrny může každý přispět nějakým jednoduchým nápadem, který přinese levné zlepšení procesu a zároveň velký užitek. Oproti tomu u Industry 4.0 je opět třeba odborníků. Navíc změny v automatizovaném provozu bývají zpravidla velmi nákladné, na druhou stranu bývají efektivní. (Lean and Industry 4.0, ©2018)



Obr. 2 – Lean vs. Industry 4.0 (Lean and Industry 4.0, ©2018)

2.3 Industrial Internet of Things

V souvislosti s Industry 4.0 je často používán pojem Industrial Internet of Things (IIoT). Do českého jazyka by se tento pojem dal přeložit jako „Průmyslový internet věcí“. Tento průmyslový internet poskytuje lepší cestu k viditelnosti a vzhledu do firemních operací, prostřednictvím integrace senzorů strojů, softwarů, cloudů a úložných systémů. Tato data jsou analyzována. Na základě nich je potom možné zlepšit efektivitu operací, zvýšit produktivitu a redukovat neplánované prostoje a účinně optimalizovat procesy.

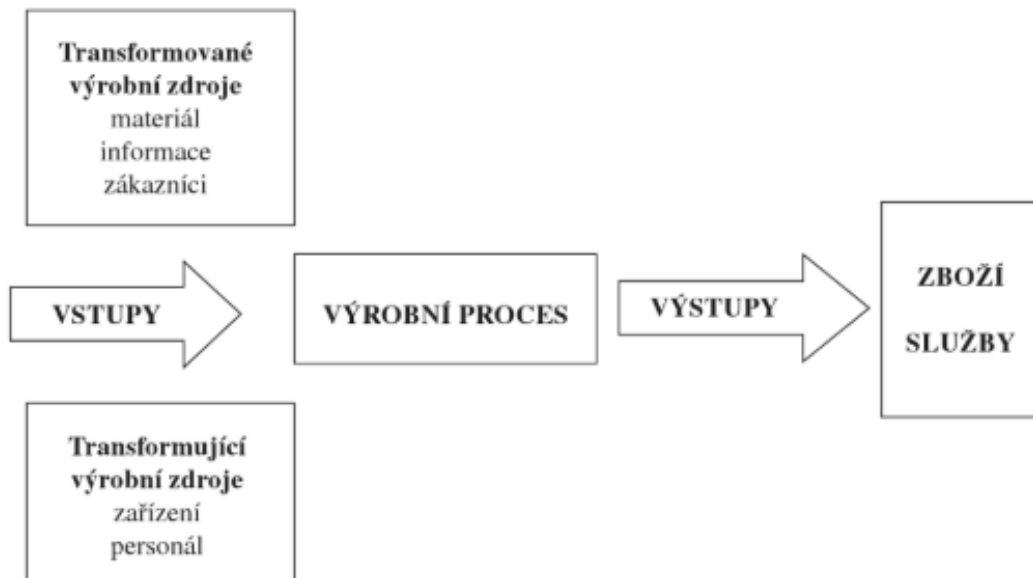
(Gilchirst, 2016, s. 3)

Internet věcí má ovšem daleko širší záběr, než se může zdát. Díky němu je možné aplikovat spoustu nových podnikových řešení. Vedle výroby jsou typickými odvětvími, kde se internet věcí používá, například IOT logistika, provozní systémy, které mohou být založeny na identifikaci osob. Integrátoři těchto systémů zpravidla poskytují komplexní řešení. Jak software, tak i hardware společně s integrací IoT systémů a dalších systémů podniku.

(Lamač, 2019)

3 PROJEKTOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH BUNĚK A PRACOVÍŠŤ

Keřkovský a Valsa (2012, s. 2) definovali výrobu takto: „Výrobu lze definovat jako transformaci výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které pak procházejí spotřebou.“



Obr. 3 – Transformované a transformující výrobní zdroje (Keřkovský a Valsa, 2012, s. 2)

Oproti tomu Loffelmann (2010) definoval výrobu jako: „Proces, při kterém dochází k přetváření zdrojů na produkty.“

Dále je možné výrobu rozdělit podle četnosti opakování výrobku:

- „Kusová výroba,
- Sériová výroba,
- Hromadná výroba,
- Druhovú výroba.“ Loffelmann (2010)

„Kusová výroba je výroba jednotlivých, unikátních kusů výrobků na základě specifických požadavků. Jejím opakem je sériová výroba.“ (Kusová výroba (Job production, one-off production), ©2016)

Kusová výroba je zaměřena na jeden individuální produkt. Zpravidla je vyráběn na základě individuální zákaznické zakázky. Všechna výrobní zařízení musí být maximálně flexibilní. Největším úskalím při řízení kusové výroby je malá možnost předpovědi zákaznických požadavků a dlouhé lhůty dodání. (Tomek a Vávrová, 2007, s. 197)

Díky sériové výrobě lze produkovat výrobky levněji než pomocí kusové výroby, jelikož se produkuje ve velkých sériích. Podíl lidské práce je v tomto případě menší. Výrobní proces je lépe optimalizovaný a vstupní suroviny levnější, protože jsou nakupovány ve velkém. Podstata sériové výroby je v logistice zásobování. Tím se rozumí celý logistický řetězec od dodávky surovin až po distribuci výrobků. Dalším podstatným pilířem je kvalita výrobků. V hromadné výrobě aktuálně přibývá čím dál více automatizace a robotizace. Tyto prvky pomáhají výrobu ještě více zlevnit a zpřesnit. (Sériová výroba (Mass production), ©2016)

Při aplikování hromadné výroby se vyrábí jeden druh výrobku ve velikém množství. Tento proces je značně stabilizován a jeho průběh se pravidelně opakuje. Po organizační stránce se za nejvyšší formu hromadné výroby označuje výroba proudová.

Keřkovský a Valsa (2012, s. 12)

Druhou výrobou se rozumí speciální druh hromadné výroby, přičemž se vyrábí více variant hromadně vyráběného výrobku. Tyto varianty představují drobné rozdíly hlavního výrobku. Malé rozdíly mohou být ve tvaru výrobku, kvalitě atd. I přesto musí být výroba do jisté míry flexibilní. Například po každém druhu výrobku může dojít ke kompletnímu seřizování strojů apod. Prioritou pro řízení výroby je v tomto případě velikost zakázek a pořadí jednotlivých druhů. (Tomek a Vávrová, 2007, s. 197)

3.1 Montážní buňky

Myška (2017) definuje montážní buňku takto: „*Montážní buňka se skládá ze dvou a více operací nebo pracovišť určených k výrobě definovaného počtu finálních výrobků (výrobové rodiny). Buňka je chápána jako funkční jednotka výrobního provozu a je založena na samořízení (mini-factory).*“

Moderní firmy dnes často vyrábí poměrně široký sortiment výrobků. Často není jednoduché vytvořit pro každý výrobek samostatnou výrobní linku. Proto jsou dobrým řešením právě výrobní buňky. V těchto buňkách se pak vyrábí takové skupiny produktů, které mají společné charakteristiky. Například zákazník, tvar, výrobní postup, velikost atd.

(Buňky, ©2012)

3.1.1 Postup při projektování montážních buněk:

- Definování projektu, rozpočtu, cíle a projektového týmu,

- Objemy výroby, definování představitele rodn výrobků, takt zákazníka, cyklový čas,
- Přehled ručních časů (WCS), MOST analýzy, propočet potřebného počtu operátorů,
- Navržení layoutu, vybalancování operací, vytvoření návrhu interní logistiky,
- Vytvoření simulačního modelu pracoviště a zapojení operátorů,
- Oznámení změny zákazníkovi,
- Příprava podkladů a dokumentace,
- Realizace,
- Stabilizace pracoviště,
- Celkové vyhodnocení projektu. (Zgabaj, 2013)

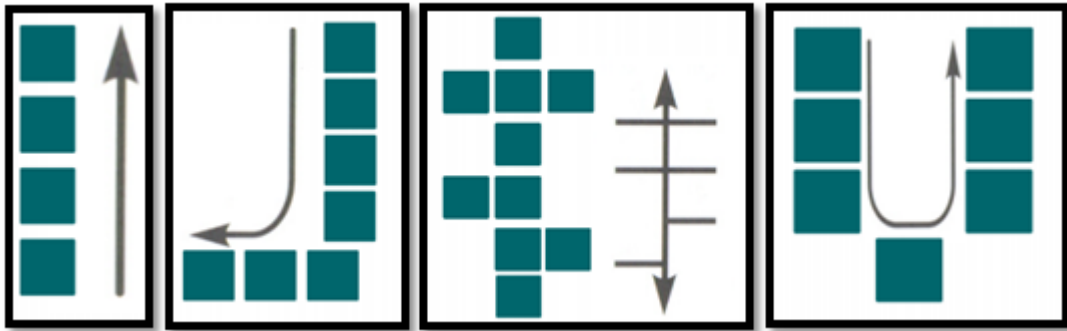
3.1.2 Tvary montážních buněk

Nejjednodušší variantou montážní buňky je přímý tok ve tvaru písmene „I“. Tento tvar je velmi jednoduchý jak na pochopení, řízení, tak i plánování. Manipulace je v tomto případě jednoduchá a nenákladná. Výhodou je, že je možný jednoduchý přístup z obou stran linky. Dalším pozitivem je, že nikdy nehrozí nahromadění v bodě vstupu nebo v bodě výstupu. (Myška, 2017)

Druhou možností uspořádání montážní buňky je tvar písmene „L“. Tento tvar disponuje možností provádět delší sérii operací na omezeném prostoru. Díky tomuto uzpůsobení je možné buňku zásobovat přímo z komunikace a ukončit proces přesně v místě spotřeby. U tohoto uspořádání lze také izolovat nebezpečné a problematicky přemístitelné zařízení na roh. (Myška, 2017)

Tvar Spine je vhodný pro buňky, kde je velký předpoklad pro variabilní výrobní postup. Je využitelný pro oddělení speciálních zařízení nebo pro funkční (technologické) buňky. (Myška, 2017)

Dalším často používaným tvarem je tvar písmene „U“. Mezi výhody tohoto zorganizování patří automatický návrat výrobku a mobilní manipulace do vstupu buňky, dále společný výstupní a vstupní bod, který nabízí pohodlnou manipulaci do buňky i z buňky. Pozitivem je také to, že operátoři uprostřed buňky si mohou vzájemně jednodušeji pomáhat a zastupovat se. Dále je toto uspořádání dobře využitelné v situaci, kdy musí jeden pracovník obsluhovat více pracovišť.



Obr. 4 – Tvary montážních buněk (Myška, 2017)

3.1.3 Štíhlé pracoviště

Podle Košturiaka a Frolíka (2006, s. 64-65) je štíhlé pracoviště základním pilířem štíhlé výroby. Štíhlé pracoviště by mělo zajistit zvýšení výkonnosti, snížení úrazovosti a zatížení organismu, zvýšení autonomnosti a možnosti víceobsluhy, zlepšení kvality procesu. Dále také uvádějí několik principů a metod, které ve výsledku dávají dohromady štíhlé pracoviště:

- „Ergonomické principy,
- *Analýza a měření práce,*
- 5S,
- *Vizuální pracoviště,*
- *Jidoka – autonomnost pracoviště,*
- *Poka yoke.*“ (Košturiak a Frolík, 2006, s. 65)

Vizualizace je podstatným prvkem pro štíhlé pracoviště. Je jednoznačně uspořádané a jasně zorganizované, přičemž jsou všechny procesy jasně popsány. Díky vizualizaci je možné docílit zmenšení pracovního prostoru, snížení zásob na pracovišti, vylepšení kvality, zkrácení času na hledání, zkrácení času náhledu, zkrácení montážních časů a zlepšení podnikové kultury a image. (Ježek, 2017)

3.1.4 5S

Důležitým prvkem na každém štíhlém pracovišti je také metoda 5S. Na štíhlém pracovišti se totiž nachází pouze to, co je opravdu potřebné. Tyto věci jsou uloženy na místech, která jsou určena pro jejich skladování. To znamená, že na pracovišti se nacházejí jen ty předměty, které přidávají hodnotu finálnímu produktu. Smyslem této metody je tedy odstranit nepotřebné předměty z pracoviště pryč. Dále také udržování zavedeného pořádku, vytvoření

náležitých standardů uspořádání a celkové organizace pracoviště. Při tvorbě těchto standardů je nutné dbát na požadavky pracovníků, kteří na pracovišti tráví nejvíce času. (5S, ©2005-2020)

Při použití metody 5S se všechna pravidla pro udržování pořádku na pracovišti shrnou do pěti kroků, které vedou k odstranění plýtvání na pracovišti. Tato metoda vznikla v Japonsku. (5S, ©2005-2020)



Obr. 5 – Jednotlivé kroky metody 5S (5S, ©2005-2020)

První krok „Seiry“ znamená „separovat“. Pomůcky se vytrídí na ty, které musejí být na pracovišti neustále, na ty, které musejí být odstraněny a v poslední řadě na ty, které být odstraněny mohou a hledá se pro ně alternativní uložení. Druhý krok „Seiton“ znamená „systematizovat“ neboli určit všem pomůckám, které na pracovišti zůstávají, své jedinečné místo. Musejí se z daného místa snadno brát, používat i vracet. Dalším krokem je „Seiso“, což znamená „stále čistit“. Je nutné v rámci pracoviště určit teritoria, která je třeba udržovat v čistotě. Dále je nutné stanovit, jak často se mají tato místa udržovat, kdo bude tuto činnost vykonávat a co k tomu bude potřeba. Čtvrtým krokem je „Seiketsu“. Překládá se jako „standardizovat“. V praxi to znamená vytvořit konkrétní standard pro pracoviště a ten striktně dodržovat. A poledním krokem je „Shitsuke“, což se dá přeložit jako „sebedisciplína“. Účelem tohoto kroku je neustále zlepšovat současný stav. (5S, ©2005-2020)

3.1.5 Ergonomie

Podle mezinárodní ergonomické asociace se dá ergonomie definovat následovně:

„Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci polohy člověka a výkonnosti systému.“ (Ergonomie, ©2005-2020)

Jednoznačným cílem ergonomie je zvýšení efektivity vykonávané práce při současném snižování možnosti zranit se či zvýšit zátěž pro organismus. Proto je důležité se při řešení ergonomických požadavků zaměřit na: (Ergonomie, ©2005-2020)

- „Pracovní prostředí (osvětlení, klimatické podmínky, hluk),
- Pracovní a manipulační prostor (nároky na pracovní prostor, zóny dosahu),

- *Tvorbu a rozmístění oznamovacích a ovládacích prvků,*
- *Vhodnou volbu pracovní polohy (práce vestoje, práce vsedě...),*
- *Ergonomické řešení pracovních sedadel,*
- *Výšku pracovní roviny,*
- *Zorné podmínky při práci (osa pohledu, zorný úhel),*
- *Ekonomii pracovních pohybů,*
- *Konstrukci nástrojů a přípravků (rukojeť nástroje, hmotnost nástroje...),*
- *Manipulaci s břemeny,*
- *Rizikové ergonomické faktory.*“ (Ergonomie, ©2005-2020)

Podle Dlabače (2017) je obtížné definovat obecný postup, jak postupovat při zavedení ergonomických prvků ve firmách. Je třeba vždy se zabývat takovými oblastmi a parametry ergonomie, které jsou adekvátní pro konkrétní provoz a konkrétní pracoviště. Dá se však tvrdit, že většinou se dá postupovat při zavádění ergonomických prvků v následujících krocích.



Obr. 6 – Schéma realizace ergonomických opatření (Dlabač, 2017)

4 METODY PŘEDEM URČENÝCH ČASŮ

Metody předem určených časů jsou také často označovány pojmem „nepřímé měření“. Hlavním úkolem těchto metod je detailní rozbor konkrétních úkonů na jednotlivé základní pohyby. K těmto základním pohybům je přiřazován index, který určuje náročnost a odpovídá tak nějaké konkrétní spotřebě času. (Dlabač, 2015)

Dále Dlabač (2015) uvádí několik nejpodstatnějších výhod, kterými disponují metody předem určených časů oproti klasickému přímému měření:

- *„Odpadnutí subjektivity při stanovování stupně výkonu (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.*

Metody nepřímého měření bývají velmi často založeny na využívání již získaných syntetických časových hodnot. Tato syntetická data jsou zpravidla velmi spolehlivá a konzistentní. Jsou většinou výstupem velkého množství studií za nějaké časové období. Způsobů využití těchto dat je mnoho. Často se využívají pro účel normování práce, stanovení časových standardů pro krátkodobou práci, u které nemusí být dostatek času na provedení přímé časové studie. Využívá se také pro projektování časových standardů pro práci, která ještě nezačala. Využít se tyto syntetické údaje dají i například v pohybových studiích. V takovém případě se jedná o tzv. předeterminované časové systémy pohybu.

(Šústek, 2007, s. 151)

U těchto metod předem určených časů je hlavním cílem dobře určit typ pohybu, který pracovník vykonává. Další podstatnou věcí je vybrat podle náročnosti konkrétního pohybu vhodný index z tabulky. Mezi nejčastěji používané metody předem určených časů patří systém MTM (Methods Time Measurement) a MOST (Maynard Operation Sequence Technique). Pro dokonalé pochopení fungování těchto systémů je třeba obětovat značnou dávku času. Výstupem takového měření je definice normy spotřeby času. Ovšem je třeba si uvědomit, že výstup tohoto nepřímého měření ještě není výslednou normou časové spotřeby. Dále je nutné počítat s tím, že pokud se jedná o lidskou práci, tak nelze očekávat za 1 hodinu přesných 60 minut práce. Je nezbytné připočítat k výsledné hodnotě nějaký čas na

osobní potřeby pracovníků, drobná zdržení a abnormality ve výrobním procesu. Tato přírůžka se často ve firmách pochybuje cca okolo 5 – 10 %. (Dlabač, 2017)

Bohužel velmi často je tvoření norem ve firmách choulostivým tématem. Dá se předpokládat, že tomu tak bude i do budoucna. Lidé, kteří se zabývají měřením práce ve firmách, nebývají příliš oblíbení. Pravdou ale je, že tato oblast průmyslového inženýrství bude do budoucna naprosto klíčová ve většině firem. Je ale možné, že postupem času budou stopky nahrazeny podpůrnými specializovanými softwary. (Dlabač, 2017)

4.1 MTM

Metoda MTM je pravděpodobně jedním z nejznámějších systémů předem určených časů. Je základem pro většinu řešení současné doby. Nemalou komplikací u použití této metody je to, že velmi často vyžaduje opravdu detailní popis pohybů, které pracovník vykonává. Je nutné znát typ pohybu, náročnost pohybu, vzdálenost, hmotnost předmětu, se kterým se manipuluje a podobně. Pokud se opomene fakt, že je velmi náročné takto detailně pohyby pracovníků definovat a také to, že každý pracovník nevykonává konkrétní pohyby zcela stejně jako ostatní, tak je dalším problémem jak celkem velká složitost celého systému, tak časová náročnost vlastní analýzy. Zejména ve výroбах, které nejsou sériové, znamenají tyto problémy ještě větší překážku. Vzhledem k těmto obtížnostem proběhlo několik pokusů o zrychlení této analýzy. Výsledky těchto pokusů vedly k vývoji odvozených systémů od základní metody MTM. Známé odvozené systémy jsou: MTM-2, UAS, USD a další. (Dlabač, 2015)

4.1.1 MTM-1

MTM-1 je prvním MTM systémem. Tento systém funguje tak, že vychází z průměrů základních pohybů (průměrovány jsou nejnižšími společnými jmenovateli z celkové práce). Díky tomu je možné alespoň teoreticky zkonstruovat časové standardy pro veškeré práce ze soustavy tabulárních dat. (Šůstek, 2007, s. 152)

Systém MTM-1 rozlišuje čtyři kategorie základních pohybů pracovníků:

- „*Pohyby těla,*
- *Pohyby dolních končetin,*
- *Pohyby horních končetin,*
- *Pohyby očí.*“ (Šůstek, 2007, s. 152)

Tato metoda využívá alfabetycko-numerické symboly, které se skládají ze základního znaku a potom z indexu. Písmenem abecedy (základní znak) se definuje pohyb. Index potom určuje druh základního pohybu v závislosti na proměnném činiteli. Veškeré MTM formy používají časovou jednotku 1 TMU (Time Measurement Unit – Jednotka měření času). $1 \text{ TMU} = 0,0006 \text{ minuty} = 0,036 \text{ sekundy}$. (Šůstek, 2007, s. 152)

4.1.2 MTM-2

Požadavky na data a na rychlost zpracování a aplikaci ukázaly, že jednoduchost je pro systém zásadní kvalitou. Jednoduchosti bylo u MTM-2 dosaženo díky technickému a statistickému zjednodušení. (The MTM-2 System, © 2015)

MTM-2 disponuje díky svému technickému zjednodušení snadno naučitelnými modely rozhodování a omezeným počtem alternativ, ze kterých lze vybírat. Ovlivňující faktory u MTM-2 by měly být snáze pozorovatelné a posuzovatelné. Na základě statistického zjednodušení se snížilo obrovské množství dat dostupných v datové kartě MTM-1. (The MTM-2 System, © 2015)

4.1.3 MTM-UAS

MTM-UAS (Universal Analysing System) je jedním z nejpopulárnějších systémů a je až osmkrát rychlejší než MTM-1, který byl vyvinutý v letech 1976 – 1978 společenstvím, do kterého byli zahrnuti členové německých, švýcarských a rakouských asociací MTM. Systém MTM-UAS byl speciálně vyvinut pro výrobu malých dávek, kde rychlost analýzy má přednost před metodami a provozními detaily. (MTM-UAS, © 2000)

Data byla vyvinuta s ohledem na následující cíle:

- Vysoká rychlost analýzy,
- Reprodukovatelnost pracovních metod,
- Dostatečná přesnost pro standardní provoz,
- Univerzální aplikace. (MTM-UAS, © 2000)

Systém vyžaduje následující výrobní vlastnosti:

- Podobnost úkolů,
- Standardní pracovní místa,
- Dobrá organizace práce,
- Dostupnost dobrých a podrobných pracovních specifikací,

- Kvalifikovaní, vyškolení a motivovaní pracovníci. (MTM-UAS, © 2000)

4.2 MOST

MOST neboli Maynardova technika sekvencí činností. Tato technika byla vyvinuta za účelem urychlení a zjednodušení aplikace, a to bez ztráty přesnosti. Metoda MOST identifikuje několik klíčových aktivit, které se vyskytují ve třech fixovaných sekvencích. Stejně jako u MTM jsou i u MOST jednotlivým činnostem přiřazovány indexy v podobě čísel. Tyto indexy vyjadřují relativní jednoduchost či komplexnost sekvence nebo pohybu. Metoda MOST umožňuje „stlačení“ celé sekvence nebo činnosti do jednoho vzorce. Je až čtyřicetkrát rychlejší než MTM-1 a až patnáctkrát rychlejší než MTM-2. (Šůstek, 2007, s. 154).

Výhodou metody MOST je to, že ji lze použít v různých odvětvích průmyslu. Lze ji využít buď přímo pro výrobní operace, nebo pro činnosti podpůrné. To je možné díky tomu, že metoda MOST je rozdělena do čtyř rodin:

- „*Mini MOST*,
- *BasicMOST*,
- *Maxi MOST*,
- *Admin MOST*.“ (Dlabač, 2015)

Z uvedených rodin je nejvíce používaný Basic MOST. Je takovou „zlatou střední cestou“ a slouží k normování takových činností, jejichž trvání se pohybuje kolem desítek vteřin. Proto je dostačující pro drtivou většinu činností. Pokud je třeba analyzovat činnost, jejíž délka odpovídá několika vteřinám, tak je vhodné použít variantu Mini MOST, která disponuje přesností na tisícinu vteřiny. Maxi MOST se nejčastěji používá v logistickém odvětví, kdy je třeba analyzovat operace, které se pohybují v řádu desítek minut a nemají příliš velkou opakovatelnost. Nejnovější verzí MOST je Admin MOST, který se využívá pro analyzování administrativních činností. (Dlabač, 2015)

Pořadové číslo	Popis operace	Použití rukou	Sekvence						Frekvence	TMU
			OP	ABG - Získat		ABP - Položit				
	OP - obecné přemístění	OP								
	ŘP - řízené přemístění (Č - Procesní čas)	ŘP			MXI - Přemístění/Spustit					
	N - Použití nástroje	N			ABP - Položit	Nástroj	ABP - Položit stranou			
	J - Jeřáb	J	ATK - Získat		FVL - Položit		VPT - Položit stranou			
1	P Uchopit výrobek vzdálený 1 krok a umístit jej na nástroj	OP	A 3 B 0 G 1 1 1 1 1	A 3 B 0 P 3 1 1 1 1			A 0 1	1	100	
2	O Upevnit výrobek dvěma otočeními zápěstím	NF	A 0 B 0 G 0 1 1 1 1	A 0 B 0 P 0 1 1 1 1	F 6	A 0 B 0 P 0 1 1 1 1	A 0 1	1	60	
3	P Upevnit výrobek dvěma rázy zápěstím	NF	A 3 B 0 G 1 1 1 1 1	A 3 B 0 P 1 1 1 1 1	F 6	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	A 0 1	1	160	
6	L Spustit cyklový čas trvající 29s	RP	A 1 B 0 G 1 1 1 1 1	M 1 X 81 I 0 1 1 1 1			A 0 1	1	840	
8	P Ukončit cyklus uvolněním páky	RP	A 1 B 0 G 1 1 1 1 1	M 1 X 0 I 0 1 1 1 1			A 0 1	1	30	
9	O Uvolnit výrobek dvěma rázy zápěstím	NL	A 1 B 0 G 1 1 1 1 1	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	L 6	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	A 0 1	1	120	
10	P Uvolnit výrobek dvěma otočeními zápěstím	NL	A 0 B 0 G 0 1 1 1 1	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	L 6	A 0 B 0 P 0 1 1 1 1	A 0 1	1	80	
11	O Vyjmout hotový výrobek	OP	A 1 B 0 G 1 1 1 1 1	A 0 B 0 P 0 1 1 1 1			A 0 1	1	20	
12	O Očistit výrobek vzduchovou pistolí	NS	A 1 B 0 G 1 1 1 1 1	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	S 6	A 1 B 0 P 1 1 1 1 1	A 0 1	1	120	
13	P Odložit hotový kus do přepravky vzdálené 1 krok	OP	A 0 B 0 G 0 1 1 1 1	A 3 B 0 P 3 1 1 1 1			A 0 1	1	60	
Celková spotřeba času:					0,95		57,19		1590	
					minut		sekund		TMU	

Obr. 7 – Ukázka použití systému Basic MOST (Dlabač, 2017)

5 VYUŽITÍ SIMULACÍ PŘI PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH LINEK

Simulační metody vzbuzují stále více zájmu u odborníků, kteří se pohybují v mnoha oblastech. Jelikož se čím dál více současných firem orientuje kromě výroby i na vývoj, tak na přípravnou fázi nových technologií, projektů, výrobních linek a různých zařízení je kladen stále větší důraz. Aby si firma udržela konkurenceschopnost, musí v dnešní situaci neustále zvyšovat úroveň svých služeb a svého zboží. Je třeba pečlivě sledovat výrobní náklady a neustále vyvíjet nová a inovativní řešení. V moderních firmách bývají všechny procesy tak spletité a komplexní, že jen těžko lze efektivního provozu docílit pouze sledováním a vyhodnocováním dílčích parametrů nebo pouze částí výrobních zařízení. Proto je třeba pohlížet na systémy globálně a v komplexnosti. Toto vyžaduje použití takových technologií, které nabídnou společnostem přístup k výrobním celkům už ve fázi navrhování a vývoje. Takovým nástrojem by mohla být počítačová simulace. Změny výrobních procesů však s sebou přinášejí i rizika, která simulace pomáhají řešit tím, že simulují výrobní prostředí a díky nim je patrné, jaké rozhodnutí bude mít jaký dopad. Plyne z toho tedy, že pokud je použita simulace, tak panuje ve firmách větší míra důvěry ke změně, která je ověřena počítačovou simulací ještě před její realizací. Dá se říct, že v dnešní době je počítačová simulace nedílnou součástí projektování výrobních systémů.

(Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů, © 2016)

Simulace je reprodukce reálného systému s dynamickými procesy v modelu. Je zaměřena na dosahování přenosných zjištění pro realitu. V širším pojetí simulace znamená připravování, implementování a vyhodnocování specifických experimentů se simulačním modelem. (Bangsow, 2010, s. 2)

Aktuálně existuje mnoho komerčních produktů, které nabízejí rozličné způsoby modelování pro operační systémy Windows a Unix. Simulační nástroje je možné rozdělit do tří základních tříd. Do první třídy patří obecné simulační jazyky. Například Simula, C++SIM, GPSS/H, AweSim!, Simscript, BaseSim, CSIM 19, JavaSIM a spousta dalších. Do druhé třídy simulačních nástrojů spadají ty programy, které využívají grafické rozhraní mezi konkrétním používaným simulačním jazykem a uživatelem programu. Do této kategorie patří následující programy: MapleSim4, AutoMod, Quest, Arena, PlantSimulation. V případě použití těchto programů je možné tvořit simulační model dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití grafického rozhraní a druhý způsob je použití zdrojových kódů. Výhodou je, že i výstup jde zobrazit v grafické formě, dnes nejčastěji pomocí vizualizace

modelovaného problému. Je možné zkrátit dobu, která je potřebná pro tvorbu modelu, pomocí metody drag & drop. Do poslední skupiny se řadí takové simulátory, které se objevily až v posledním desetiletí. Došlo u nich k výraznému zdokonalení počítačové grafiky. V případě použití těchto nástrojů není třeba umět prakticky žádný programovací jazyk. Mezi zástupce této kategorie patří: Renque, ProModel, TailorII, Factor/AIM a Witness. Základní charakteristikou pro tyto nástroje je jejich grafické prostředí, které je uživatelsky přívětivé. Tvorbu a odlaďování modelu tak zvládne i uživatel, který disponuje pouze průměrnými znalostmi v oblasti modelování. Tyto programy dokážou model vizualizovat i ve 3D podobě, což může být velká výhoda.

(Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů, © 2016)

Bangsow (2012) definoval, že simulace se dá použít ve třech fázích:

- Plánovací fáze,
- Implementační fáze,
- Provozní fáze.

Plánovací fáze je specifická:

- Identifikací úzkých míst, protože právě v nich je potenciál na největší zlepšení,
- Odkrýváním potenciálu, který je nevyužitý a skrytý,
- Maximalizací využití zdrojů,
- Hledáním nové plánovací alternativy, testováním kapacit, efektivity a kontroly, výkonnostních limitů, úzkých míst a propustnosti pracovišť,
- Vizualizací plánovací alternativy pro jednoduché rozhodování.

(Bangsow, 2010, s. 2)

V implementační fázi probíhají zejména:

- Výkonnostní testy,
- Analýza problémů a výkonnostní testy budoucích požadavků,
- Simulace výjimečně systémových podmínek a nehod,
- Trénink nových zaměstnanců. (Bangsow, 2010, s. 2)

V provozní fázi se testují zpravidla:

- Testování alternativ řízení,
- Posuzování nouzových strategií a programů nehod,

- Prokázání kvality jistoty správy chyb,
- Odesílání objednávek a stanovení termínů přenosných dávek. (Bangsow, 2010, s. 2)

6 SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI

Aktuální situace v průmyslu je taková, že se všechny firmy musí snažit aplikovat štíhlou filosofii na všechny svoje procesy. Štíhlost podniku je dána tím, že se provádí jen ty činnosti, které přidávají hodnotu finálním výrobkům, a ty činnosti, za které je ochotný zaplatit zákazník. Ostatní činnosti a procesy se buď eliminují, nebo omezí na nezbytně nutnou dobu. Tyto procesy nepřidávající hodnotu jsou označeny jako plýtvání.

Dnes si spousta firem pouze s dodržováním filosofie „Lean“ nevystačí a musí se posunout ještě o další krok dopředu. Současným trendem je celé odvětví Industry 4.0, které má s filosofií „Lean“ hodně společného. Mezi společné faktory patří například eliminace nepotřebných procesů či nutnost podpory vedení podniku. Rozdíl mezi těmito dvěma směry je například v tom, že u „Lean“ prvků by si s jednoduchými problémy měl poradit každý zaměstnanec firmy. Oproti tomu u Industry 4.0 je třeba mít odborné znalosti při odladění i nepatrných závad.

Při projektování výrobních buněk je třeba zohlednit veškeré „Lean“ principy, typ výroby, který se používá v konkrétní firmě apod. Výrobní buňky mohou mít různé tvary, které se používají v různých situacích. Je nutné zohlednit různé faktory před výběrem tvaru buňky.

Konkrétní pracoviště by měla disponovat štíhlými prvky, jako je aplikace metody 5S, ergonomická úprava, vizualizace a další. Zejména ergonomie je velmi podstatná pro dlouhodobé pohodlí pracovníků a efektivní výrobu.

Při plánování výroby se často používají tzv. metody předem určených časů. Je to nástroj pro stanovování norem pracnosti. Velkou výhodou je, že při analyzování odpadá subjektivita normovače, metody je možné užívat pro plánování operací nebo pro racionalizaci již běžícího procesu, popřípadě pro reorganizaci pracoviště. Mezi nejpoužívanější metody patří MTM nebo MOST.

Velmi účinným a moderním analytickým nástrojem je počítačová simulace, která se používá nejen pro plánování nových výrobních linek. Díky ní je možné sledovat výrobu při jejím současném i budoucím stavu. Je možné si virtuálně vyzkoušet různá opatření ve výrobě a sledovat jejich efektivitu bez zásahu provozu podniku. Počítačové simulace mají široké uplatnění napříč výrobními podniky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

Vybraná společnost, kde byla zpracována tato diplomová práce, se na trhu pohybuje od roku 1992. Je dceřinou společností zahraničního koncernu. (interní zdroj firmy)

Pobočka v České republice se zaměřuje na výrobu předních a zadních světel pro vozidla největších světových automobilek. Dále se také zaměřuje prostřednictvím jednoho z největších technických center vybrané společnosti na vývoj světelné techniky. Vyvinuté produkty se následně vyrábí ve výrobních závodech divize vybrané společnosti po celém světě. (interní zdroj firmy)

Několik kilometrů od hlavního sídla v České republice, kde byla zpracována tato diplomová práce, sídlí část oddělení IT. Na území České republiky se část této společnosti kromě toho nachází také ve vědecko-technologickém parku. S postupným vývojem společnosti se do tohoto parku rozšířilo i technické centrum. (interní zdroj firmy)

Tato společnost je na území České republiky jedním z největších a klíčových zaměstnavatelů v oblasti automobilového průmyslu obecně. Je tomu tak i v kraji, kde společnost sídlí. Aktuální situace je taková, že na území České republiky se na vývoji a výrobě světlometů a zadních skupinových svítilen a elektroniky pro vybrané klienty, jako je VW, BMW, Audi a další, podílí více než 3 100 zaměstnanců. (interní zdroj firmy)

7.1 Historie společnosti

Společnost působí na území České republiky už více než 20 let. Za tu dobu má za sebou velkou řadu významných událostí, které firmu dovedly až do dnešní moderní podoby stále rostoucí firmy. Tato dceřiná společnost byla založena roku 1992. V roce 1993 se začalo stavět hlavní sídlo v ČR a o rok později z tohoto místa už začaly proudit první výrobky. V roce 1995 započalo svou činnost technické centrum a firma spustila svůj vlastní vývoj výrobků. V roce 1997 byla založena skupina pro vývoj a výrobu montážních linek pro koncern této společnosti. V roce 2004 bylo vybudováno testovací centrum (zkušebny) a byl zahájen jeho provoz. Po několikaleté odmlce došlo roku 2011 k otevření konstrukční kanceláře ve Vědecko-technologickém parku na východě České republiky. O rok později došlo k výstavbě nové výrobní haly, kde se začaly vyrábět zadní skupinové svítilny pro automobily. Dalším významným rokem byl rok 2014, kdy vzniklo nové centrum optiků a konvenčních modulů a rozšíření oddělení montážních linek. Roku 2015 byl spuštěn nový Opto-mechatronický proces pro vývoj Full LED světlometů a svítilen. A konečně v roce

2016 došlo k modernizaci testovacích laboratoří, a to především v oblasti klimatického testování. Byly vybudovány dvě nové laboratoře. (interní zdroj firmy)

7.2 Struktura společnosti

Struktura společnosti je následující:

7.3 Výroba

V České republice představuje výroba pro tuto vybranou společnost to největší oddělení. Na výrobě se tu podílí operátoři a zkušení odborníci, kteří s pomocí nejmodernějších technologií vyrábí jedny z nejmodernějších světlometů a skupinových svítlen současné doby.

(interní zdroj firmy)

7.4 Technické centrum

V roce 1995 započala činnost vývojového centra. Spustil se vývoj nových produktů, ne pouze jejich montáž. S postupem času se tu začaly vyvíjet čím dál složitější produkty. Z konstrukčních kanceláří a laboratoří začaly odcházet první zadní skupinové svítlny, halogenové a xenonové lampy, světlometry s adaptivní světelnou hranicí a v posledních letech i prémiové Full-LED světlometry. (interní zdroj firmy)

7.5 Informační technologie

V hlavním sídle a v nedalekém IT oddělení pracuje více než 100 IT odborníků, kteří se zabývají CAD systémy, celosvětovou sítí, programováním, analýzou dat, virtuální technologií, podporou výroby a koncových uživatelů a spoustou dalších služeb.

(interní zdroj firmy)

7.6 Podpůrná oddělení

Úspěch na současném trhu této vybrané společnosti nezajišťuje pouze dostatek specialistů ve vývoji, špičkové technologie a neustále se zdokonalující systémy ve výrobě. Velmi důležitá jsou také veškerá další podpůrná oddělení působící napříč celou firmou. (interní zdroj firmy)

7.7 Uvedení do problematiky

Práce je zpracovávána ve společnosti, která se věnuje výzkumu, vývoji a především výrobě předních světlometů a zadních skupinových svítlen. Tato firma na trhu funguje jako dodavatel pro největší světové automobilky. Z faktu, že se firma pohybuje v automobilovém odvětví, vyplývá, že je projektově orientovaná. Tím pádem je vývoj i výroba produktů časově ohraničená.

Každý produkt se vyrábí tak dlouho, jak je dlouhý životní cyklus nadřazeného výrobku. Konkrétní situace může vypadat tak, že výrobek stráví dva a půl roku ve vývoji a poté pět let ve výrobě. Tyto časové intervaly se ovšem mohou lišit podle nadřazených produktů. Někdy je tato doba kratší a někdy naopak delší. Už během výrobní fáze musí společnost hledat nové zakázky a začít pracovat na vývoji. Až skončí doba jednoho výrobku ve výrobě, přesune se tam jiný výrobek z vývojové části. Tento princip se stále opakuje u všech firemních projektů.

7.7.1 Popis aktuální situace ve firmě

Firma získala projekt na konkrétní výrobek, kterého se týká tato diplomová práce. Tento projekt začalo zpracovávat vývojové oddělení a další oddělení, která se na projektu podílí. Pro to, aby bylo možné začít produkt vyrábět, je samozřejmě potřeba udělat velké množství práce, do které jsou zapojeny desítky lidí. Mezi tyto činnosti například patří:

- Navrhování layoutů,
- Definování montážních postupů na základě výkresů a požadavků zákazníka,
- Příprava dokumentace,
- Vytvoření materiálového toku,
- Navržení layoutu jednotlivých pracovišť (microlayouty),
- Vytvoření standardů pro montážní postupy,
- Balancování montážních operací podle taktu zákazníka,
- Specifikování požadavků pro dodavatele strojů a materiálu,
- Jednání s dodavateli,
- Provádění časových a plánovacích analýz,
- Zajištění výstavby, seřízení a funkčnosti montážní linky,

- Proškolení operátorů, kteří budou pracovat na lince,
- Provádění testování linky, kontroly kvality prvních kusů
- Atd...

Tento projekt byl původně koncipován tak, že všechna pracoviště, která mají být v budoucnu na lince vystavěna, budou obsluhována pouze manuálně. To zpravidla znamená menší počáteční investici, ale větší počet pracovníků a dražší následný provoz.

Vedení společnosti však již za běhu vývojových prací začalo zvažovat částečnou automatizaci linky. S tím by bylo spojeno přehodnocení původního návrhu. Zástupci jednotlivých oddělení projektového týmu po konzultaci vybrali konkrétní stanice, které by měly být případně automatizovány.

7.7.2 Požadavky společnosti

V souvislosti s výše popsanou situací ve firmě vzniklo zadání od vedení společnosti. Bylo třeba zjistit, která varianta montážní linky je pro společnost výhodnější. V úvahu tedy připadá linka s kompletní manuální obsluhou, nebo linka s částečně automatizovanými pracovišti (konkrétně se jedná o zavedení colaborativních robotů na stávající manuální pracoviště). Druhým požadavkem společnosti bylo zpracování malých layoutů pro jednotlivá pracoviště (Microlayoutů).

Pro zhodnocení, která varianta bude pro společnost výhodnější, byla vybrána plánovací analýza MTM, simulační model Plant simulation a vyhodnocení finanční návratnosti.

7.7.3 Stěžejní oddělení

Projekt, kterého se tato práce týká, je poměrně rozsáhlý. Proto se na něm podílí velké množství lidí. Zaměstnanci jsou rozděleni do různých oddělení, která pomáhají oddělit a ohraničit jednotlivé úkoly a zodpovědnosti. Přes to všechno se firma snaží fungovat procesně a vzájemná oddělení mezi sebou provázat. Na projektu se podílí například tato oddělení:

- Oddělení prodeje (dohoda se zákazníkem, požadavky, zpracování specifikací apod.),
- Oddělení nákupu (vytváření smluv s dodavateli, objednávání materiálu apod.),
- Oddělení designu (komunikace se zákazníkem, odlaďování a upřesnění požadavků),

- Oddělení konstrukce (vytváření technických výkresů, kusovníků apod.),
- Oddělení PI - vývoj (příprava dokumentace, definování pracovních postupů, balancování operací apod.),
- Oddělení testovacích inženýrů (odladění elektrických zařízení, zajištění správného chodu linky),
- Oddělení PI – výroba (odladění linky za chodu, neustálé zlepšování),
- Oddělení kvality (definování kvalitativních norem, definování standardů, kontrola kvality v lince).

Každé z uvedených oddělení je důležité pro dokončení projektu. Tato oddělení zasahují do projektu v různých fázích a různou měrou. Podstatná je ale vzájemná kooperace a dobré zvládnutí firemních procesů. Finálního zákazníka (tedy automobilku) zajímá výsledek celé společnosti a ne dílčích oddělení. Proto je tato kooperace tak důležitá.

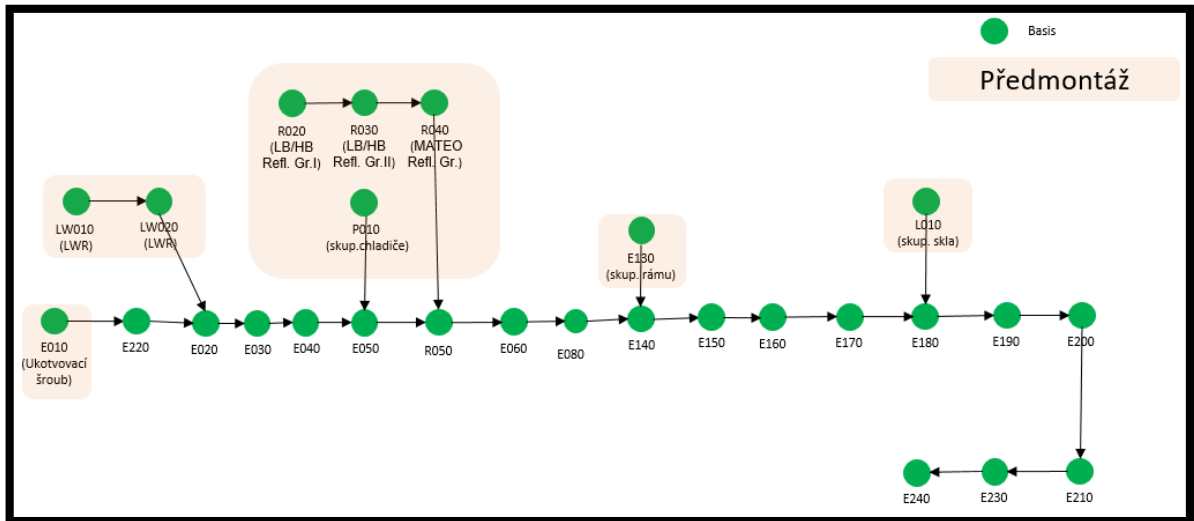
8 ANALYTICKÁ ČÁST

Jedním z požadavků zákazníka bylo vyrábět produkt ve dvou variantách, které jsou označeny jako varianta „BASIS“ a druhá jako varianta „HIGH“. Varianta BASIS je zjednodušenou verzí výrobku, která bude osazována do nižších kategorií výbavy vozů prodávaných zákazníkem. Proto se mírně liší i v technologickém postupu. Princip montáže je ale skoro stejný. Hlavní rozdíl mezi variantou BASIS a variantou HIGH je ten, že do jednodušší varianty BASIS vstupuje méně dílů.

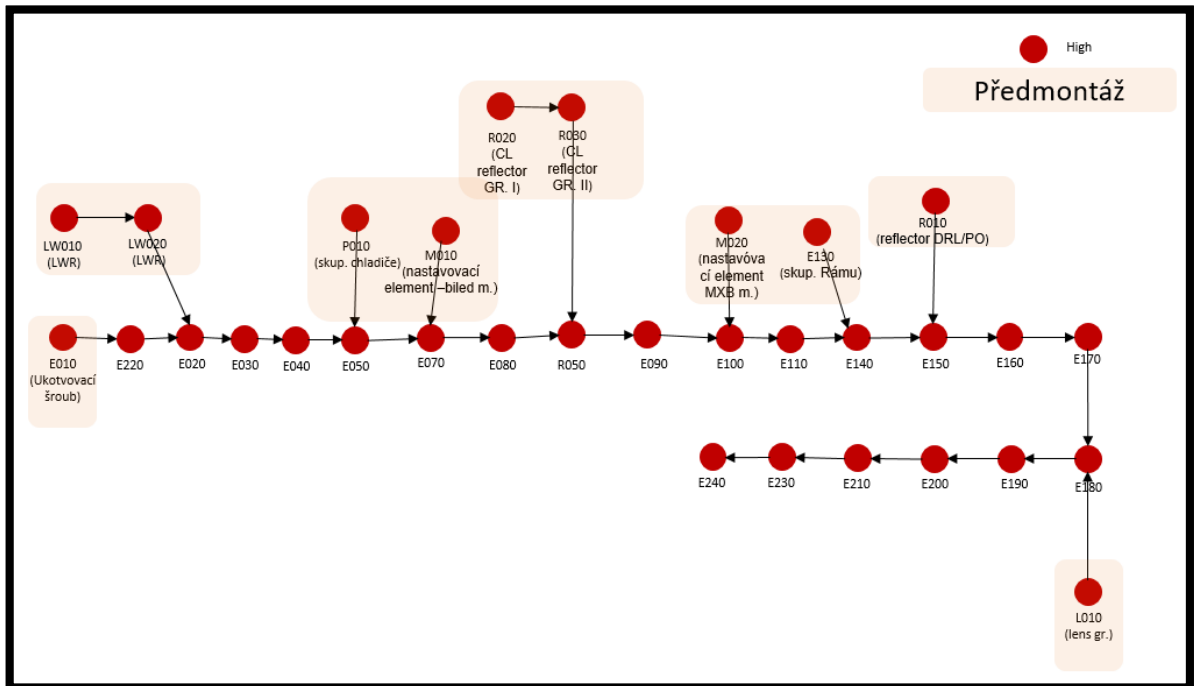
8.1 Popis montáže

Jelikož montáž obou dvou variant výrobku je velmi obdobná, lze montáž popsat obecně pro obě varianty. Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu světel do automobilu, je nutné montážní linku postavit pro pravé i levé světlo. Rozvržení výroby lze vidět na obr. 10. V horní části se budou vyrábět světla do pravé strany automobilu a v dolní části světla do levé strany automobilu. U obou dvou stran je linka rozdělena do dvou částí. První částí jsou předmontážní pracoviště, která lze vidět na horním a dolním okraji layoutu. Budou se na nich vyrábět skupinky dílů, které budou odváženy do centrálního skladu. Ze skladu pak budou rozváženy do hlavní větve linky (střední část layoutu). Předmontážní skupinky budou vyrábět nezávisle na hlavní lince. Z toho plyne, že pokud bude hlavní větev linky odstavena, je možné stále vyrábět předmontážní skupinky do zásoby a naopak. Pod pojmem předmontážní skupina je možné si představit např. skupinu chladiče, která se skládá z dílčích komponent, ale jako celek potom vstupuje do finálního výrobku. Dalšími předmontážními skupinami jsou např. skupina reflektoru, skupina skla a další. Tyto skupiny jsou ze skladu převáženy do hlavní větve linky, kde probíhá kontinuální montáž. Po kompletním smontování světlometu probíhají testy hotových výrobků.

Na následujících obrázcích 8 a 9 byl zpracován v rámci této diplomové práce montážní tok při jednotlivých variantách. Obrázek č. 8 ukazuje procesní tok při výrobě varianty BASIS a obrázek č. 9 zobrazuje procesní tok při výrobě varianty HIGH. Podbarvení pod některými pracovišti vyjadřuje, že se jedná o předmontážní pracoviště.



Obr. 8 – Montážní tok pro variantu BASIS (Vlastní zpracování)

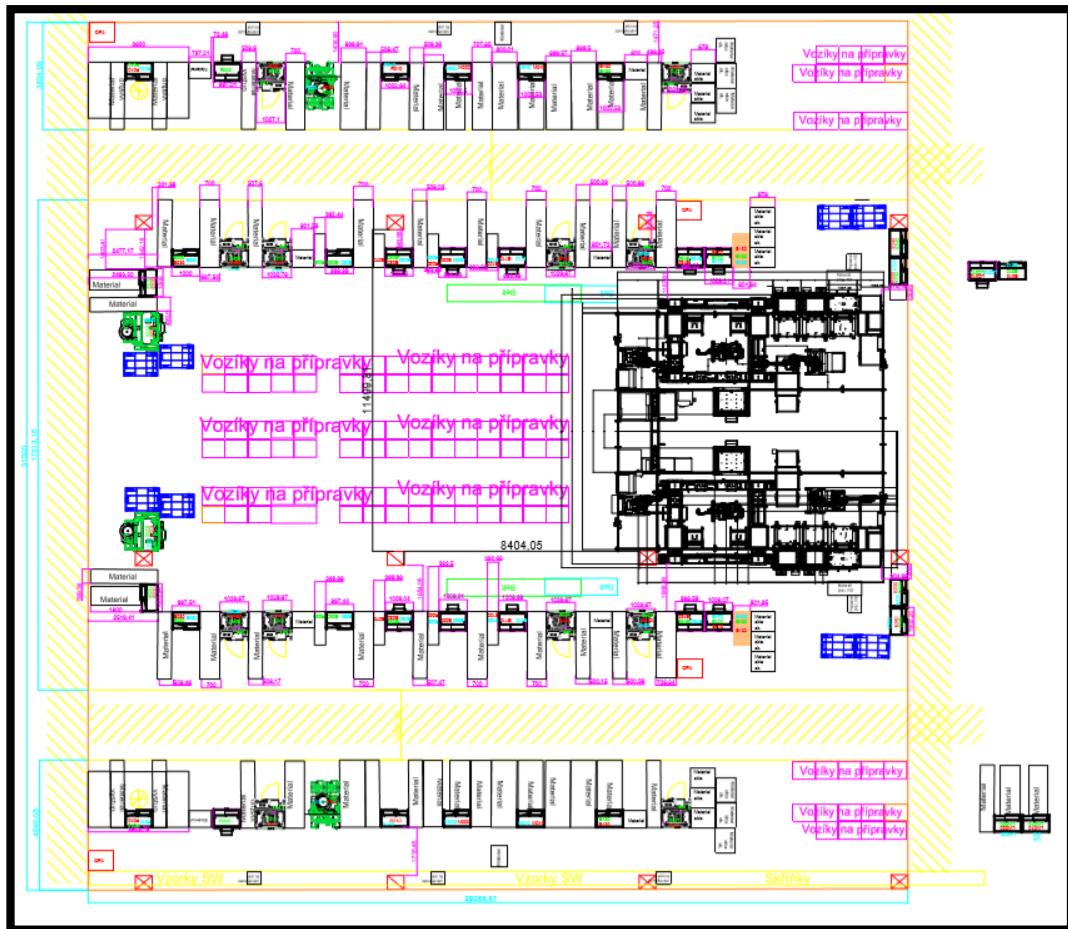


Obr. 9 – Montážní tok pro variantu HIGH (Vlastní zpracování)

8.2 Zpracování Microlayoutů

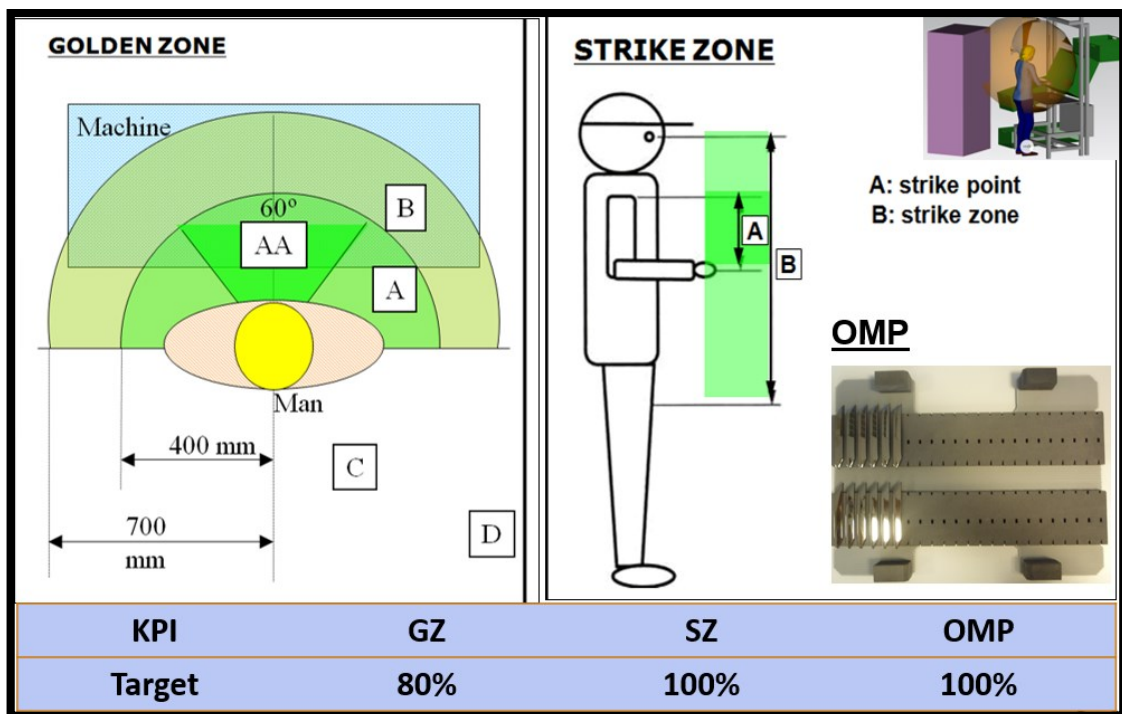
Pro plánování linky byl navržen layout. Ten zobrazuje rozmístění jednotlivých pracovišť. Layout výrobní haly ovšem k projektování celé montážní linky nestačí. Je třeba pohlédnout více do hloubky a linku rozplánovat na detailnější úrovni. K tomu slouží jednotlivé microlayouty, které jsou detailem konkrétních pracovišť a vizualizují rozložení materiálu a všech vstupů, které se následně používají při montáži.

Níže zobrazený layout (obr. 10) byl dodán specialistou, který se ve firmě věnuje vytváření a upravování layoutů.



Obr. 10 – Layout výrobní haly (interní zdroj firmy)

8.2.1 Golden zone



Obr. 11 - Golden zone, Strike zone (interní zdroj firmy)

„Golden zones“ je pojem pro místa na pracovišti, která nám definují optimální polohu, ve které by se mělo pracovat, nebo by tam měl být uložen materiál. Zóna „AA“ je nejvhodnější, protože se nachází přímo před pracovníkem. Nemusí tedy natahovat ruce ani se nijak otáčet, aby na tuto plochu dosáhl. Z toho důvodu zpravidla v této zóně probíhá montáž.

Zóna „A“ je stále velmi dobrá z hlediska ergonomie i úspory pohybů. Vše je pro operátora na dosah. Stačí jen prohnout loket a vše by mělo být dosažitelné. Do těchto míst se většinou ukládá drobný materiál, který je často používán (např. šroubky).

Zóna „B“ už není z hlediska úspory pohybů a z hlediska ergonomie vhodná, jelikož operátor se musí pro materiál natahovat. Sice nemusí opustit svoje pracovní místo (nohy se nehýbou), ale přesto už je materiál vzdálenější a opakované pohyby z hlediska ergonomie představují riziko v podobě lokální svalové zátěže. Stejně tak se v nich skrývá potenciální časová úspora.

Zóna „C“ už představuje problém. Když se v této ploše vyskytuje materiál, musí se pro něj operátor otáčet a tím ztrácí čas, který by mohl být věnován montáži. Rovněž se jedná o neergonomický pohyb, který může představovat potenciální zdravotní riziko a navíc zabere více času.

Zóna „D“ je místo pro ukládání materiálu, u kterého je snaha využívat ho co nejméně. Důvodem je, že aby operátor získal kontrolu nad materiálem, musí k němu udělat např. pár kroků či se k němu dokonce ohýbat atd. Tyto polohy uložení materiálu se snaží společnost eliminovat, nebo alespoň redukovat.

8.2.2 Strike zone

„Strike zone“ představuje rozměrovou vertikální škálu, do které je možno ukládat materiál či jakýkoli objekt, se kterým operátor manipuluje. Při umístění materiálu je snaha soustředit ho do bodu A (viz. obr. 11). Toto místo se nazývá „Strike point“. Jeho výška představuje optimum pro manipulaci s jakýmkoli břemeny. I když umístění břemene mimo „strike point“ není pro manipulaci ideální, přípustná je celá „strike zone“ (viz. Obr. 11). Pokud se břemeno nachází mimo „strike zone“, považuje se to ve firmě za nepřipustné. Toleruje se pouze umístění uvnitř „strike zone“.

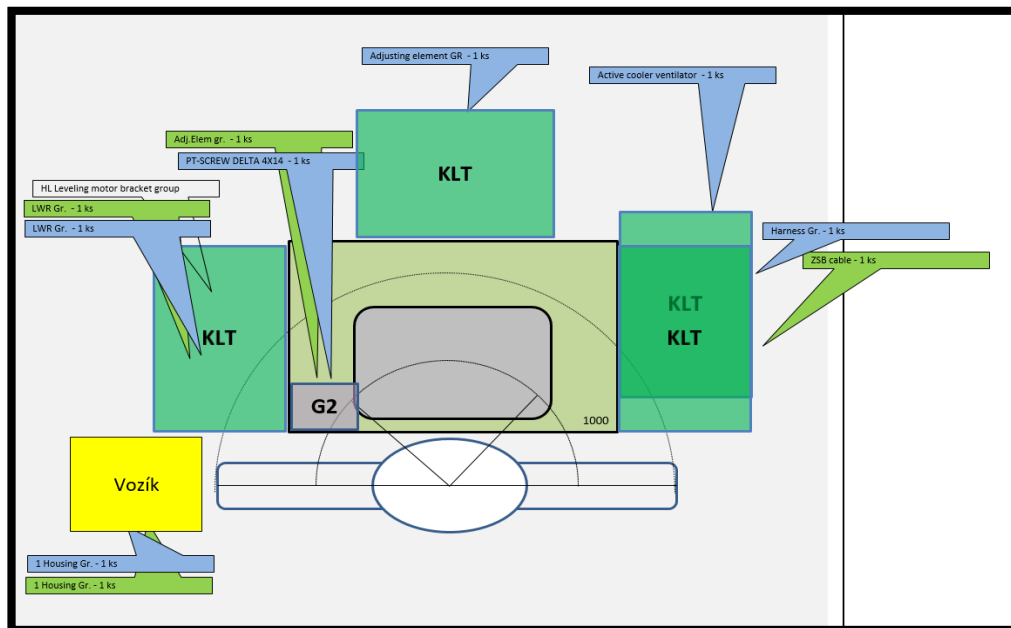
Společnost se snaží co možná nejpřesněji držet rozdělení do jednotlivých „golden zone“ a „strike zone“. Tuto metodiku aplikuje na všech montážních linkách. Ze všech uložených materiálů na všech pracovištích se následně počítá průměr. Pokud se u „golden zone“ nachází průměr do hodnoty 1,5 mezi A a B, tak je rozložení materiálu přijatelné. Pokud je tato hodnota vyšší, musí se provést úpravy v uložení materiálu tak, aby průměr dosahoval maximálně hodnoty 1,5. Stejnou filosofii používá i „strike zone“.

8.2.3 Microlayout

Microlayout je pojem, který daná společnost využívá pro pojmenování detailu konkrétního pracoviště. V rámci této diplomové práce byly vytvořeny všechny microlayouty pro všechna pracoviště, která se budou na lince vyskytovat.

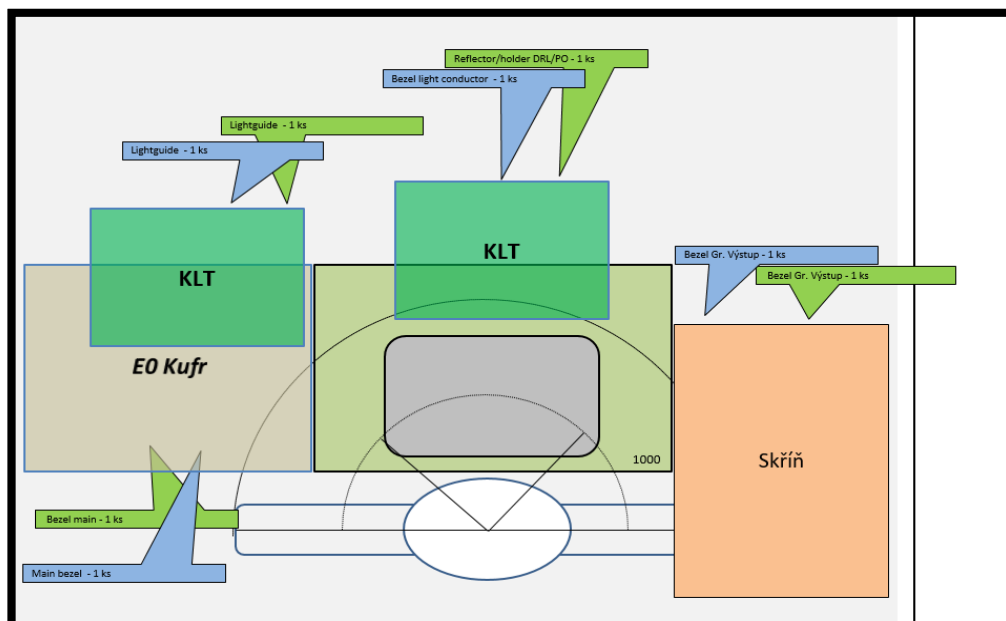
Seznam pracovišť:

- E010, E020, E030, E040, E050, E060, E070, E080, E090, E100, E110, E130, E140, E150, E160, E170, E180, E190, E230, E240
- L010
- LW010, LW020
- M010, M020
- P010
- R010, R020, R030, R040, R050



Obr. 12 – Ukázka zpracovaného microlayoutu na prac. E020

(Vlastní zpracování)



Obr. 13 - Ukázka zpracovaného microlayoutu na prac. E130

(Vlastní zpracování)

Na obrázku č. 12 a na obrázku č. 13 je vidět návrh microlayoutů. Bílý oválek uprostřed představuje operátora, vedle kterého je znázorněn dosah jeho paží. Menší půlkruh před pracovníkem znázorňuje prostor, který je z hlediska plánování microlayoutů nejpříjemnější. Vše, co je uloženo v tomto prostoru, je v tzv. „A golden zone“. Optimum se však na-

chází pouze v trojúhelníkovém výseku neboli v tzv. „AA golden zone“. Druhý (větší) půlkruh znázorňuje kategorii „B golden zone“. Veškerý materiál, pro který se musí operátor nahnout nebo se pro něj otočit, spadá do kategorie „C Golden zone“. Poslední kategorií je „D golden zone“. Do té spadá všechnen materiál, pro který se musí operátor ohýbat, či k němu musí dokonce udělat několik kroků. Např. na obr. č. 13 je umístěn v zóně AA pouze přípravek. V zóně B se nachází balení KLT uprostřed. V zóně C je „skříň“, která částečně zasahuje i do zóny D, jelikož je víceúrovňová a k některým dílům je třeba se ohnout.

8.3 MTM analýza

V rámci této diplomové práce byla zpracována MTM plánovací analýza pro jednotlivá pracoviště. Jako vstup byl použit technologický postup, který zpracoval člen PI oddělení. Cílem této analýzy bylo zjistit pracnost jednotlivých pracovišť. Speciálně pro tento účel existuje ve firmě databáze pohybů, která vychází z MTM datakarty.

Ve firmách se používají různé druhy MTM analýzy. Hlavním kritériem pro výběr druhu je typ výroby. Čím kratší jsou časy, které je třeba měřit, tím je potřeba detailnější analýza. Velkou roli ve výběru také hraje složitost pohybů a komplexně složitost montáže. Konkrétně v této firmě je používána forma MTM-UAS, která je zhruba ve středu škály. Mezi typy MTM, které nejsou tak detailní jako forma UAS, patří: MTM-1, MTM-2 a MTM-Praktik. Existují i typy MTM analýzy, které jsou detailnější než forma UAS. A to je například forma MTM-Logistik, MTM-MEK, MTM-SD či MTM-ProKon.

Každá z jednotlivých forem má svou vlastní datakartu, ze které se při použití metody vychází.

Délka pohybu v cm		≤ 20	> 20 do ≤ 50	> 50 do ≤ 80
Interval vzdálenosti		1	2	3

Uchopit a umístit		Kód	1	2	3	
			TMU			
≤ 1 daN	lehce	přibližně	AA	20	35	50
		volně	AB	30	45	60
		těsně	AC	40	55	70
	těžce	přibližně	AD	20	45	60
		volně	AE	30	55	70
		těsně	AF	40	65	80
	plná ruka	přibližně	AG	40	65	80
	> 1 daN do ≤ 8 daN	přibližně	AH	25	45	55
		volně	AJ	40	65	75
těsně		AK	50	75	85	
> 8 daN do ≤ 22 daN	přibližně	AL	80	105	115	
	volně	AM	95	120	130	
	těsně	AN	120	145	160	

Umístit		Kód	1	2	3
			TMU		
přibližně		PA	10	20	25
volně		PB	20	30	35
těsně		PC	30	40	45

Délka pohybu v cm		≤ 20	> 20 do ≤ 50	> 50 do ≤ 80
Interval vzdálenosti		1	2	3

Manipulace s pomůckou		Kód	1	2	3
			TMU		
přibližně		HA	25	45	65
volně		HB	40	60	75
těsně		HC	50	70	85

Nastavit		Kód	1	2	3
jednoduché		BA	10	25	40
složené		BB	30	45	60

Pohybové cykly		Kód	1	2	3
jeden pohyb		ZA	5	15	20
sled pohybů		ZB	10	30	40
přemístění a jeden pohyb		ZC	30	45	55
upevnit nebo povolit		ZD	20		

Pohyby těla		Kód	TMU
chůze / m		KA	25
předklonit, shýbnout, kleknout (včetně narovnání)		KB	60
posadit se a vstát		KC	110

Vizuální kontrola		Kód	TMU
		VA	15

Obr. 14 – MTM – UAS datakarta (interní zdroj firmy)


Metodika analýzy spočívá v tom, že je nejprve nutné pozorovanou, popřípadě popsanou činnost rozfázovat do jednotlivých pohybů. A to tak detailně, jak to umožňuje datakarta konkrétní formy MTM. V tomto případě formy MTM – UAS je to datakarta uvedená na obrázku č. 14.

Pro jasné vysvětlení jak metoda funguje, lze uvést příklad:

Uchopit předmět o hmotnosti 0,5 kg a odložit ho do vzdálenosti 40 cm s volnou tolerancí. Pro tuto činnost by bylo vhodné použít vzorec z datakarty: AJ2

Vždy je třeba definovat, do jaké kategorie pohyb spadá. Např. uchopit a umístit, pohyby těla, manipulace s pomůckou, nastavit, pohybové cykly atd. V případě uvedeného příkladu se jedná o kategorii uchopit a umístit. Dále je třeba definovat, jak je předmět těžký a podle toho určit kategorii daN. Následně je třeba definovat toleranci, s jakou je třeba předmět uchopit (volně, přibližně nebo těsně). Na základě vyhodnocení těchto kategorií je získán vzorec (v tomto případě AJ). Posledním krokem je určit vzdálenost, z jaké a do jaké se předmět získává / pokládá. V tomto případě vzdálenost činí 40 cm. Z toho plyne, že tuto činnost lze shrnout do vzorce AJ2. Index v hodnotě 65 určuje hodnotu TMU. To je asi to nejpodstatnější. Na základě této hodnoty je možné určit časovou náročnost pohybu. Jed-

notka TMU se dá lehce převést na vteřiny podle převodníku na obrázku č. 15. Znamená to tedy, že tento pohyb bude mít časovou náročnost 2,34 vteřin.

MTM-Institut Eichenallee 11, 15738 Zeuthen Telefon: 033 762 / 20 66 31 Telefax: 033 762 / 20 66 40 eMail: institut@dmtn.com				
Základní procesy UAS (Univerzální rozborový systém)				
Casové jednotky				
TMU	sek	min	h	
1	0,036	0,0006	0,00001	
Použití těchto hodnot bez řádného školení v základním systému MTMA1 a UAS vede k nesprávným výsledkům				

Obr. 15 – Převodník UAS (interní zdroj firmy)

Podle výše popsaného postupu lze postupovat při sestavování vzorců pro jakýkoliv pracovní postup, který se hodí pro tuto variantu MTM. Ve vybrané společnosti, ve které byla tato diplomová práce zpracována, však existuje databáze pohybů podle norem MTM-UAS. Tuto databázi si firma vytvořila sama. Lze z ní získat jednotlivé vzorce na základě popsaných pohybů, aniž by byla zapotřebí datakarta. Samozřejmě data v databázi jsou v souladu s datakartou, podle které byla vytvořena. Princip sestavování vzorců je vlastně stejný, ovšem s rozdílem, že je práce podstatně jednodušší a orientace v databázi je rychlejší. Proto byla pro účely této diplomové práce využita tato firemní databáze.

V rámci této diplomové práce byla vytvořena MTM plánovací analýza pro všechna pracoviště, jak pro variantu před automatizací, tak pro variantu po automatizaci. To bylo nutné pro získání vhodných vstupních dat pro počítačovou simulaci, která byla následně zpracována. Výstupem této analýzy je tedy celková pracnost operátora na daném pracovišti.

Vzhledem k tomu, že bylo třeba zpracovat každé pracoviště pro obě verze výrobku (BASIS a HIGH), a to jak v situaci před automatizací, tak v situaci po případné automatizaci, šlo celkem o zpracování analýzy pro 110 pracovišť. Vzhledem k rozsahu analýzy byl uveden

příklad metodologie zpracování na vybraném pracovišti. Dále práce obsahuje celkový výsledek a sumarizaci MTM analýzy pro všechna pracoviště.

8.3.1 MTM Analýza pro pracoviště E040 BASIS před automatizací

Pro ukázkou bylo vybráno pracoviště E040 ve variantě BASIS, a to jak v situaci před automatizací, tak v situaci po automatizaci. Konkrétně na tomto pracovišti došlo ke změně plánu a má zde dojít k automatizaci, tzn. k umístění colaborativního robota. Toto pracoviště má být takzvaně poloautomatické (v případě uvažování automatizované varianty). Plán pro obsluhu je tedy takový, že operátor založí skupinu smontovanou na předchozím pracovišti do přípravku pracoviště E040 a následně založí jednotlivé díly, které vstupují do finálního výrobku. Operátor provede nezbytně nutné operace a colaborativní robot provede šroubovací proces, bez kterého nemůže pokračovat další montáž. V případě uvažování manuální varianty je postup obdobný. Rozdíl je v tom, že po založení skupiny z předchozího pracoviště a ostatních dílů musí operátor provést šroubovací proces sám. V obou případech po dokončení práce na pracovišti E040 operátor musí vyjmout smontovanou skupinu z přípravku a odložit ji na stanovené místo.

Tabulka 1 - MTM analýza prac. E040 B. před automatizací (vlastní zpracování)

ČÍSLO	POPIS	KÓD	ČAS * POČET * ČETNOST	OZNAČ.
1	Vzít skup. Pouzdra z předchozí stanice a umístit ji do přípravku	E040	4,6 * 1 * 1,0 = 4,6	
1:01	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
1:02	Uchopit pouzdro a umístit ho do přípravku	AJ1	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
1:03	Umístit pouzdro do přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
1:04	čekání na uzamčení a čtení DMC	PTBSEC	1,0 * 1 * 1 = 1,0	W-P
2	Vyjmout kontrolní jednotku z balení, nakontaktovat a umístit do přídatného přípravku	E040	5,9 * 1 * 1,0 = 5,9	
2:05	Vyjmout kontrolní jednotku z krabice a umístit ji blíž pouzdra	AA3	1,8 * 1 * 1 = 1,8	N-N
2:06	Kontaktování	AC2	2,0 * 1 * 1 = 2,0	V-M
2:07	Stisknout kontaktování	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
2:08	Umístit kontrolní jednotku do přídatného přípravku	PB2	1,1 * 1 * 1 = 1,1	N-N
2:09	Umístit kontrolní jednotku do přídatného přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
3	Stisknout dvouruční tlačítko, čtení DMC, zacvaknutí kontrolní jednotky	E040	9,9 * 1 * 1,0 = 9,9	
3:10	Start	BA3	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
3:11	PČ: Čtení DMC kódu. Kontrola kontaktování	PTBSEC	1,0 * 1,5 * 1 = 1,5	W-P
3:12	PČ: Kontrolní jednotka bude zacvaknuta do pouzdra	PTBSEC	1,0 * 7 * 1 = 7,0	W-P
4	Fixace kontrolní jednotky třemi šrouby	E040	17,5 * 1 * 1,0 = 17,5	
4:13	Použití šroubováku	HA2	1,6 * 1 * 1 = 1,6	N-N
4:14	První šroub do šroubováku	AF1	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
4:15	Druhý - třetí šroub do šroubováku	PC1	1,1 * 2 * 1 = 2,2	N-N
4:16	Posun šroubováku se šroubem k dílu	PC1	1,1 * 3 * 1 = 3,2	N-N
4:17	Šroubovací proces	PTBSEC	1,0 * 3 * 3 = 9	V-M
5	Vyjmout skup. Pouzdra z přípravku, kontrola a posun na následující stanici	E040	8,9 * 1 * 1,0 = 8,9	
5:18	Uvolnění dokončené skupiny	AL2	3,8 * 1 * 1 = 3,8	N-N
5:19	Vizuální kontrola dokončené skupiny	PTBSEC	1,0 * 3 * 1 = 3,0	Q-V
5:20	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
5:21	Umístit dokončenou skupinu na poličku / odkládací stůl	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
6	Přídavné časy	E040	2,0 * 1 * 1,0 = 2,0	
6:22	Přídavný čas pro balení	PTBSEC	1,0 * 2 * 1 = 2,0	L-I

Tabulka č. 1 se týká pracoviště E040 BASIS při variantě před automatizací. Analýza na každém pracovišti byla vždy rozdělena do dvou částí. První část spočívala v detailním roz-

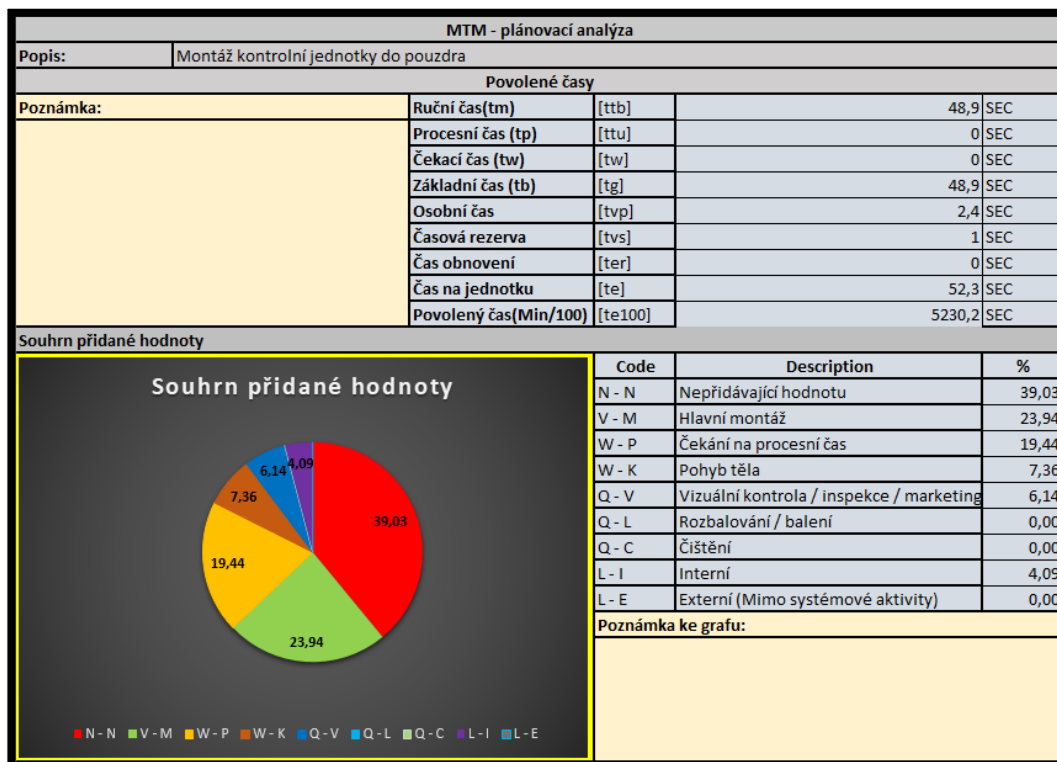
kouskovaní operátorových činností na konkrétním pracovišti dle zadaného technologického postupu. Činnosti pracovníka na pracovišti E040 BASIS (před automatizací) vypadají následovně:

- Vzít skupinu pouzdra z předchozí stanice a založit ji do přípravku,
- Vyjmout kontrolní jednotku z balení, nakontaktovat ji a umístit ji do pomocného přípravku,
- Stisknout dvouruční tlačítko pro přečtení DMC kódu a zacvaknutí kontrolní jednotky,
- Fixovat kontrolní jednotku třemi šrouby,
- Vyjmout skupinu pouzdra z přípravku, provést vizuální kontrolu a posunout skupinu na odkládací stůl následující stanice,
- Vložit dokončenou skupinu do obalu.

Tyto činnosti jsou ovšem pro MTM analýzu příliš nepřesné a obsáhlé. Je třeba analyzovat detailně konkrétně jednotlivé činnosti, aby bylo možné stanovit normu pracnosti pro jednotlivé pohyby, následně úkony a finálně pro celé pracoviště. V tabulce č. 1 lze vidět rozdělení činnosti do jednotlivých úkonů, které jsou dále děleny na přípustné úseky, které již lze obsáhnou konkrétním vzorcem MTM analýzy, vycházející z datakarty formy UAS. Tyto činnosti jsou popsány ve sloupci „POPIS“. Ve sloupci „KÓD“ je potom úkon kategorizován dle normy MTM a vyjádřen příslušným vzorcem. Dalším sloupcem je „ČAS * POČET * ČETNOST“. V tomto sloupci je možné vynásobit počet činností. Například pokud by operátor došel na nějaké místo a vrátil se zpět za předpokladu, že tento úkon provede dvakrát za sebou, vypadal by zápis následovně: ČAS (vycházející z datakarty podle přepočtu jednotek TMU na sekundy) * 2 (cesta tam a zpět) * 2 (dvě operace za sebou).

Sloupec „OZNAČENÍ“ (označ.) kategorizuje úkon do druhu činnosti, která je vysvětlena na obrázku č. 17.

Konkrétní čas se získává při této metodě přepočtem jednotek TMU na sekundy. Například v tabulce č. 1, na řádku označeném 1:02, je zaznamenán vzorec v podobě AJ1. Tomuto vzorci odpovídá hodnota 40 TMU (viz datakarta). Když se převede hodnota na sekundy, vyjde hodnota 1,4s (1TMU = 0,036s). Na stejném řádku je patrný přepočet, který ukazuje tuto hodnotu. Všechny řádky v dané sekvenci jsou sečteny a shrnuty do konkrétního sumarizačního řádku dané sekvence. Součet těchto sumarizačních řádků, které jsou na obrázku označeny žlutě, dává dohromady celkovou manuální pracnost pracoviště.



Graf 1 - MTM analýza prac. E040 B. před automatizací 2 (vlastní zpracování)

Na grafu č. 1 lze vidět rozdělení činností do kategorií. Legenda grafu, která je umístěna napravo, je rozšířena o procentuální přepočty. Konkrétně na pracovišti E040 BASIS před automatizací podíl činností nepřidávajících hodnotu činí 39,03 %. Této hodnoty bylo dosaženo na základě součtu časové náročnosti všech úkonů na tomto pracovišti, které jsou označeny kódem N-N. Konkrétně v tomto případě součet těchto činností činí 19,1 vteřin (viz tabulka č. 1). Jednoduchým výpočtem bylo zjištěno, kolik procent z celkového času stráveného na tomto pracovišti činí úkony nepřidávající hodnotu finálnímu výrobku. Konkrétní výpočet vypadá takto: $(48,9 / 19,1) * 100 = 39,05 \%$.

Stejným způsobem byly vypočítány procentuální podíly všech kategorií. V grafu je potom možné vidět tyto podíly graficky rozložené. Je tedy na první pohled patrné, jak velkou část který druh činnosti na konkrétním pracovišti zastává. Na pracovišti E040 BASIS před automatizací má největší podíl činnost nepřidávající hodnotu, dále hlavní montáž, čekání na procesní čas, následují pohyby těla a vizuální kontrola a v poslední řadě jsou to interní činnosti.

Do kategorie činností nepřidávajících hodnotu se řadí veškeré činnosti, které svoji podstatou nepřidávají finálnímu výrobku hodnotu. Může mezi ně patřit například:

- Manipulace,

- Příprava pomůcek,
- Pomocné činnosti,
- Obsluha stroje, který následně svou činností přidává hodnotu finálnímu produktu, atd...

Do kategorie hlavní montáže patří zpravidla všechno, co přidává výrobku hodnotu. Nejčastěji to může být:

- Ruční montáž,
- Šroubovací procesy,
- Veškeré úkony, které svojí podstatou přímo přidávají hodnotu výrobku.

Další kategorie „Čekání na proces“ zahrnuje veškeré časy, kdy operátor čeká na práci stroje nebo na dokončení procesu.

Kategorie „Pohyby těla“ obsahuje všechny časy, které operátor na konkrétním pracovišti spotřebuje na jakýkoliv pohyb.

Další kategorie „Vizuální kontrola / inspekce / marketing“ zahrnuje veškeré kontrolní činnosti, které se vyskytují na pracovišti.

Balení finálních výrobků do krabic se řadí do kategorie „Rozbalování/balení“. Do této kategorie se řadí pouze balení finálních výrobků, proto není k této kategorii přiřazen žádný čas.

V kategorii „Čištění“ je zahrnuto veškeré čištění, úklid a údržba, pokud je vyžadována. V případě uvedeného příkladu žádné čištění není nutné.

Ostatní činnosti, které nemají kategorii, jsou zahrnuty v sekci „Interní“. Jedná se o veškeré interní činnosti, které nejsou obsažené v ostatních kategoriích.

Poslední je kategorie „Externí (Mimo systémové aktivity)“. Ta zahrnuje veškeré činnosti, které se provádí v rámci analyzovaného úseku externě. To znamená mimo území firmy. Například se může stát, že konkrétní úkon vykoná dodavatel (smontuje nějakou část již ve své firmě a odešle ji smontovanou).

V horní části grafu je možné vidět přidané časy, které se vyplňují až po zjištění celkové pracovní daného pracoviště. Je stanoven základní čas, který vychází z MTM analýzy. A následně je přiřazena časová přírážka pro osobní potřeby zaměstnance na jeden kus, která

se zpravidla pohybuje mezi 4 % - 10 %. Následně je určena časová rezerva, která počítá s potenciálním zpožděním. Tato rezerva je rovněž stanovena na jeden kus.

Čas, který se tedy počítá jako finální pro toto pracoviště a se kterým se dále pracuje, je uveden v kolonce „Čas na jednotku“. To znamená 52,3 sekund.

Ne všechny kategorie a časové přírážky jsou vyplněny. Důvodem je to, aby bylo možné univerzální použití formuláře v celém podniku. V případě jiných typů pracovišť nebo při analyzování jiných druhů činností je možné využít kolonky, které jsou prázdné v uvedeném příkladu z pracoviště E040 BASIS před automatizací.

8.3.2 MTM Analýza pro pracoviště E040 BASIS po automatizaci

Vzhledem k plánované automatizaci na tomto pracovišti byl změněn technologický postup. Konkrétně na tomto pracovišti rozdíl není moc velký. Jedná se pouze o automatizování šroubovacího procesu na tomto pracovišti. Plánovaná automatizace však ovlivní technologický postup na většině pracovištích. A to i na těch, která nejsou automatizována. Tabulka č. 2 ukazuje rozdíl mezi montáží na stejném pracovišti v situaci po automatizaci. Přímé porovnání je možné s tabulkou č. 1, která obsahuje analýzu pro situaci před automatizací.

Tabulka 2 - MTM analýza prac. E040 B. po automatizaci (vlastní zpracování)

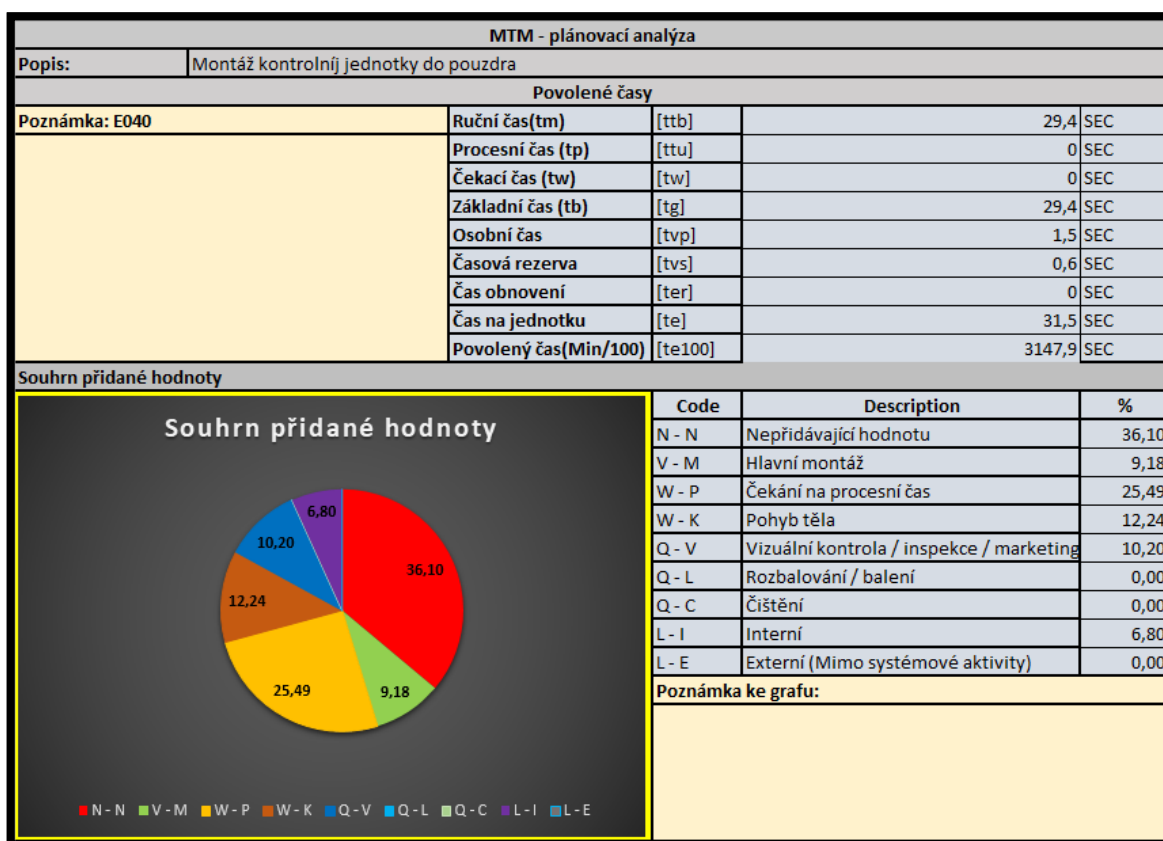
Material Provision Overview				
ČÍSLO	POPIS	KÓD	ČAS * POČET * ČETNOST	OZNAČ.
1	Vyjmout skupinu pouzdra z předchozí stanice a umístit jej do přípravku	E040	4,6 * 1 * 1,0 = 4,6	
1:01	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
1:02	Uchopit a umístit pouzdro do přípravku	AJ1	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
1:03	Umístit pouzdro do přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
1:04	Čekání na uzamčení a čtení DMC	PTBSEC	1,0 * 1 * 1 = 1,0	W-P
2	Vyjmutí kontrolní jednotky z balení. Kontaktování a umístění do přípravku	E040	5,9 * 1 * 1,0 = 5,9	
2:05	Vyjmutí kontrolní jednotky z krabice a umístění blíže pouzdra	AA3	1,8 * 1 * 1 = 1,8	N-N
2:06	Kontaktování	AC2	2,0 * 1 * 1 = 2,0	V-M
2:07	Stisknutí - kontaktování	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
2:08	Umístění kontrolní jednotky do pomocného přípravku	PB2	1,1 * 1 * 1 = 1,1	N-N
2:09	Umístění kontrolní jednotky do pomocného přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
3	Stisknout dvouruční tlačítko, čtení DMC, zavaknutí kontrolní jednotky do pouzdra	E040	7,9 * 1 * 1,0 = 7,9	
3:10	Start	BA3	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
3:11	PČ: Přečíst DMC kód, kontrola kontaktů	PTBSEC	1,0 * 1,5 * 1 = 1,5	W-P
3:12	PČ: Zavaknutí kontrolní jednotky do pouzdra	PTBSEC	1,0 * 5 * 1 = 5,0	W-P
4	Uchycení kontrolní jednotky třemi šrouby (Cobot - procesní čas 1)	E040		
4:13	Použití šroubováku			
4:14	Založení prvního šroubu do šroubováku			
4:15	Založení druhého a třetího šroubu do šroubováku			
4:16	Posun šroubováku se šroubem k dílu			
4:17	Šroubovací proces			
5	Vyjmout skupinu pouzdra z přípravku, zkontrolovat a posunout na odkládací stůl	E040	8,9 * 1 * 1,0 = 8,9	
5:18	Uvolnit dokončenou skupinku	AL2	3,8 * 1 * 1 = 3,8	N-N
5:19	Vizuální kontrola dokončené skupiny	PTBSEC	1,0 * 3 * 1 = 3,0	Q-V
5:20	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
5:21	Umístit dokončenou skupinu na poličku / odkládací stůl	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
6	Pomocné časy	E040	2,0 * 1 * 1,0 = 2,0	
6:22	Pomocný čas pro balení	PTBSEC	1,0 * 2 * 2,0	L-I

Když se porovná tabulka č. 1 a tabulka č. 2, lze vidět, že jsou obě téměř stejné. Rozdíl je v tom, že u sumarizačního řádku č. 4 u tabulky č. 2 není procesní čas. To z toho důvodu, že tato operace bude automatizovaná. To znamená, že operátor získá čas pro další činnosti.

Z rozdílu mezi tabulkami je patrné, že operátor ušetří na automatizované operaci 17,5 vteřiny. Vzhledem k tomu, že se nestará pouze o jedno pracoviště, ale ve většině případů jich má na starost více, může se díky této úspoře času věnovat jiné činnosti.

Co se týká metodologie analýzy, tak je ve všech případech naprosto stejná jako u pracoviště E040 BASIS před automatizací, kde je vysvětlen postup.

Na grafu č. 2 je možné vidět grafické porovnání oproti původně zamýšlené variantě s čistě manuálním pracovištěm. Rozložení činností do konkrétních kategorií bylo provedeno na stejném principu jako v případě grafu č. 1. Je patrné, že došlo k časové úspoře. Finálním časem pro toto pracoviště je tedy 31,5 sekund.



Graf 2 - MTM analýza prac. E040 B. po automatizaci 2 (vlastní zpracování)

Stejným způsobem byla zpracována MTM analýza pro všechna ostatní pracoviště. A to jak pro variantu BASIS, tak i pro variantu HIGH. Příklad pro variantu HIGH je uveden jako příloha č. 1.

Výsledky analýzy ostatních pracovišť jsou zjistitelné ze vstupních dat simulace nebo z tabulek pro určení počtu pracovníků.

8.3.3 Určení počtu pracovníků na základě MTM analýzy

Dalším důležitým krokem pro tuto diplomovou práci bylo určení počtu operátorů pro výrobní linku. Bylo potřeba zjistit počty pracovníků pro obě varianty výrobků BASIS i HIGH. Navíc v obou situacích (před automatizací a po automatizaci).

Zákazníkem byl určen konkrétní takt výroby, v jakém by si přál vyrábět. Jedná se o takt v hodnotě 66 vteřin. Jinými slovy, každých 66 vteřin by měla linka vyprodukovat finální výrobek. Tento takt je shodný jak pro variantu BASIS, tak pro variantu HIGH. Účelem této analýzy bylo zjistit, kolik pracovníků bude třeba v situaci před automatizací a kolik jich bude třeba v situaci po automatizaci. Metodologie, jakou byl určen počet pracovníků, je vysvětlena na příkladu pro variantu BASIS. Legenda pro tabulky, na kterých je zobrazen počet pracovníků, je uvedena na obrázku č. 16.

Legenda
Automatizované pracoviště
Kapacita operátora je dostatečná
Kapacita operátora bude brzy vyčerpána
Poslední operace operátora

*Obr. 16 – Legenda pro tabulky
č. 3 a 4 (vlastní zpracování)*

8.3.4 Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS

Tabulka 3 – Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS (vlastní zpracování)

Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas(s)	Výpomoc	Čas
E 220	30,1	1	30,1	/	/
E 020	37	1	62,1	2	5
E 030	19,5	2	24,5	/	/
E 040	31,5	2	56	/	/
E 050	31,9	2	65,9	3	22
R 050	12,1	3	34,1	/	/
E 060	30,5	3	64,6	/	/
E 080	17	4	17	/	/
E 140	42,2	4	59,2	/	/
E 150	28,3	4	65,5	5	22
E 160	16	5	38	/	/
E 170	21,4	5	59,4	/	/
E 180	18,3	5	65,7	6	12
E 190	28,2	6	40,2	/	/
E 230	25,2	6	65,4	/	/
E 240	65,1	7	65,1	/	/
Předmont.					
R 020	16,7	8	16,7	/	/
R 030	25,4	8	42,1	/	/
R 040	11,1	8	53,2	/	/
P 010	20(st.)	/	/	/	/
E 130	32,9	10	32,9	/	/
L 010	23,4	10	56,3	/	/
E 010	28,4	11	28,4	/	/
LW 10	25,2	12	25,2	/	/
LW 20	36,6	12	61,8	/	/
Celkový počet operátorů:				12	
BASIS - Po automatizaci				Takt	65,9

Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas	Výpomoc	Čas
E 220	61,9	1	61,9	/	/
E 020	46,4	2	46,4	/	/
E 030	20,3	2	61,7	3	5
E 040	52,3	3	57,3	/	/
E 050	41,6	3	63,9	4	35
R 050	11,1	4	46,1	/	/
E 060	30,5	4	61,6	5	15
E 080	17	5	32	/	/
E 140	54	5	62	6	24
E 150	54,3	6	63,3	7	15
E 160	16	7	31	/	/
E 170	21,4	7	52,4	/	/
E 180	23,4	7	65,8	8	10
E 190	13,1	8	23,1	/	/
E 230	23,4	8	46,5	/	/
E 240	65,1	9	65,1	/	/
Předmont.					
R 020	47,25	10	47,25	/	/
R 030	62,35	11	62,35	/	/
R 040	11,1	12	11,1	/	/
P 010	34,8	12	45,9	/	/
E 130	45,9	13	45,9	/	/
L 010	17,4	13	63,3	/	/
E 010	21	14	21	/	/
LW 10	37,9	15	37,9	/	/
LW 20	24,5	15	62,4	/	/
Celkový počet operátorů				15	
BASIS - Před automatizací				Takt	65,8

V tabulce č. 3 je zobrazen výpočet pracovníků pro variantu BASIS po automatizaci (vlevo) a před automatizací (vpravo). V kolonce „Pracoviště“ je vždy určeno pracoviště podle jeho identifikačního čísla. Pokud je toto pole modře podbarveno, znamená to, že toto pracoviště má být automatizované. V kolonce „Ruční čas“ je ke každému pracovišti přidělen výsledný čas, který vychází z MTM analýzy. Například na grafu č. 2 je uveden finální čas pro pracoviště E040 BASIS před automatizací 31,5 sekund. Tento čas odpovídá hodnotě uvedené v tabulce č. 3.

Další kolonkou „Operátor“ se rozumí, který operátor bude pracovat na konkrétním pracovišti. Pokud je toto pole modře podbarvené, jedná se o poslední úkon pracovníka, po kterém se vrací opět na své první pracoviště. Např. operátor č. 2 (verze po automatizaci – tabulka vlevo) bude pracovat nejdříve na pracovišti E030, potom na E040 a následně bude část operací provádět i na pracovišti E050. V kolonce „Čas“ je vždy postupně sčítán ruční čas operátora. Tento čas nikdy nesmí přesáhnout zákaznický takt, jinak by se takt linky zvýšil na nepřípustnou výši. Další kolonkou je „Výpomoc“, ta není vždy vyplněna. Výpomoc je uvedena pouze v případech, že by operátor překročil výrobní takt. Pokud tomu tak je, tak se o toto pracoviště dělí dva operátoři. Realita bude taková, že například operátor č.

2 (verze po automatizaci – tabulka vlevo) bude pracovat na pracovišti E030, E040 a na pracovišti E050 bude pracovat jen necelých 10 vteřin. Potom už za něj operaci převezme operátor č. 3 a dokončí ji. V tomto konkrétní případě mu to bude trvat 22 sekund. Hodnota 22 sekund je uvedena v poslední kolonce, která má také hlavičku „Čas“. Tato hodnota se rovněž počítá do operátorovy kapacity.

Jakmile je operátorova kapacita téměř vyčerpaná (blíží se zákaznickému taktu), tak je v tabulce podbarvena oranžově. Pokud je podbarvena zeleně, znamená to, že operátor má ještě dostatek kapacity, než se naplní do hodnoty zákaznického taktu.

Faktem je, že ne u všech operátorů lze jejich kapacitu využít na maximum. Je třeba zohlednit polohu pracoviště v layoutu. Dělit činnosti mezi operátory tedy lze pouze na pracovištích, která spolu sousedí. Proto například operátor č. 11 (verze po automatizaci – tabulka vlevo) nemá kapacitu naplněnou ani z poloviny. Jeho pracoviště má být umístěno v takové části výrobní haly, že je nereálné, aby někomu pomáhal s montáží. Na této výrobní hale je naplánováno zavést „Job rotation“. To zajistí vyváženost pracovní náplně mezi operátory, aby se nestalo, že jeden nebude dlouhodobě využit a ostatní budou využiti téměř ze sta procent.

Důvod, proč v levé tabulce u pracoviště P010 není uveden pracovník, je takový, že se jedná o plně automatizované pracoviště. To znamená, že logistik pouze jednou za čas doplní zásobu materiálu a robot provádí montážní operaci včetně odkládání výstupních dílů zcela automaticky.

Tabulky jsou rozděleny do dvou částí. Horní část zobrazuje výpočet pracovníků pro hlavní větev linky a dolní část zobrazuje výpočet pro předmontážní pracoviště, odkud je materiál odvážen do skladu. Z tohoto skladu potom putuje na hlavní větev linky jako vstupní materiál.

Tabulka č. 3 zobrazuje ještě dvě velmi podstatné informace. První z nich je počet pracovníků, který je potřebný pro chod linky, aby bylo možné vyrábět v zákaznickém taktu. Z tabulky tedy plyne, že při použití automatizované varianty budou uspořeni tři operátoři. Vzhledem k tomu, že linka je vystavěna dvakrát (pravé a levé světlo) a je plánován třísměnný provoz, tak z automatizované varianty plyne ještě větší úspora operátorů. Pokud budou uspořeni 3 operátoři na jednu stranu, je třeba toto číslo vynásobit dvěma. To znamená 6 operátorů na obě strany celkem. Posledním krokem je spočítat, kolik operátorů bude

uspořeno v rámci třisměnného provozu: $6 \times 3 = 18$. Znamená to tedy, že u varianty BASIS se při použití automatizované varianty celkem uspoří 18 operátorů.

V posledním řádku je zobrazen takt linky (maximální vytíženost operátora). V obou případech splňuje požadavek zákazníka. Ovšem rozdíl je v potřebném počtu operátorů.

8.3.5 Určení počtu pracovníků pro variantu HIGH

Tabulka 4 - Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS (vlastní zpracování)

Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas (s)	Výpomoc	Čas
E 220	30,1	1	30,1	/	/
E 020	55,9	1	66	2	20
E 030	22,5	2	42,5	/	/
E 040	29,4	2	61,9	3	10
E 050	42,1	3	52,1	/	/
E 070	11,1	3	63,2	/	/
E 080	36,2	4	36,2	/	/
R 050	11,1	4	47,3	/	/
E 090	36,2	4	65,5	5	18
E 100	11,1	5	29,1	/	/
E 110	36,2	5	65,3	/	/
E 140	40,9	6	40,9	/	/
E 150	40,4	6	64,3	7	17
E 160	16	7	33	/	/
E 170	21,4	7	54,4	/	/
E 180	18,3	7	65,7	8	7
E 190	28,2	8	35,2	/	/
E 230	30,3	8	65,5	/	/
E 240	65,1	9	65,1	/	/
Předmont.					
M 010	32,5	10	32,5	/	/
M 020	29,4	10	61,9	/	/
R 010	21,5	11	21,5	/	/
R 020	18	11	39,5	/	/
R 030	21,7	11	61,2	/	/
P 010	20(st.)	/	/	/	/
E 130	34,3	12	34,3	/	/
L 010	23,4	12	57,7	/	/
E 010	65,5	13	65,5	/	/
LW 010	25,2	14	25,2	/	/
LW 020	36,6	14	61,8	/	/
Celkový počet operátorů:				14	
HIGH - Po automatizaci				Takt	66s

Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas	Výpomoc	Čas
E 220	61,9	1	61,9	/	/
E 020	63,4	2	63,4	/	/
E 030	39,4	3	39,4	/	/
E 040	50	3	64,4	4	25
E 050	66,9	4	63,9	5	28
E 070	11,1	5	39,1	/	/
E 080	44,9	5	64	6	20
R 050	11,1	6	31,1	/	/
E 090	41,3	6	62,4	7	10
E 100	11,1	7	21,1	/	/
E 110	44,9	7	66	/	/
E 140	54	8	54	/	/
E 150	69,3	9	54,3	10	15
E 160	16	10	31	/	/
E 170	21,4	10	52,4	/	/
E 180	21,4	10	63,8	11	10
E 190	13,1	11	23,1	/	/
E 230	29,2	11	52,3	/	/
E 240	65,1	12	65,1	/	/
Předmont.					
M 010	32,5	13	32,5	/	/
M 020	35,5	13	63	14	5
R 010	22,2	14	27,2	/	/
R 020	30	14	57,2	/	/
R 030	32	14	61,2	15	28
P 010	31,8	15	59,8	/	/
E 130	72,8	16	62,8	17	10
L 010	40,5	17	50,5	/	/
E 010	47,2	18	47,2	/	/
LW 010	26	19	26	/	/
LW 020	24,5	19	50,5	/	/
Celkový počet operátorů:				19	
HIGH - Před automatizací				Takt	66s

Tabulka č. 4 zobrazuje porovnání výpočtu potřeby pracovníků u montáže výrobku varianty HIGH po automatizaci (vlevo) a před automatizací (vpravo).

Metodologie postupu při výpočtu potřeby pracovníků je stejná jako u varianty BASIS.

Takt je opět ve shodě s požadavkem zákazníka. Činí přesně 66 vteřin, takže odpovídá požadovanému tempu.

Rozdíl mezi potřebným počtem pracovníků je o něco větší než u varianty BASIS. To je způsobeno především tím, že se jedná o složitější produkt. Montáž je sice velmi podobná a funguje na stejném principu, ovšem výrobek je přeci jen pracnější a časově náročnější. To způsobuje tento rozdíl.

Z tabulky je patrné, že při použití automatizované varianty bude třeba 14 operátorů. Pokud by byla realizována čistě manuální varianta, bylo by třeba použít 19 operátorů. To znamená, že při použití automatizace by bylo možné uspořit 5 operátorů na jednu stranu linky při jedné směně. Celková úspora by tedy byla $5 * 2 = 10$ (dvě strany linky) $* 3$ (směny) = 30. Celková úspora by tedy znamenala 30 operátorů.

Pro experiment v rámci simulace byla vytvořena třetí varianta výroby (tato situace v reálu nebyla uvažovaná). A to pro porovnání situace, kdy by se použila alternativa stejného počtu operátorů jako u situace po automatizaci, to znamená v případě varianty BASIS 12 operátorů a v případě varianty HIGH 14 operátorů. Ovšem za předpokladu, že by nebyla použita automatizace. Už to napovídá k tomu, že by na lince poklesl výrobní takt a s ním i celkový výkon linky. Tabulka balancování pro variantu BASIS i HIGH je pro tento experiment zpracována v příloze č. 2.

8.4 Počítačová simulace

Pro zjištění funkčnosti linky v obou variantách byla vytvořena počítačová simulace v programu Tecnomatix Plant Simulation. Účelem vytvoření této simulace bylo ověření, zda linky zvládnou vyrábět v zákaznickém taktu či nikoliv. V rámci této simulace byl navíc vytvořen experiment třetí varianty výroby. Ta počítá se stejným počtem operátorů jako při použití automatizované varianty, ovšem za předpokladu, že pracoviště zůstanou manuální. Cílem je pozorovat, jak se změní výstup v podobě vyrobených kusů, jelikož musí zákonitě klesnout i výrobní takt.

Simulace dále zobrazuje funkčnost logistických procesů, které jsou nezbytné pro chod linky, a to při jakékoliv variantě. Očekávanými výstupy simulace jsou především výstupy výrobků v kusech při jednotlivých variantách výroby. Dalším důležitým výstupem je prokázání, že na pracovištích v hlavní větvi linky je vždy dostatek materiálu, aby bylo možné vyprodukovat požadovaný výstup.

Ze simulace je možné získat dílčí výstupy v podobě vytíženosti zásobovacích vozíků. Lze například monitorovat, kolik času v měřeném období vozík čekal na pokyn k manipulaci, kolik času strávil vykládáním nebo nakládáním a nakonec lze ze simulace zjistit, kolik času strávil samotným transportem. Tuto statistiku lze získat pro všechny druhy vozíků, které se v simulaci vyskytují. Je také možné monitorovat úroveň zásob na centrálních skladech a podobně.

Jak už bylo zmíněno výše, podstatné pro výstup linky je především to, aby hlavní větev linky měla vždy dostatek materiálu a její výroba se nezastavovala z důvodu čekání na materiál a mohlo se tak vyrábět v požadovaném taktu. Z toho plyne, že musí být na centrálním skladu vždy dostatek materiálu z předmontážních pracovišť.

8.4.1 Vstupní data

Prvním krokem pro vytvoření simulace bylo vytvořit si vstupní data pro jednotlivé varianty výroby, které mají být testovány. Vzhledem k tomu, že simulace funguje na bázi přidělených časů pro jednotlivá pracoviště, bylo nutné přidělit časy jen těm pracovištím, kde operátor končil svoji pracovní sekvenci, aby byl takt výroby reálný, přesně podle činností pracovníků. Měl by přesně odpovídat vybalancování v tabulkách č. 3 a č. 4 a v příloze č. 2.

Proto byl zpracován pro každou variantu vstup pro simulaci. Na obrázku č. 17 je možné vidět vstupní data pro variantu BASIS, a to ve všech variantách výroby včetně experimentu.

BASIS po automatizaci		BASIS před automatizací		BASIS před automatizací exp.	
Pracoviště	ProcTime	Pracoviště	ProcTime	Pracoviště	ProcTime
E 220	0	E 220	61,9	E 220	0
E 020	62,1	E 020	0	E 020	83,3
E 030	0	E 030	61,7	E 030	0
E 040	0	E 040	0	E 040	85,6
E 050	65,9	E 050	63,9	E 050	0
R 050	0	R 050	0	R 050	0
E 060	64,6	E 060	61,6	E 060	85,2
E 080	0	E 080	0	E 080	0
E 140	0	E 140	62	E 140	81
E 150	65,5	E 150	63,3	E 150	0
E 160	0	E 160	0	E 160	0
E 170	0	E 170	0	E 170	76,7
E 180	65,7	E 180	65,8	E 180	0
E 190	0	E 190	0	E 190	0
E 230	65,4	E 230	46,5	E 230	74,9
E 240	65,1	E 240	65,1	E 240	65,1
Předmontáž		Předmontáž		Předmontáž	
R 020	0	R 020	47,25	R 020	0
R 030	0	R 030	62,35	R 030	77,6
R 040	53,2	R 040	0	R 040	0
P 010	0	P 010	45,9	P 010	77,9
E 130	0	E 130	0	E 130	0
L 010	56,3	L 010	63,3	L 010	63,3
E 010	28,4	E 010	21	E 010	21
LW 10	0	LW 10	0	LW 10	0
LW 20	61,8	LW 20	62,4	LW 20	62,4

Obr. 17 – Vstupní data varianty BASIS pro simulaci (vlastní zpracování)

Stejným způsobem byla zpracována vstupní data pro variantu HIGH.

HIGH po automatizaci		HIGH před automatizací		HIGH před automatizací exp.	
Pracoviště	ProcTime	Pracoviště	ProcTime	Pracoviště	ProcTime
E 220	0	E 220	61,9	E 220	0
E 020	66	E 020	63,4	E 020	95,3
E 030	0	E 030	0	E 030	0
E 040	61,9	E 040	64,4	E 040	94,4
E 050	0	E 050	63,9	E 050	91,9
E 070	63,2	E 070	0	E 070	0
E 080	0	E 080	64	E 080	0
R 050	0	R 050	0	R 050	0
E 090	65,5	E 090	62,4	E 090	93,4
E 100	0	E 100	0	E 100	0
E 110	65,3	E 110	66	E 110	0
E 140	0	E 140	54	E 140	95
E 150	64,3	E 150	54,3	E 150	94,3
E 160	0	E 160	0	E 160	0
E 170	0	E 170	0	E 170	0
E 180	65,7	E 180	63,8	E 180	0
E 190	0	E 190	0	E 190	0
E 230	65,5	E 230	52,3	E 230	86,1
E 240	65,1	E 240	65,1	E 240	85,1
Předmontáž		Předmontáž		Předmontáž	
M 010	0	M 010	0	M 010	0
M 020	61,9	M 020	63	M 020	0
R 010	0	R 010	0	R 010	90,2
R 020	0	R 020	0	R 020	0
R 030	61,2	R 030	61,2	R 030	0
P 010	0	P 010	59,8	P 010	93,8
E 130	0	E 130	62,8	E 130	72,8
L 010	57,7	L 010	50,5	L 010	40,5
E 010	65,5	E 010	47,2	E 010	47,2
LW 010	0	LW 010	0	LW 010	0
LW 020	61,8	LW 020	50,5	LW 020	50,5

Obr. 18 – Vstupní data varianty HIGH pro simulaci (vlastní zpracování)

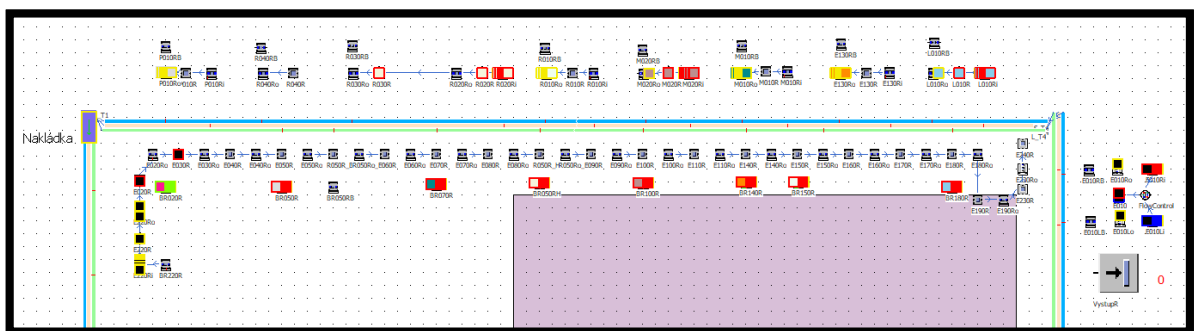
Tyto časy byly vloženy do simulace jako procesní časy, aby byla dodržena logika balancování linky.

Simulace má samozřejmě kromě vstupních časů i další vstupy. Patří mezi ně například kapacity všech manipulačních prostředků, úroveň bezpečnostních zásob, při kterých se do systému logistiky vytvoří požadavek pro doplnění materiálu, a podobně. Všechny vstupy jsou variabilní a lze je měnit dle aktuální situace ve firmě. Rovněž na simulaci lze provádět při změně vstupních dat různé experimenty. Layout a celá výrobní hala v simulačním prostředí je k dispozici v příloze č. 3. Je na ní vidět rozvržení výrobních pracovišť právě i levé strany linky. Před každým pracovištěm je vstupní buffer. Na layoutu jsou i prvky, které jsou nezbytné pro chod simulace a fyzicky se na pracovištích nevyskytují. Pro vysvětlení

bude v práci vždy situace popsána na jedné straně výroby, protože druhá strana v simulaci funguje naprosto totožným způsobem. Celá simulace je dostupná na CD přiloženém k této diplomové práci.

8.4.2 Princip fungování simulace podle plánu montáže

Pro ukázkou fungování simulace byla zvolena pravá strana montáže (pravé světlo). V první fázi spuštění simulace se vygenerují na všechny zásobníky pracovišť části „rozpracované“ výroby. To z důvodu, aby v simulaci nebyl zaznamenán náběh simulace, ale aby byla simulace co nejpřesnějším obrazem reality.



Obr. 19 – Ukázka simulace 1 (vlastní zpracování)

Na obrázku č. 19 je možné vidět část výroby, kde se montují pravé světlomety. Chronologicky simulace kopíruje plán montáže. To znamená, že v prvním bodě se naloží vstupní materiál do kontejnerů, které vozí elektrické autíčko. V simulaci ho znázorňuje fialový obdélník, který se pohybuje po cestách a na obrázku č. 19 jej lze vidět v levém horním rohu. Toto auto zásobuje neustále všechny předmontážní skupiny. Tyto skupiny lze vidět v horní části obrázku č. 19. Znamená to tedy, že pro zásobování předmontážních skupin je použit tlakový systém výroby. Pracoviště na to jsou uzpůsobena. Vyrobených komponent z předmontáže musí být totiž vždy dostatek. V případě potřeby se pak vyváží do firemních podniků v zahraničí. V tomto bodě nastupuje tahový systém. Níže v layoutu, který je dostupný v příloze č. 3, je na pravé straně sklad všech komponent z předmontáže. Vždy, když se některé předmontážní pracoviště naplní obalovou jednotkou, do systému se zapíše, že je třeba odvézt smontované komponenty z konkrétního pracoviště. Jakmile zahlásí dostatečný počet pracovišť, že potřebuje odvoz (aby jelo auto maximálně vytíženo), vyjede autíčko a naloží všechna pracoviště, která byla zahlášena, a odveze je do centrálního skladu. Poté čeká na další zakázku. V hlavní montážní větvi mají pracoviště svoje zásobníky s komponenty z předmontáže. Pokud tato zásoba klesne pod určitou úroveň, tak třetí autíčko-

ko naloží v centrálním skladu díly a převezve je do hlavní montážní větve. Funguje zde stejný montážní princip jako u svozu z předmontáže. Rozdíl je pouze v tom, že se materiál neodvází, ale doplňuje. V hlavní větvi probíhá montáž finálního výrobku. Vždy, když je dokončen finální výrobek, putuje do drainu. Drain představuje fiktivní místo, kde se započítávají finální výrobky. V reálu jsou výrobky baleny a vyváženy k zákazníkům.

8.4.3 Výpočet ročního požadavku

Vzhledem k tomu, že zákaznický takt činí 66s, je možné získat z této hodnoty roční požadavek.

Tabulka 5 – Roční požadavek (vlastní zpracování)

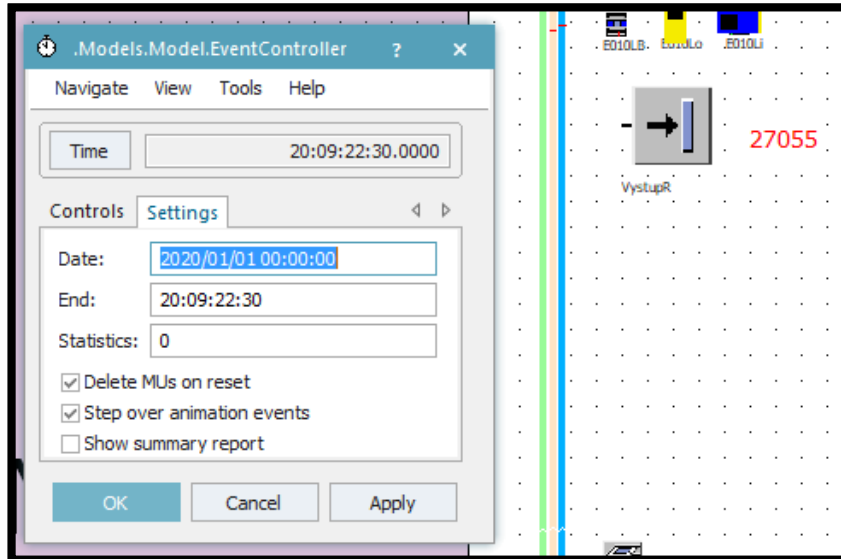
Roční požadavek	
Počet pracovních dnů včetně svátků / rok:	261
Počet odpracovaných hodin / den:	22,5
Počet odpracovaných hodin / rok:	5872,5
Zákaznický takt (s)	66
Požadavek / rok (ks)	320 318
Požadavek / rok BASIS (ks)	160159
Požadavek / rok HIGH (ks)	160159

V podniku se pracuje 261 dní v roce (včetně svátků) a funguje třisměnný provoz. Při každé směně je odpracováno 7,5 hodiny (osmihodinová směna s půlhodinovou pauzou). Ostatní časové srážky jsou již zahrnuty v MTM analýze. Každý den je tedy odpracováno 22,5 hodin. Když se podělí roční pracovní fond (5872,5 hodin) zákaznickým taktem, vyjde roční požadavek zákazníka. Vzhledem k tomu, že se na lince vyrábí 2 ks výrobku, tak je tento požadavek podělen dvěma. Oba výrobky jsou požadovány ve stejném množství.

8.4.4 Výstupy simulace varianty BASIS před automatizací

Prvním a asi nejpodstatnějším výstupem ze simulace je, zda linka dokáže vyprodukovat při této variantě dostatečný počet výrobků. Vzhledem k informacím z tabulky č. 5 je možné určit měsíční požadavek kusů. Ten se rovná 26 692 ks (320 318 / 12). Měsíční pracovní fond je tedy 489,375 hodin (5872,5 / 12), což znamená 20 dní, 9 hodin, 22 minut a 30 vteřin. Simulace tedy byla spuštěna na 1 měsíc pro ověření funkčnosti návrhu. Takt výrobní linky je 65,1 vteřin. To dokazuje, že je výstup v kusech z linky větší než požadavek zákazníka. Je tedy možné udělat drobné odstávky linky.

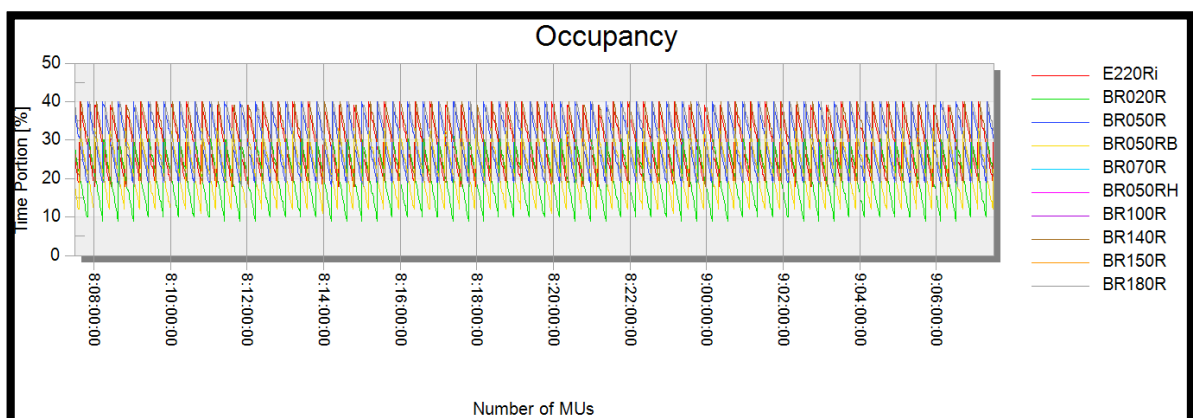
Pro ukázkou byla opět vybrána pravá strana linky, kde je patrné, že výstup v kusech za období výroby jednoho měsíce činí 27055 ks (viz obrázek č. 20). Znamená to tedy, že linka zvládne vyrábět v požadovaném taktu.



Obr. 20 – Ukázka simulace 2 (vlastní zpracování)

Výstup z linky by měl být ovšem o něco málo větší vzhledem k tomu, že takt je 65,1 vteřin. Faktem ale je, že vždy simulace zobrazí drobnou ztrátu v kusech. To je způsobeno náběhem simulace (první kus musí projít linkou).

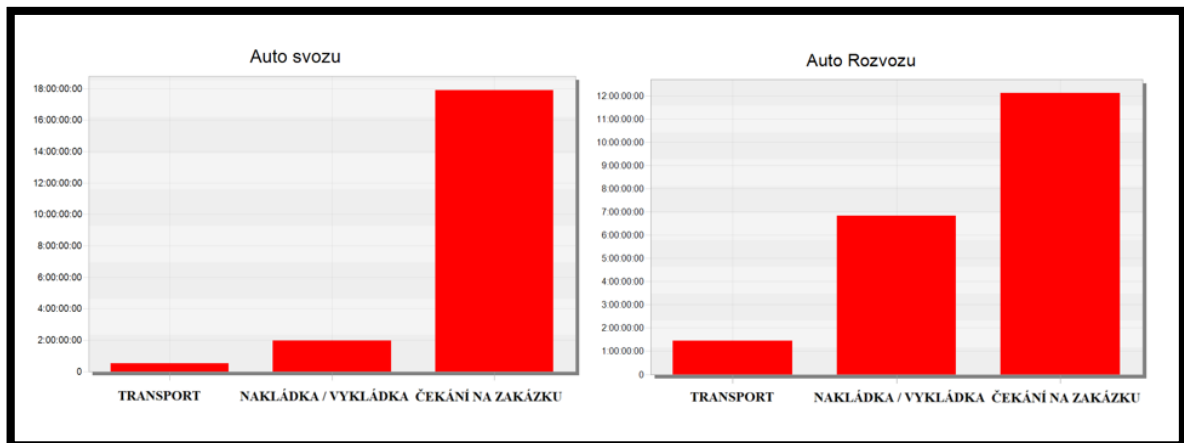
Na grafu č. 3 je možné vidět úroveň zásoby na bufferech v hlavní montážní větvi. Díky dostatku materiálu a faktu, že se linka nemusí zastavovat, je možné tvrdit, že linka zvládne vyrábět v požadovaném taktu.



Graf 3 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi (vlastní zpracování)

Z výše uvedeného grafu je patrné, že linka zvládá vyrábět bez zastavení (hladina zásoby, při které zahlásí pracoviště požadavek o doplnění materiálu, je 19 ks). Z grafu rovněž vyplývá, že úroveň zásoby neklesne nikdy pod úroveň 10 ks, což je výhodou v případě neočekávaného výpadku zásobování či jakéhokoliv logistického problému.

Posledním výstupem je vytíženost logistických vozíků.



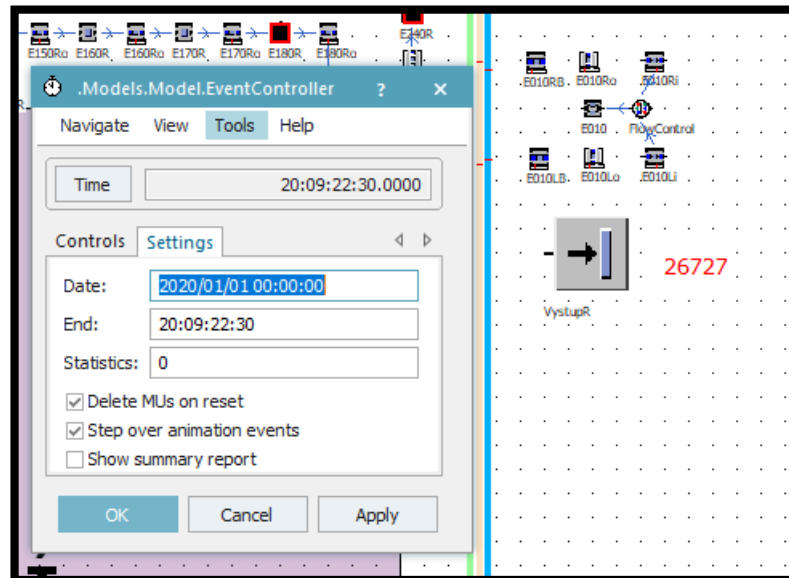
Obr. 21 – Statistika auta svozu a rozvozu v čase (vlastní zpracování)

Z obrázku č. 21 je patrné, že drtivou většinu času čeká auto svozu na zakázku. V případě auta rozvozu je také nejdominantnější čekání na zakázku. Není to už ale tak velký rozdíl oproti nakládce / vykládce, tak jako v případě auta svozu. Nejméně času manipulační prostředek stráví samotným transportem. Z grafu je patrné, že po dobře zvládnuté synchronizaci a vypořádání intervalů, kdy je třeba doplňovat materiál do hlavní větve linky, by se manipulační prostředky mohly věnovat zásobování jiných míst ve výrobě. U obou autíček je nastavena kapacita, která je dostatečná pro dovoz / odvoz pro tři pracoviště zaráz. Graf vytíženosti auta, které rozváží vstupní materiál na předmontážní pracoviště, zde není uveden, protože systém funguje tlakově. Tento graf tedy zobrazuje pouze transport a vykládku a je dostupný na CD v příložené simulaci.

8.4.5 Výstupy simulace varianty BASIS po automatizaci

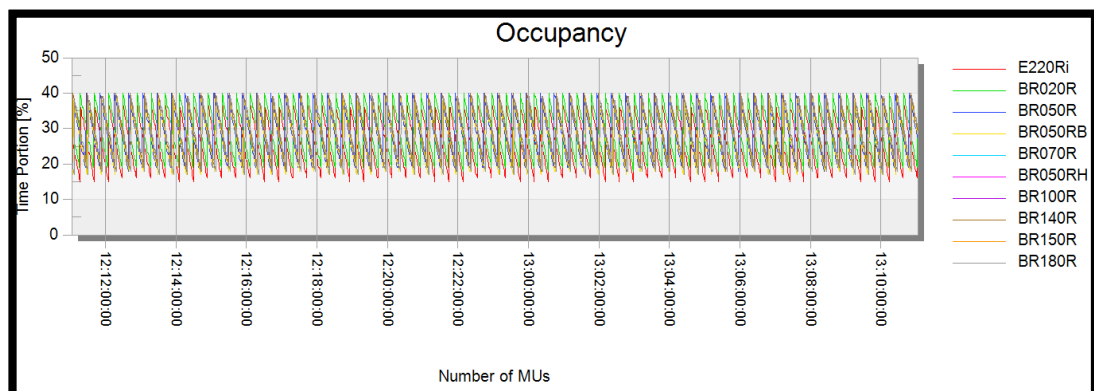
Stejně jako u varianty před automatizací je nejdůležitějším výstupem počet vyrobených kusů. Na obrázku č. 22 je možné vidět výstup při variantě BASIS po automatizaci. Takt při této variantě činí 65,9 vteřin. Rovněž je tedy mírně pod zákaznickým taktém. Celkový výstup při této variantě montáže je 26 727 ks. Simulace montáže byla opět spuštěna na dobu jednoho měsíce. Hodnotu reálného odpracovaného času lze vidět na obrázku č. 22 v kolonce označené jako „End“. Je tedy patrné, že zákaznický požadavek bude splněn při

použití této varianty montáže. Opět by měl být výstup o několik kusů větší vzhledem k taktu, který aktuálně tato linka má. Znovu je ale zaznamenána ztráta z důvodu náběhu simulace. Ztráta kusů vznikne v prvních okamžicích spuštění simulace a neukazuje reálnou situaci. Dá se tedy předpokládat, že reálný výstup by přesně odpovídal aktuálnímu taktu.



Obr. 22 – Ukázka simulace 3 (vlastní zpracování)

Naprostě stěžejní pro správný výstup je ovšem to, aby byl na bufferech v hlavní větvi linky dostatek materiálu a linka se nemusela z důvodů čekání na materiál zastavovat. Úroveň zásoby, při které pracoviště zahlásí požadavek pro doplnění vstupního materiálu z centrálního skladu, je opět 19 ks stejně jako u předchozí varianty. Z grafu č. 4 je patrné, že zásoba materiálu nepadá níž jak pod 15 ks, což je vhodné z důvodu možnosti neočekávaného výpadku zásobování.

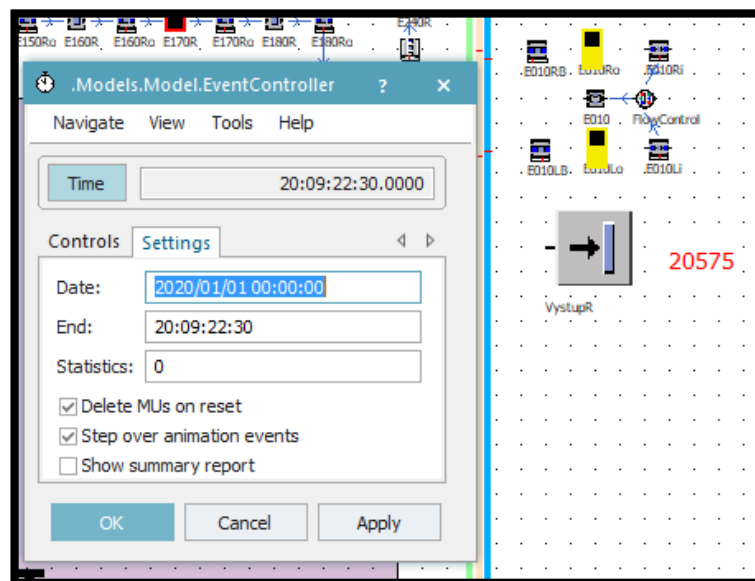


Graf 4 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 2 (vlastní zpracování)

Statistika manipulačních prostředků je velmi podobná předchozí situaci. Pracoviště jsou sice automatizovaná, ale výrobní takt je skoro stejný. Je tedy přirozené, že vytíženost autíčků je na podobné úrovni. Vzhledem k této podobnosti graf již není uveden. Je ale dostupný v příložené simulaci. I v této situaci by tedy bylo možné manipulační prostředky využít pro rozvoz i na jiné linky, protože čekání na zakázku značně převyšuje ostatní úkony.

8.4.6 Výstup simulace varianty BASIS experiment

Výstup této simulace má demonstrovat rozdíl mezi výstupem v kusech z linky za předpokladu, že by se použilo stejné množství operátorů jako v situaci po automatizaci, ovšem s manuálními pracovišti. To znamená, že by na lince pracovalo 12 operátorů, ale pracoviště by zůstala manuální. Simulace byla opět spuštěna na dobu jednoho měsíce. S menším počtem pracovníků, ale větší pracností se musí zákonitě zvednout i výrobní takt. Ten u této varianty činí 85,6 vteřin. Z obrázku č. 23 plyne, že při použití této varianty by nebyl splněn zákaznický požadavek.

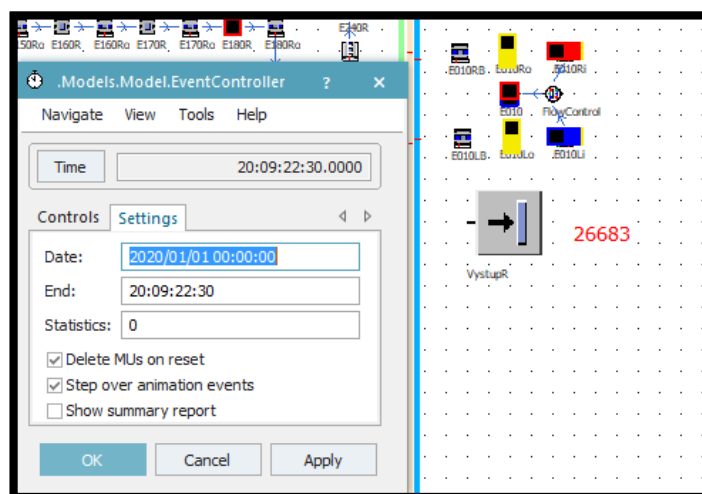


Obr. 23 – Ukázka simulace 4 (vlastní zpracování)

Z obrázku je patrné, že výstup v kusech je nedostačující. Zákaznický měsíční požadavek činí 26 692 ks. Je tedy jasné, že tuto variantu v reálu nebude možné použít. V úvahu tedy přichází buď verze s colaborativními roboty, nebo verze pouze s manuálními pracovišti. Ostatní statistiky z tohoto experimentu jsou dostupné v příložené simulaci. Při stejném množství operátorů při automatizované variantě je ovšem kusový požadavek splněn.

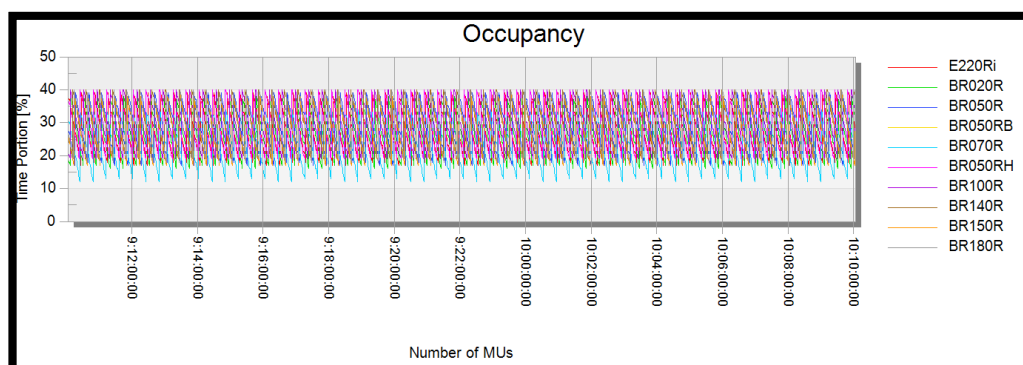
8.4.7 Výstup simulace varianty HIGH před automatizací

Pro variantu HIGH platí naprosto stejný zákaznický takt jako pro variantu BASIS. Při této variantě výroby je takt linky shodný se zákaznickým taktem. To znamená, že výstup by měl odpovídat požadavku. Na obrázku č. 24 je vidět, že výstup je o několik málo jednotek menší. Tento rozdíl je způsoben náběhem simulace. Znamená to tedy, že realita by měla odpovídat požadavku. Pokud by došlo ke krátkodobému výpadku linky, je možné použít ušetřený čas, který vznikne nižším taktem linky u varianty BASIS, pro výrobu potřebných kusů.



Obr. 24 – Ukázka simulace 5 (vlastní zpracování)

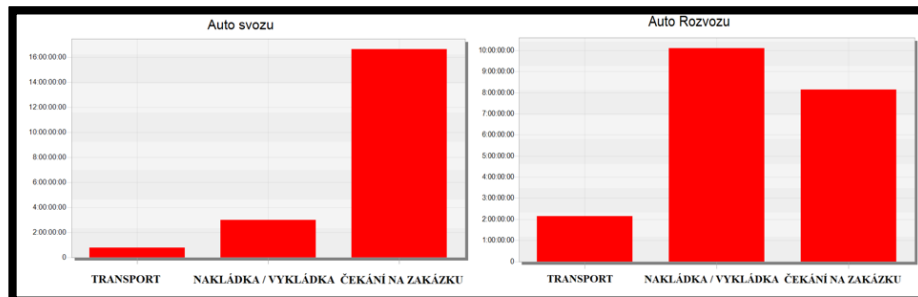
Graf č. 5 demonstruje, že v bufferech v hlavní montážní větvi je vždy dostatek komponentů z předmontáže. Bezpečnostní zásoba je rovněž 19 ks, jako tomu bylo u předchozích variant, a to z toho důvodu, že se vyrábí ve stále stejném výrobním taktu.



Graf 5 – Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 3 (vlastní zpracování)

Z výše uvedeného grafu plyne, že zásoba nikdy neklesne pod úroveň deseti kusů, což je záměr pro případ neočekávaného výpadku zásobování stejně jako u předchozích variant.

Na obrázku č. 25 je zobrazena vytíženost manipulačních prostředků při této variantě. Liší se od případů varianty BASIS, a to především z toho důvodu, že je do hlavní montážní větve zaváženo větší množství komponent. Výrobek se totiž skládá z více součástí.

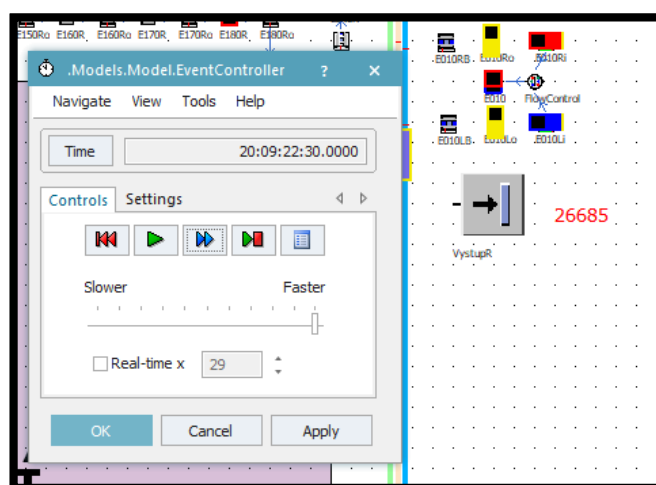


Obr. 25 - Statistika auta svozu a rozvozu v čase 2 (vlastní zpracování)

Jak plyne z výše uvedeného grafu, auto svozu nejvíce času stráví čekáním na zakázku. Proto by bylo vhodné, aby zásobilo více linek zároveň. V případě auta rozvozu už tomu tak není. Jelikož je rozváženo více komponent, tak je vidět, že nakládáním a vykládáním auto stráví nejvíce času. Ovšem stále má dostatek volné kapacity, která by šla využít v podobě zásobování jiných linek.

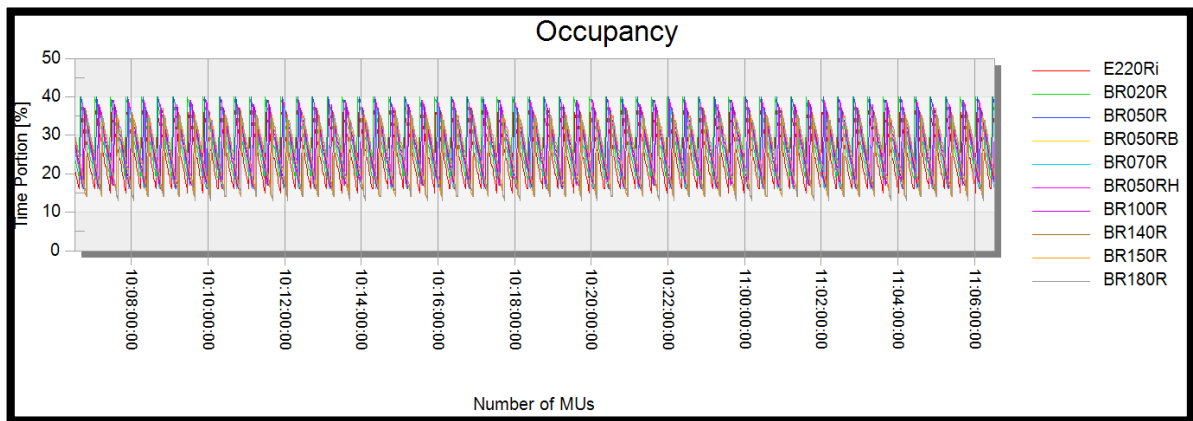
8.4.8 Výstup simulace varianty HIGH po automatizaci

Takt při této variantě výroby má linka naprosto stejný jako při předchozí neautomatizované variantě. To znamená, že je rovněž shodný s tím zákaznickým. Hodnota taktu je tedy 66 vteřin. Na obrázku č. 26 je vidět výstup v kusech po jednom měsíci výroby. Opět je zde vidět drobný schodek, který je způsoben náběhem simulace. Realita by měla odpovídat požadovanému výstupu.



Obr. 26 – Ukázka simulace 6 (vlastní zpracování)

Důkaz o tom, že v hlavní montážní větvi je vždy dostatek materiálu, zobrazuje graf č. 7. Pracoviště rovněž hlásí požadavek pro doplnění materiálu v momentě, kdy úroveň zásoby klesne na 19 ks. Díky tomu nikdy neklesne zásoba pod 10 ks stejně jako v předchozích případech.



Graf 6 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 4 (vlastní zpracování)

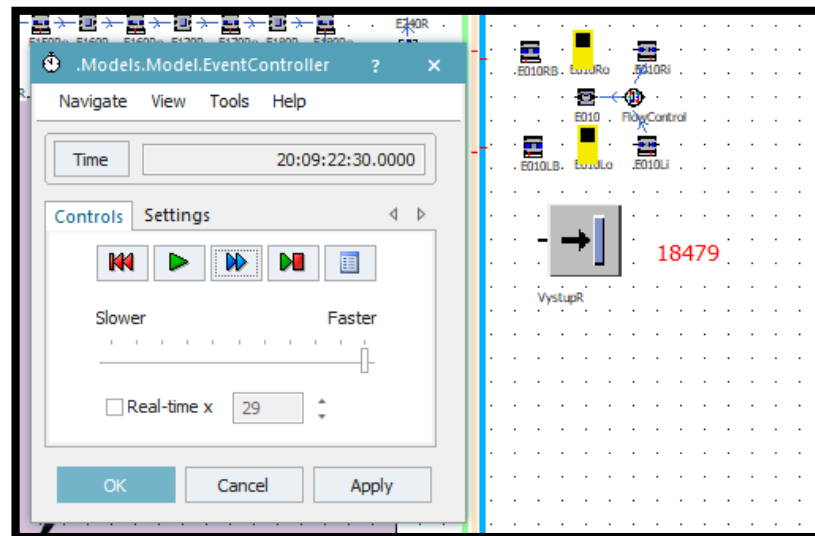
Vytíženost manipulačních prostředků je prakticky stejná, jako je tomu u předchozí varianty HIGH před automatizací, proto zde není uveden graf. Je ovšem dostupný z přiložené simulace. Rovněž pro manipulační prostředky za použití této varianty platí stejné doporučení jako v předchozí variantě.

Pro obě varianty HIGH platí, že na základě výsledků je možné tvrdit, že zvládnou vyrábět v zákaznickém tempu (při opomenutí ztráty při náběhu simulace). V případě drobných potíží by se však dalo využít volné kapacity v případě varianty BASIS pro dohnání neočekávané ztráty.

8.4.9 Výstup simulace varianty HIGH experiment

Tento experiment, podobně jak tomu bylo u varianty BASIS, slouží k porovnání výstupu linky v kusech za předpokladu, že se použije stejné množství operátorů jako u automatizované varianty výroby, ale na manuálních pracovištích. Konkrétně se jedná o použití čtrnácti operátorů. Při použití této kombinace se výrobní takt vyšplhal až na 95,3 vteřiny, což je podstatný rozdíl mezi reálně uvažovanými variantami.

Jak lze vidět na obrázku č. 27, výstup po měsíci výroby činí 18 479 ks. To je opravdu velká ztráta na zákaznický požadavek. Podstatné ale je, že za použití automatizovaných pracovišť je možné s tímto počtem pracovníků vyrábět takové množství, které odpovídá přání zákazníka.



Obr. 27 – Ukázka simulace 7 (vlastní zpracování)

Ostatní statistiky z tohoto experimentu jsou dostupné z přiložené simulace. O tomto experimentu se v reálné situaci nebude uvažovat. Vyplývají z něj však zajímavé informace o výstupu linky a poukazuje na výrazné zvýšení výkonnosti při použití automatizované varianty.

8.4.10 Shrnutí počítačové simulace

Z výše uvedených variant, které jsou v reálu uvažované (kromě experimentů), všechny splňují požadavek vyrábět v zákaznickém taktu. Varianty, u kterých se neuvažuje o automatizaci, v tomto taktu zvládnou vyrábět pouze za předpokladu většího počtu operátorů. Jak ukazují experimenty, stejný počet operátorů jako u automatizované výroby při manuálních variantách by vedl k nesplnění zákaznického požadavku.

Pro ukázkou je v příloze č. 4 ukázán vývoj úrovně materiálu na centrálním skladu, kam se zaváží z předmontážních skupin smontované komponenty. Požadavkem je, aby ho bylo vždy dostatek. V případě nadbytku bude vyvážen do zahraničních podniků. Veškeré ostatní výstupy jsou zjištělné z přiložené simulace.

Vzhledem k výsledkům simulace a prokazatelnému zvýšení výkonnosti díky automatizaci bylo vyhodnoceno, že automatizovaná varianta může úspěšně nahradit původně plánovanou manuální verzi. Zajistí se tak, že výroba bude moci probíhat s menším množstvím operátorů. Znamená to rovněž menší množství dekorativních vad, které jsou zpravidla způsobeny lidským faktorem, a eliminace určité části lidských selhání.

9 SHRUTÍ ANALYTICKÉ ČÁSTI

V první fázi analytické části byl popsán princip montáže při obou variantách výrobku. Následně byl pro obě varianty zpracován tok montáže, aby bylo zřejmé, na jaké pracoviště vstupují konkrétní komponenty. Z tohoto montážního toku plyne, že varianta HIGH se skládá z více dílů oproti variantě BASIS.

Dalším bodem analytické části bylo vytvoření microlayoutů. Tím se rozumí detailní návrh rozvržení materiálu na jednotlivých pracovištích. Při tvoření těchto návrhů byl kladen důraz na ergonomičnost a co největší úsporu času při montáži. Bez zpracování těchto microlayoutů by nebylo možné vytvořit analýzu MTM.

MTM analýza byla zpracována pro všechna pracoviště, a to jak pro variantu BASIS, tak pro variantu HIGH. Bylo nutné zpracovat verzi před automatizací i po automatizaci, aby bylo možné provést srovnání v rámci simulace. Na příkladu z pracoviště E040 BASIS byla předvedena metodika zpracování analýzy. Výstupem této analýzy byl finální pracovní čas pro každé pracoviště.

Na základě získaných finálních časů byla vybalancována linka pro všechny čtyři verze výroby dle zákaznického taktu. Z vybalancování vyplynulo, že při automatizované variantě se ušetří v případě výrobku BASIS 18 operátorů a v případě výrobku HIGH 30 operátorů. Na základě výsledných časů pracnosti pro jednotlivé operátory byl vypracován vstup pro počítačovou simulaci, která srovnává jednotlivé varianty výroby a ověřuje jejich fungování v praxi.

Pomocí počítačové simulace byly prověřeny veškeré varianty výroby a bylo ověřeno, že zákaznický požadavek bude splněn. Navíc byly otestovány i experimenty, ze kterých vyplynulo, že automatizace zajistí zvýšení výkonu linky a ušetří velké množství operátorů.

Kvůli úspoře operátorů a částečné eliminaci chyb způsobených lidským faktorem bylo zhodnoceno, že automatizovaná varianta může nahradit původně zamýšlenou verzi čistě s manuálními pracovišti.

Návrh automatizované verze bude následně v projektové části zhodnocen po finanční stránce návratnosti. Bude určeno, zda se vyplatí počáteční investice do částečně automatizovaného provozu.

10 PROJEKTOVÁ ČÁST

Projektový cíl	Racionalizace návrhu výrobní linky
Projektový tým	Michal Žváček – autor DP Vedoucí DP Projektový manažer Zástupce PI oddělení Zástupce dodavatelské firmy Elektro specialista Programátor robotů Zástupce seřizovačů Zástupce oddělení kvality Operátoři
Hlavní cíl projektu	Výstavba částečně automatizované varianty linky
Hlavní cíl – SMART	Specifický – Výstavba linky s osmi automatizovanými pracovišti pro každou stranu Měřitelný – Linka produkuje OK kusy ve stanoveném termínu Akceptovatelný – Díky včasnému dodržení dílčích úkolů všech členů projektového týmu bude cíle úspěšně dosaženo Reálný – Zkušenosti firmy na základě předešlých úspěšně dokončených projektů Termínovaný – září 2019 – srpen 2020
Dílčí cíle projektu	Sjednání výstavby linky s dodavateli Převezení funkční linky z dodavatelské firmy do místa výstavby Zkompletování linky Zajištění funkčnosti linky Vytvoření standardů pracovních postupů dle MTM analýzy Zaškolení operátorů Výroba prvních OK kusů
Přínosy projektu	Možná realizace výroby smluvených výrobků se zákazníkem
Zadavatel projektu	Management společnosti

Ve výše uvedené tabulce lze vidět základní charakteristiky projektu. Hlavním projektovým cílem je racionalizace návrhu výrobní linky. Níže jsou uvedeni členové projektového týmu, kteří se podílí na úspěšném dokončení. Dále je definován hlavní cíl projektu a jeho rozbor z hlediska metody SMART. Následně jsou definovány dílčí projektové cíle a přínosy projektu.

10.1 Logický rámec projektu

Hierarchie cílů		Objektivně měřitelné ukazatele	Prostředky ověření	Rizika a předpoklady
Obecný cíl	Výstavba co nejúspornější a neefektivnější varianty výrobní linky (dlouhodobě)	Snižování nákladů na 1 KS o 1 €	Pomocí výpočtu návratnosti investice	Prodražení počáteční investice
Účel	Racionalizace návrhu výrobní linky na základě simulačního modelu a výstavba linky	Počet operátorů	Ověření funkčnosti plánu vybalancování	vybalancování by mělo odpovídat realitě
Výstupy	1.1. Specifikace požadavků linky pro dodavatele 1.2. Převezení celé linky do podniku 1.3. Zprovoznění linky 1.4. Vytvoření standardů montáže 1.5. Zaškolení operátorů 1.6. Výroba prvních OK kusů	1.1. Dokumenty specifikace 1.2. Prejímkové dokumenty 1.3. Prejímkový dokument pro celou funkční linku od dodavatele 1.4. Vytvořené standardy 1.5. Školení operátorů 1.6. Finální report	1.1. Porovnání specifikace dodavatelem 1.2. Fyzická kontrola strojů 1.3. Test funkčnosti 1.4. Vytvořené dokumenty ve firmovní databázi 1.5. Praktické prokázání znalosti montáže operátorů 1.6. Dokument reportu o náběhových kusech	Chyba ve specifikaci linky Dodavatel vás nedodá výrobní linku Operátoři nebudou zvládat normy pracnosti
Klíčové aktivity	1.1.1. Definování požadavků na výrobní linku 1.1.2. Vytvoření specifikace pro dodavatelskou firmu 1.1.3. Příprava na stavbu linky 1.2.1. Komunikace s dodavatelskou firmou 1.2.2. Uskutečnění přestěhování 1.3.1. Zabudování infrastruktury (elektrina, kabeláž, atd...) 1.3.2. Zkompletování všech strojů 1.3.3. Rozmístění strojů podle layoutu 1.3.4. Zprovoznění všech strojů 1.3.5. Odladění strojů, elektro zařízení a seřízení stroubováků 1.3.6. Doprogramování cobotů 1.3.7. Otestování funkčnosti 1.4.1. Vytvoření dokumentů standardů 1.5.1. Provést školení operátorů 1.5.2. Ověřit schopnosti operátorů 1.6.1. Výroba prvních OK kusů	Potřebné zdroje: Projektový tým Podnikový informační systém Interní dokumenty a data firmy MTM analýzy předchozích projektů DWG výkresy layoutů Manipulační technika	Časový rámec aktivity: 1.1. 37 KT 2019 - 52 KT 2019 1.2. 1 KT 2020 - 9 KT 2020 1.3. 10 KT 2020 - 22 KT 2020 1.4. 23 KT 2020 - 26 KT 2020 1.5. 27 KT 2020 - 31 KT 2020 1.6. 32 KT 2020 - 35 KT 2020	Dodavatelská firma nedodrží specifikaci Nedodržení časového rozvrhu Technické problémy Nedostatečné zaškolení operátorů

Obr. 28 – Logický rámec projektu (vlastní zpracování)

10.2 Riziková analýza

Tabulka 6 – RIPRAN riziková analýza (Vlastní zpracování)

Pořadí	Hrozba	Následky	Pravděpodobnost	Scénář	Pravd. Scénáře	Výsledná pravd.	Hodnota rizika	Opatření	Hod. prav.	Dopad na projekt
1	Prodražení počáteční investice	Větší výdaje	40%	Špatný průzkum trhu	10%	4%	MHR	Důkladná konzultace s dodavatelem	MP	SD
				Neočekávané dodatečné náklady	60%	24%	SHR		SP	SD
2	Dodání nesprávně fungujících strojů	Prodloužení projektu, nutné přepracování	10%	Chybná specifikace	20%	2%	SHR	Začlenění dodavatelské firmy do procesu	MP	VD
				Neporozumění specifikacím	60%	6%	SHR		MP	VD
3	Dodavatel bude mít zpoždění	Prodloužení projektu	60%	Špatné rozvržení pracovní náplně	40%	24%	VHR	Pravidelné audity v dodavatelské firmě	SP	VD
				Dodavatel je zahlcen	60%	36%	VHR		SP	VD
4	Technické problémy při stavbě linky	Prodražení při dodatečném seřizování	20%	Vzniknou problémy při zprovoznění linky	30%	6%	MHR	Výběr kvalitního dodavatele	MP	MD
5	Nedostatečné zaškolení operátorů	Zpoždění výroby	20%	Operátoři práci nevládají	50%	10%	MHR	Důkladná zpětná vazba od operátorů	MP	SD
				Špatná metodika	50%	10%	MHR		MP	SD
6	Nezvládnutí norem pracnosti	Nesplnění zákaznickova požadavku	45%	Špatná definice norem	40%	18%	SHR	Testování norem na prototypové lince	SP	SD
				Chyba operátorů	35%	15,75%	SHR		SP	SD
7	Nesplnění časového harmonogramu	Pokuta od zákazníka	40%	Některý z plánu se zpozdí	40%	16%	SHR	Schůzky pro stanovení denních cílů	SP	SD
8	Nesplnění cíle projektu	Neschopnost dodržet smlouvu	5%	Vznik fatálního problému, který brání dokončit projekt	20%	1%	SHR	Pravidelná kontrola plánu a schůzky s dodavatelem	MP	VD

V tabulce č. 6 je zobrazena riziková analýza projektu. V levé části je vždy stručně popsána hrozba, která by mohla eventuálně nastat. Vedle hrozby je popsán následek, který by tato hrozba mohla způsobit. V další kolonce „Pravděpodobnost“ je vždy zhodnocena procentuální míra pravděpodobnosti, s jakou by tato situace mohla nastat. V kolonce „Scénář“ je vysvětleno, jak by k této situaci mohlo případně dojít. Vedle každého scénáře je také uvedena míra pravděpodobnosti, s jakou by mohl eventuálně nastat.

Po uvedení těchto vstupních dat byla vypočítána míra výsledné pravděpodobnosti pro každý scénář. Této hodnoty bylo dosaženo součinem pravděpodobnosti dané situace a konkrétního scénáře. Například v prvním řádku tabulky bylo výsledné pravděpodobnosti dosaženo následovně: $0,4 * 0,1 = 0,04 = 4 \%$.

V kolonce „Hodnota pravděpodobnosti“ (druhá zprava) je možné vidět vždy jednu ze tří možností. První z nich je MP (malá pravděpodobnost). Toto označení má takový scénář, který má výslednou pravděpodobnost v intervalu $<0-15>$. Druhou možností je hodnota SP (střední pravděpodobnost). Tato značka je přidělena ke scénáři s intervalem pravděpodobnosti mezi $(15-60>$. Poslední možností, která se v tabulce nevyskytuje ani jednou, je značka VP (vysoká pravděpodobnost) Toto označení mají scénáře s pravděpodobností $(60-100>$.

Další kolonkou je „Dopad na projekt“. V této kolonce se mohou rovněž vyskytovat tři označení. Prvním z nich je MD. Vyjadřuje malý dopad na celý projekt. Znamená to, že bude potřeba provést nějaké drobné zásahy do projektu. Škoda takovýchto scénářů se může dostat až na 3 % hodnoty projektu. Dalším možným označením je SD. Má význam středního dopadu na projekt. Do této kategorie spadají taková rizika, která způsobí škodu na výnosu mezi 3-15 %. Přičemž je možné, že bude potřeba většího zásahu do projektu, popřípadě rozšíření projektového týmu o další odborníky. Poslední možnou alternativou je označení VD. To vyjadřuje velký dopad na celý projekt. Celkové škody se mohou vyšplhat nad 15 % z hodnoty projektu. Tyto scénáře mohou způsobit závažné ohrožení nejen dílčích projektových cílů, ale také ohrožení cíle primárního.

V kolonce „Hodnota rizika“ je vyhodnocena míra rizika konkrétních scénářů na celý projekt. V tabulce č. 7 je zobrazena logika přidělení těchto hodnot. Přičemž MHR znamená „Malá hodnota rizika“, SHR znamená „Střední hodnota rizika“ a VHR znamená „Velká hodnota rizika“.

Tabulka 7 – Hodnota rizika (vlastní zpracování)

	MP	SP	VP
MD	MHR	MHR	SHR
SD	MHR	SHR	VHR
VD	SHR	VHR	VHR

Poslední kolonkou je „Opatření“. V této části je vždy definováno opatření, které by mělo předejít možným scénářům a celým hrozbám. Za správného a včasného provedení opatření by k definovaným hrozbám ani nemělo dojít.

V případě první hrozby se jedná o prodražení počáteční investice. Je možné, že by mohlo dojít k nesprávnému průzkumu trhu a špatné komunikaci s dodavatelem. Tato investice by mohla obsahovat skryté náklady, které nemusí být na počátku patrné. Proto je důležitá pečlivá konzultace s dodavatelem a prodiskutování všech možných dodatečných nákladů.

Druhá hrozba se týká především dodavatelské firmy. Je možné, že člen PI oddělení udělá chybu ve specifikaci požadavků pro dodavatele výrobní linky. Popřípadě zástupce dodavatelské firmy může špatně pochopit zadání. Z toho důvodu by se měla dodavatelská firma více začlenit do celého procesu, aby jí nechyběly souvislosti a byla možná snazší spolupráce.

Třetí hrozba se opět týká dodavatele. V případě, že by dodavatelská firma nabrala zpoždění, které by mohlo způsobit prodloužení celého projektu, je třeba provádět pravidelné audity a kontroly práce dodavatelů, aby se mohla zavést včasná opatření nápravy.

Čtvrtá hrozba poukazuje na možnost výskytu technických problémů při zprovoznění linky. Problémy technického rázu mohou vyžadovat rozšíření týmu odborníků, kteří budou pracovat na zprovoznění linky. Samozřejmě tato situace může nastat. Riziko je ale možné redukovat tím, že se vybere kvalitní a ověřená dodavatelská firma.

Pátá hrozba představuje možnost, že se operátoři nezaškolí dostatečným způsobem. To může způsobit zpoždění výroby a nesplnění požadavku zákazníka včas. Operátoři by měli znát přesný montážní postup už po zaškolení. Proto je důležité získat od operátorů zpětnou vazbu, zda montážnímu procesu opravdu rozumí, a otestovat jejich schopnosti.

Šestá hrozba hovoří o nezvládnutí norem pracnosti. Znamená to rovněž, že by operátoři nezvládali vyrábět v požadovaném tempu. Chyba by mohla nastat jak na straně operátorů, tak na straně normovače. Proto je vhodné tyto normy nejprve otestovat na prototypové lince, než budou finálně schváleny.

V sedmé hrozbě je popsáno riziko nesplnění časového harmonogramu. Kvůli zpoždění projektu a včasnému nedodání produktů zákazníkovi může vzniknout penalizace za včasné nedodání dílů. Jako preventivní opatření pro eliminaci této hrozby mají fungovat denní schůzky. Na těchto schůzkách se vždy shrne, co se udělalo předchozí den. Následně se určí cíl na daný den. Druhý den ráno se opět zkontroluje, zda bylo dosaženo cíle. Pokud ne, musí dojít k nápravě a k dohnání zpoždění.

Poslední hrozba hovoří o nesplnění projektového cíle. To znamená, že se nepovede linku postavit. Pravděpodobnost této hrozby sice není vysoká, ale za to by byla naprosto fatální. Proto je nutné dodržovat striktně stanovený plán projektu. Kromě dodržování harmonogramu je nutné často komunikovat s dodavatelem a všemi zainteresovanými osobami, které jakýmkoliv způsobem mohou ovlivňovat realizaci projektu. Informovanost a včasné jednání je v tomto případě klíčem k úspěšnému dosažení projektového cíle.

Předpokladem je, že se realizují veškerá preventivní opatření, která jsou uvedena v RIPRAN analýze v tabulce č. 6. Po jejich realizaci se dá očekávat, že se u projektu míra rizikivosti sníží.

Dle časového harmonogramu uvedeného v tabulce č. 8 je patrné, že projekt začal v září roku 2019 a je naplánován do konce srpna roku 2020. Tabulka zobrazuje sekvence činností, jak mají jít za sebou.

10.3.1 Definování odpovědností

Autor DP:

- Provedení vstupních analýz (MTM, počítačová simulace) pro projekt
- Sepsání projektu

Vedoucí DP:

- Odborný dohled nad diplomovou prací

Projektový manažer

- Zodpovědnost za splnění projektového cíle
- Účast na každodenních poradách
- Dohled nad celým projektem

Zástupce PI oddělení:

- Vytvoření specifikací pro dodavatele
- Zajištění přípravných činností
- Provádění auditů u dodavatele
- Komunikace s dodavatelem
- Dohled nad zprovozněním linky
- Účast na každodenních poradách
- Vytvoření standardů výroby pro operátory
- Pravidelné reportování stavu projektu projektovému manažerovi

Zástupce dodavatelské firmy

- Komunikace se zákaznickou firmou
- Zajištění včasného dodání linky
- Zajištění smontování a zprovoznění linky
- Předání otestované funkční linky
- Účast na každodenních poradách
- Pravidelné reportování stavu projektu projektovému manažerovi

Elektro specialista

- Příprava veškeré kabeláže pro připojení linky
- Připojení všech zařízení
- Jednorázový report projektovému manažerovi

Programátor robotů

- Odladění všech robotů po softwarové stránce
- Jednorázový report projektovému manažerovi

Zástupce seřizovačů

- Odladění všech strojů a zajištění správného chodu linky
- Jednorázový report projektovému manažerovi

Zástupce oddělení kvality

- Finální testování OK kusů
- Účast na každodenních poradách
- Vytvoření standardů výroby pro operátory
- Školení operátorů
- Jednorázový report projektovému manažerovi

Operátoři

- Účast na školení
- Účast na schůzkách před začátkem a po konci směny

10.3.2 Vytvoření specifikace pro dodavatele

V první fázi projektu je třeba vytvořit specifikace požadavku pro dodavatelskou firmu. Je to nutné z toho důvodu, aby dodavatelská firma přesně věděla, jaké stroje má vyrábět. Specifikace musí být velmi detailní. Tyto činnosti proběhly v prvních čtyřech týdnech projektu. Vzhledem k tomu, že v této fázi již byla zpracovaná veškerá 3D data a byly k dispozici technické výkresy finálních výrobků, bylo možné tyto specifikace vytvořit. Mezi základní informace, které musí specifikace obsahovat, patří: popis projektu, definování zodpovědných osob a kontaktů, odkazy na interní dokumenty firmy, přesný popis finálního výrobku, podrobný kusovník, jasný popis funkčnosti jednotlivých pracovišť, přípravků, upínáků apod., detailní popis montáže a další informace, které dodavatelská firma bezprostředně

potřebuje k zhotovení požadovaných strojů. Tuto činnost má na starost zástupce oddělení PI, který má tuto linku na starost.

10.3.3 Přípravy před dovozem linky

Mezi zpracováním specifikací dodavatelem a přípravou požadovaných strojů vzniká dostatek času pro přípravu na výrobu. Jak lze vidět na časovém harmonogramu, těmto přípravným činnostem jsou vyhrazeny celkem 3 měsíce. V tomto čase se například rozhoduje, kde přesně bude linka v areálu firmy stát. Je tedy potřeba vybrat konkrétní halu, provést přesné vyměření rozměrů linky a sepsat potřebnou dokumentaci. V této fázi je nutné často jednat s dodavatelskou firmou a provádět audity, aby se redukovala možnost rizika, že bude specifikace špatně pochopena, dojde k časovému skluzu nebo dojde k jinému pochybení ze straně dodavatele. Je nutné neustále reportovat stav, v jakém je aktuálně dodavatelská firma. V tomto čase je možné odlaďovat detaily montáže. Tento čas je věnován činnostem jako například vytváření norem pro seřízení šroubováků a dalších strojů (např. definování kroutících momentů atd). Je třeba věnovat se testování obalových jednotek (například pomocí technologie 3D tisku), definování požadavků pro logistiku a dalším přípravným činnostem, které je třeba vyřešit. To vše by mělo být naplánováno do doby, než dodavatelská firma dodá požadované stroje. Po dodání je třeba se věnovat následným činnostem a na tuto přípravu už není dostatek prostoru.

10.3.4 Převoz linky

Před samotným převozem je třeba stanovit podmínky převozu a vyjednat podrobnosti přestěhování linky. V tomto čase se jedná o přesném stavu, v jakém mají být stroje dodány, dále je nutná kontrola dokumentace od dodavatelské firmy. Provádí se finální audity a kontrola poptávaných strojů a zařízení.

Po důkladném prověření smluvených podmínek může začít samotné stěhování linky. Na stěhování dohlíží společně se zástupcem dodavatelské firmy taky projektový manažer a zástupce PI oddělení. Zaměstnance, kteří fyzicky linku stěhují, zajišťuje dodavatelská firma.

10.3.5 Zprovoznění linky

Kompletní zprovoznění linky sestává z několika dílčích činností. Nejprve je třeba smontovat všechny přivezené stroje a zařízení. Tuto část provádí dodavatelská firma a zastřešuje ji zástupce dodavatelské firmy, který je zodpovědný za tuto činnost. Stejně tomu tak je u

rozmístění všech zařízení dle layoutu a u zprovoznění strojů. Před zprovozněním však musejí být stroje nejprve připojeny k síti, což zajišťuje elektro specialista.

Jakmile nastane fáze, kdy jsou všechny stroje funkční, je třeba odladit chování všech robotů, elektrozařízení a šroubováků. Tyto činnosti mají na starost programátor a zástupce seřizovačů.

Po dokončení všech úprav je možné začít linku testovat, zda vše funguje tak, jak má. U testování jsou přítomni všichni členové projektového týmu. Po ověření, že linka funguje správně, je možné sepsat protokol finální přejímky linky od dodavatele.

10.3.6 Vytvoření standardů výroby

Po ověření, že linka funguje správně, je možné vytvořit standardní postupy výroby pro operátory. Tuto činnost zajišťuje zástupce PI oddělení a zástupce oddělení kvality. Standardy výroby by měly sloužit pro sjednocení postupu výroby. Podle vytvořených standardů bude probíhat následné školení operátorů. Tyto standardy by měly být stručné a jasné.

10.3.7 Proškolení operátorů

Jednou z posledních činností projektu dle harmonogramu je zaškolení operátorů podle vytvořených standardů výroby. Toto školení má na starost zástupce oddělení kvality, jelikož je od začátku projektu zapojen do každodenních porad a podílí se na vytváření standardů výroby.

Po zaškolení operátorů probíhá testování jejich znalostí. Operátoři vyrábí první kusy pod dohledem a účastní se denních schůzek před začátkem a po konci směny, kde se probírají připomínky operátorů, jejich postřehy a odladění nedostatků ve standardech výroby.

10.3.8 Výroba prvních OK kusů

V této finální fázi projektu již operátoři pracují samostatně. Zástupce oddělení kvality kontroluje výstupy z linky a dohlíží na finální výrobky. Případné nedostatky se konzultují s operátory a reportují se projektovému manažerovi. Všechny vady výrobků se zaznamenávají a hledá se jejich příčina.

Po dokončení této činnosti se na lince spouští omezený provoz. Po několika měsících omezeného provozu a odladování případných nedostatků je linka spuštěna v plánovaném režimu a vyrábí dle zákaznického taktu.

10.4 Zhodnocení navrhnutého projektu

Jak je patrné již z analytické části práce, tak automatizovaná verze výroby přinese velké ušetření operátorů. Je ale třeba porovnat ušetření nákladů za operátory s počáteční investicí do automatizace. Na základě tohoto porovnání lze teprve jednoznačně určit, zda se tato investice firmě vyplatí. Projekt je plánován na 5 let. Z toho vyplývá, že investice by se měla do doby skončení projektu vrátit.

V tabulce č. 5 je uveden roční požadavek zákazníka. Konkrétně je požadováno 160 159 ks výrobku BASIS i výrobku HIGH. V tabulce č. 9 byla provedena sumarizace nákladů pro manuální variantu.

Tabulka 9 – Sumarizace nákladů pro manuální variantu (vlastní zpracování)

Varianta před automatizací					Jednotky
BASIS + HIGH					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny BASIS	15	30	90		op.
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny HIGH	19	38	114		op.
Počáteční investice 18 CB:	0				€
Počet pracovníků BASIS:	90				op.
Počet pracovníků HIGH:	114				op.
Náklady na jednoho pracovníka / půlrok:	11850				€
Roční inflace:	4,5				%
Náklady na servis / půlrok:	0				€
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce BASIS (ks):	160 159	160 159	160 159	160 159	160 159
Náklady na pracovníky + inflace + servis BASIS (€):	1066500	1114493	1164645	1217054	1271821
Produkce HIGH (ks):	160 159	160 159	160 159	160 159	160 159
Náklady na pracovníky + inflace + servis HIGH (€):	1350900	1411691	1475217	1541601	1610973
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	13224893,69				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	8,26				

V prvním řádku tabulky č. 9 je vypočítaná potřeba operátorů pro montáž výrobku BASIS. Celkový počet pro tuto variantu výrobku je tedy 90 operátorů. O řádek níže je vypočítaná potřeba operátorů pro montáž výrobku HIGH. V tomto případě je jich potřeba 114. Níže jsou specifikovány půlroční náklady na jednoho operátora. V této hodnotě jsou započítány veškeré náklady včetně pracovních oděvů atd. Každý rok se tato hodnota zvýší o 4,5 %. Toto procentuální navýšení je započítáno z důvodu předpokladu zvýšení inflace. V tabulce je uvedena nulová počáteční investice. Tím se rozumí nulová počáteční investice v porovnání s automatizovanou variantou (porovnání s investicí do osmnácti colaborativ-

ních robotů). Vzhledem k tomu, že oproti automatizované variantě v lince není žádné pracoviště, které by vyžadovalo servisní náklady, je tato položka v tabulce rovněž nulová.

V druhé části tabulky je zobrazen výpočet nákladů. Vždy je uveden požadavek zákazníka na rok pro danou variantu výrobku a pak o řádek níž jsou vypočítány náklady na konkrétní rok výroby. Každý rok je přitom suma navýšena o 4,5 %. V případě manuální výroby se započítávají pouze náklady za operátory.

Třetí část tabulky obsahuje pouze tři řádky. Na prvním řádku je součet nákladů za celých pět let. To znamená součet řádku „Náklady na pracovníky + inflace + servis BASIS“ a „Náklady na pracovníky + inflace + servis HIGH“. V druhém řádku je součet požadovaných / prodaných kusů zákazníkem. To znamená součet řádků „Produkce BASIS“ a „Produkce HIGH“. V posledním řádku jsou vypočítány náklady na 1 kus, který pro tuto variantu činí 8,26 €. Není rozlišeno, zda se jedná o kus BASIS, nebo HIGH. Jde totiž o porovnání s automatizovanou verzí. Výpočet pro variantu s automatizací je zobrazen v tabulce č. 10.

Tabulka 10 – Sumarizace nákladů pro automatizovanou variantu (vlastní zpracování)

Varianta po automatizaci					Jednotky
BASIS + HIGH					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny BASIS	12	24	72		op.
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny HIGH	14	28	84		op.
Počáteční investice 18 CB:	776000				€
Počet pracovníků BASIS:	72				op.
Počet pracovníků HIGH:	84				op.
Náklady na jednoho pracovníka / půlrok:	11850				€
Roční inflace:	4,5				%
Náklady na servis / půlrok:	2500				€
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce BASIS (ks):	160 159	160 159	160 159	160 159	160 159
Náklady na pracovníky + inflace + servis BASIS (€):	855700	896706,5	939558,3	984338,4	1031134
Produkce HIGH (ks):	160 159	160 159	160 159	160 159	160 159
Náklady na pracovníky + inflace + servis HIGH (€):	997900	1045306	1094844	1146612	1200710
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	10968808,63				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	6,85				

V tabulce č. 10 byl proveden výpočet sumarizace nákladů pro automatizovanou variantu výroby, která je zamýšlena v projektu. Metodika výpočtu je naprosto stejná jako v předcházející tabulce. Rozdíl je pouze v tom, že jsou k ročním nákladům navíc přičtené servisní náklady (půl roku se vyrábí BASIS a druhého půl roku HIGH, proto je v tabulce

uvedeno „Náklady na servis / půlrok“). Navíc je k celkovým nákladům přičtena ještě počáteční investice do automatizace za 18 automatizovaných pracovišť v hodnotě 77 6000 €.

Výsledkem této sumarizace je, že náklady na jeden kus se rovnají hodnotě 6,85 €.

10.4.1 Výpočet návratnosti investice

V tabulce č. 11 je proveden výpočet návratnosti investice do automatizovaných pracovišť. V prvním řádku tabulky je vypočten rozdíl mezi celkovými náklady (manuální varianta – automatizovaná varianta). Na druhém řádku je vypočteno, kolik bude uspořeno na 1 ks v případě použití automatizované varianty. Hodnota 1,41 bylo dosaženo rozdílem hodnot 8,26 – 6,85 (€). V dalším řádku je určena návratnost investice ve vyrobených kusech. Této hodnoty bylo dosaženo podílem počáteční investice a úspory na 1 kus. Výsledné hodnoty návratnosti investice v letech bylo dosaženo podílem hodnoty návratnosti v kusech (550881 ks) a ročního požadavku zákazníka (320 318 ks).

Tabulka 11 – Výpočet návratnosti investice (vlastní zpracování)

Rozdíl mezi celkovými náklady (€):	2256085
Úspora / 1 KS (€):	1,41
Investice se vrátí (KS)	550881
Investice se vrátí za(rok):	1,72

Z tabulky č. 11 plyne, že se investice vrátí dříve než do dvou let, konkrétně za 1,72 roku. To znamená za 1 rok a 9 měsíců. Vzhledem k uspořeným nákladům, které jsou uvedeny v prvním řádku této tabulky, je zřejmé, že automatizovaná varianta je pro firmu jednoznačně výhodnější. Proto se projekt doporučuje firmě realizovat. I za cenu vysoké počáteční investice přinese společnosti značné úspory.

V příloze č. 5 je možné vidět výpočet návratnosti v případě, že by se na lince vyráběl pouze jeden z výrobků BASIS nebo HIGH. V této příloze je výpočet proveden pro obě dvě varianty zvlášť.

10.5 Shrnutí projektu

Projekt je vystavěn na vstupních datech, která vycházejí z provedených analýz MTM a z počítačové simulace. Podle struktury projektu by se dalo říct, že projekt má tři základní části.

Do první části spadá vytváření specifikací, domluva s dodavatelskou firmou, přípravné činnosti a provádění auditů u dodavatele. Práce tedy spočívá především ve vytváření dokumentací a ve vyjednávání. Největší podíl má v této části na projektových činnostech oddělení PI a dodavatelská firma.

Druhá část začíná převozem linky z dodavatelské firmy. Tady dochází k zásadní změně. Do této fáze projektu je drtivá většina práce prováděna virtuálně a provádí se z kanceláře. S příchodem druhé fáze je už práce vyvážená. Je třeba trávit hodně času na montážní hale a dohlížet na výstavbu linky. Tato fáze projektu bude pravděpodobně nejnáročnější. Důvodů je několik. Prvním je spolupráce většího množství lidí, proto bude tato část náročná na koordinaci. Také se mohou při stavbě linky vyskytnout neočekávané problémy, které mohou výstavbu komplikovat. Důvodem je rovněž samotná náročnost úkolu. Odladit celou linku tak, aby vyráběla kusy přesně podle požadavku zákazníka, vyžaduje odborný přístup a přesné dodržení specifikací. Tato fáze bude náročná především pro dodavatele, seřizovače, elektro specialisty a programátory.

Do poslední fáze spadají veškeré činnosti po předání odladěné linky. Tato část je zaměřená na standardizaci a na kvalitu finálního výrobku. Do většiny činností v této fázi je zapojeno oddělení kvality, které ručí za jakost finálního produktu. Velký podíl na této fázi mají i operátoři, kteří musí projít školením. Na výsledku jejich práce záleží stejně tak, jako na práci oddělení kvality. Klíčové pro tuto fázi je, aby mezi operátory a zástupcem oddělení kvality byla komunikace na vysoké úrovni a zpětná vazba od operátorů byla dostatečná. Bez potřebných informací nemůže provést oddělení kvality svou práci tak dobře, jako při dobře fungující spolupráci.

Po finančním zhodnocení projektu vyšlo najevo, že je jednoznačně výhodnější navržená varianta s automatizací. Realizace tohoto projektu přinese firmě velikou úsporu, která je téměř třikrát větší než počáteční investice. Proto se firmě doporučuje, aby tento projekt realizovala a racionalizovalo se tak původně zamýšlené řešení.

ZÁVĚR

Téměř pro každou firmu je redukování výrobních nákladů prioritní záležitostí. Dnešní situace na trhu je pro společnosti tak náročná, že není možné udržovat si konkurenční výhodu s velkými provozními náklady firmy. Proto se podniky snaží o minimalizaci těchto nákladů. Jsou potom schopné nabízet svým zákazníkům výhodnější cenové nabídky a mají větší možnost investovat do vývojových aktivit, které zajišťují méně komplikací při samotné výrobě.

Aktuálním směrem, kterým se vydává spousta moderních firem, je kombinování osvědčených principů „štíhlé“ výroby a ostatních „Lean“ principů aplikovaných napříč celým podnikem a nového trendu IDUSTRY 4.0, ve kterém vidí velké množství firem nemalý potenciál pro finanční úsporu. Při nalezení správné kombinace těchto dvou prvků si mohou firmy ušetřit velké množství práce při výrobě. Ovšem je pravda, že vývojové projekty jsou o to náročnější a vyžadují důkladnou přípravu před tím, než se realizují.

Firma, ve které byla tato práce zpracována, se rozhodla projekt realizovat. Podle časového harmonogramu je firma zhruba v polovině projektových aktivit. Veškeré projektové činnosti, které již byly realizovány, proběhly bez výrazných komplikací. Vyskytlo se ovšem drobné zpoždění u dodavatelské firmy, která nebyla schopna dodat smluvené stroje v požadovaném čase. Nejedná se ale o velké zpoždění, takže je předpoklad, že se projekt povede dokončit v původně zamýšleném termínu a toto drobné zpoždění se dožene na základě zkrácení některých aktivit. Díky tomu bude možné dodat zákazníkovi smluvené produkty včas.

Ne vždy ovšem musí být automatizace tím správným krokem. Podstatné je to, aby se firmě vrátila počáteční investice, kterou si tato změna vyžádá. Automatizovat procesy se dá nejlépe při sériové výrobě, kde se neustále opakují ty stejné úkony a je proto možné vytvořit program, dle kterého se roboti chovají. V případě kusových výrob se automatizace zpravidla nezavádí. Pokud se nedá výroba standardizovat, je velmi obtížné naprogramovat chování robotů.

Automatizace umožňuje nejen redukovat výrobní náklady v podobě ušetřené pracovní síly, ale je velkou pomocí v eliminaci dekorativních vad a lidských selhání. Ve výrobě se často stává, že zdrojem většiny vad je bohužel lidské pochybení. Proto se s přicházející vlnou automatizace předpokládá, že hodně zaměstnanců, kteří pracují na pozici montážních ope-

rátorů, bude přesunuto na jiný druh práce, kterou bude třeba zastávat na jiných pozicích. Pravděpodobně se čím dál více bude rozšiřovat oddělení vývoje a znalostních pracovníků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BADIRU, Adedeji Bodunde. *Handbook of industrial and systems engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2014, xxvi, 1452 s. Industrial innovation series. ISBN 978-1-4665-1504-8.

BANGSOW, Steffen, c2010. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and Simtalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer. ISBN 3642050743.

BAUER, Miroslav, 2012. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Brno: BizBooks, 193 s. ISBN 978-80-265-0029-2.

GILCHIRST, Alasdair, 2016. *Industry 4.0 : the industrial internet of things*. New York: Apress, 250 s. ISBN 978-14-84-22046-7.

HOBBS, Dennis P., c2011. *Applied lean business transformation: a complete project management approach*. Ft. Lauderdale, FL: J. Ross Pub. ISBN 9781932159790.

CHROMJAKOVÁ, Felicita a Rastislav RAJNOHA, 2011. *Řízení a organizace výrobních procesů: kompendium průmyslového inženýra*. Žilina: GEORG, 138 s. ISBN 978-80-89401-26-0.

CHROMJAKOVÁ, Felicita, 2013. *Průmyslové inženýrství: trendy zvyšování výkonnosti štíhlým řízením procesů*. Žilina: Georg, 116 s. ISBN 978-80-8154-058-5.

KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA, 2012. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.

KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK, 2006. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 237 s. Management studium. ISBN 80-86851-38-9. Dostupné také z: http://toc.nkp.cz/NKC/200701/contents/nkc20061651846_1.pdf

SVOZILOVÁ, Alena, 2011. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 223 s. Expert. ISBN 978-80-247-3938-0.

ŠTŮSEK, Jaromír, 2007. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. V Praze: C.H. Beck. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ, 2007. *Řízení výroby a nákupu*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-1479-0.

Internetové zdroje:

- BENEDIKT, Jiří, 2019. 8 druhů plýtvání ve firmách dle Lean managementu. In: Jiří Benedikt Future skills trainer: Design thinking, Lean, Digi skills [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.jiribenedikt.com/8-druhu-plytvani/>
- Buňky, ©2012. In: Svět produktivity Beta [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/Bunky.htm>
- DLABAČ, Jaroslav, 2015. Analýza a měření práce. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25840n-analyza-a-normovani-prace-je-pro-velkou-cast-ceskych-firem-stale-aktualnejsim-tematem>
- DLABAČ, Jaroslav, 2017. Analýza a normování práce je pro velkou část českých firem stále aktuálnějším tématem. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>
- DLABAČ, Jaroslav, 2017. Ergonomie a pohybová ekonomie. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25855n-ergonomie-a-pohybova-ekonomie>
- Ergonomie, ©2005-2020. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/24886-jednotlive-metody-a-nastroje-a-ch>
- JEŽEK, Vlastimil, 2017. Vizualizace. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/bolk-iv/cespi_vizualizace_e_tisk.pdf
- LAMAČ, Luděk, 2019. Internet věcí nejsou jen chytré stroje. In: System On Line S přehledem ve světě informačních technologií [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/internet-veci-nejsou-jen-chytre-stroje.htm>
- Lean and Industry 4.0, ©2018. In: All About Lean [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/lean-and-industry-4-0/>
- LOFFELMANN, Jiří, 2019. Plánování podle typu výroby. In: System On Line S přehledem ve světě informačních technologií [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/planovani-podle-typu-vyroby.htm>

- MTM-UAS ,©2000. In: Ukmtm.co.uk [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <http://www.ukmtm.co.uk/systems/mtm-uas.html>
- MYŠKA, Jakub, 2017. Projektování výrobních buněk. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-5/projektovnmontnchbunk_2015-03-29_tiskupravene.pdf
- PAVELKA, Marcel, 2017. Uplatnění LEAN filosofie v různých odvětvích. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25837n-uplatneni-lean-filosofie-v-ruznych-odvetvich>
- PAVELKA, Marcel, 2015. Naučte se vidět a odstraňovat plýtvání. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25781n-naucte-se-videt-a-odstranovat-plytvani>
- Kaizen, ©2016. In: Management mania [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/kaizen>
- Kusová výroba (Job production, one-off production), ©2016. In: Management mania [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/kusova-vyroba-job-production-one-off-production>
- WENCEL, Oskar, 2018. Lean versus Průmysl 4.0. In: Průmyslové inženýrství [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/lean-versus-prumysl-4-0/>
- Sériová výroba (Mass production), ©2016. In: Management mania [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/seriova-vyroba>
- The MTM-2 System ,©2015. In: International MTM directorate [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <http://mtm-international.org/the-mtm-2-system/>
- Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů, ©2016. In: AUTOMA časopis pro automatizační techniku [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/vyuziti-pocitacove-simulace-v-oblasti-zefektivnovani-vyrobnich-procesu-2012_08_0_9897/
- Zgabaj, Michal, 2013. Obecné zásady při projektování výrobních buněk. In: Svět produktivity Beta [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/clanek/Obecne-zasady-pri-projektovani-vyrobnich-bunek.htm>

5S, ©2005-2020. In: API – Akademie produktivity a inovací [online]. [cit. 2020-03-19].
Dostupné z: <https://www.e-api.cz/24886-jednotlive-metody-a-nastroje-a-ch>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

JIT	Just in time.
IoT	Internet of Things.
IIoT	Industrial Internet of Things.
MTM	Methods Time Measurement
MOST	Maynard Operation Sequence Technique
TMU	Time Measurement Unit
UAS	Universal Analysing System
PI	Průmyslové inženýrství
daN	Deka-newton
MP	Malá pravděpodobnost
SP	Střední pravděpodobnost
VP	Velká pravděpodobnost
MD	Malý dopad
SD	Střední dopad
VD	Velký dopad
MHR	Malá hodnota rizika
SHR	Střední hodnota rizika
VHR	Velká hodnota rizika

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Lean a Industry 4.0 (Lean and Industry 4.0, ©2018)</i>	15
<i>Obr. 2 – Lean vs. Industry 4.0 (Lean and Industry 4.0, ©2018)</i>	16
<i>Obr. 3 – Transformované a transformující výrobní zdroje (Keřkovský a Valsa, 2012, s. 2)</i>	18
<i>Obr. 4 – Tvary montážních buněk (Myška, 2017)</i>	21
<i>Obr. 5 – Jednotlivé kroky metody 5S (5S, ©2005-2020)</i>	22
<i>Obr. 6 – Schéma realizace ergonomických opatření (Dlabač, 2017)</i>	23
<i>Obr. 7 – Ukázka použití systému Basic MOST (Dlabač, 2017)</i>	28
<i>Obr. 8 – Montážní tok pro variantu BASIS (Vlastní zpracování)</i>	40
<i>Obr. 9 – Montážní tok pro variantu HIGH (Vlastní zpracování)</i>	40
<i>Obr. 10 – Layout výrobní haly (interní zdroj firmy)</i>	41
<i>Obr. 11 - Golden zone, Strike zone (interní zdroj firmy)</i>	42
<i>Obr. 12 – Ukázka zpracovaného microlayoutu na prac. E020</i>	44
<i>Obr. 13 - Ukázka zpracovaného microlayoutu na prac. E130</i>	44
<i>Obr. 14 – MTM – UAS datakarta (interní zdroj firmy)</i>	46
<i>Obr. 15 – Převodník UAS (interní zdroj firmy)</i>	47
<i>Obr. 16 – Legenda pro tabulky</i>	54
<i>Obr. 17 – Vstupní data varianty BASIS pro simulaci (vlastní zpracování)</i>	59
<i>Obr. 18 – Vstupní data varianty HIGH pro simulaci (vlastní zpracování)</i>	60
<i>Obr. 19 – Ukázka simulace 1 (vlastní zpracování)</i>	61
<i>Obr. 20 – Ukázka simulace 2 (vlastní zpracování)</i>	63
<i>Obr. 21 – Statistika auta svozu a rozvozu v čase (vlastní zpracování)</i>	64
<i>Obr. 22 – Ukázka simulace 3 (vlastní zpracování)</i>	65
<i>Obr. 23 – Ukázka simulace 4 (vlastní zpracování)</i>	66
<i>Obr. 24 – Ukázka simulace 5 (vlastní zpracování)</i>	67
<i>Obr. 25 - Statistika auta svozu a rozvozu v čase 2 (vlastní zpracování)</i>	68
<i>Obr. 26 – Ukázka simulace 6 (vlastní zpracování)</i>	68
<i>Obr. 27 – Ukázka simulace 7 (vlastní zpracování)</i>	70
<i>Obr. 28 – Logický rámeček projektu (vlastní zpracování)</i>	73
<i>Obr. 29 – Layout ze simulačního prostředí</i>	103

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - MTM analýza prac. E040 B. před automatizací (vlastní zpracování)</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 2 - MTM analýza prac. E040 B. po automatizaci (vlastní zpracování).....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 3 – Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS (vlastní zpracování)</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 4 - Určení počtu pracovníků pro variantu BASIS (vlastní zpracování).....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 5 – Roční požadavek (vlastní zpracování)</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 6 – RIPRAN riziková analýza (Vlastní zpracování)</i>	<i>74</i>
<i>Tabulka 7 – Hodnota rizika (vlastní zpracování)</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 8 – Časový harmonogram.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 9 – Sumarizace nákladů pro manuální variantu (vlastní zpracování)</i>	<i>82</i>
<i>Tabulka 10 – Sumarizace nákladů pro automatizovanou variantu (vlastní zpracování).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 11 – Výpočet návratnosti investice (vlastní zpracování)</i>	<i>84</i>
<i>Tabulka 12 – MTM analýza prac. E050 H. před automatizací (vlastní zpracování)</i>	<i>97</i>
<i>Tabulka 13 - MTM analýza prac. E050 H. po automatizaci (vlastní zpracování)</i>	<i>99</i>
<i>Tabulka 14 – Určení nového taktu BASIS</i>	<i>101</i>
<i>Tabulka 15 – Určení nového taktu HIGH.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabulka 16 - Sumarizace nákladů pro manuální variantu BASIS (vlastní zpracování)</i>	<i>105</i>
<i>Tabulka 17 - Sumarizace nákladů pro aut. variantu BASIS (vlastní zpracování)</i>	<i>105</i>
<i>Tabulka 18 – Návratnosti investice BASIS (vlastní zpracování)</i>	<i>105</i>
<i>Tabulka 19 - Sumarizace nákladů pro manuální variantu HIGH (vlastní zpracování)</i>	<i>106</i>
<i>Tabulka 20 - Sumarizace nákladů pro aut. variantu HIGH (vlastní zpracování)</i>	<i>106</i>
<i>Tabulka 21 – Návratnost investice HIGH (vlastní zpracování)</i>	<i>106</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 - MTM analýza prac. E040 B. před automatizací 2 (vlastní zpracování)</i>	<i>50</i>
<i>Graf 2 - MTM analýza prac. E040 B. po automatizaci 2 (vlastní zpracování)</i>	<i>53</i>
<i>Graf 3 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi (vlastní zpracování).....</i>	<i>63</i>
<i>Graf 4 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 2 (vlastní zpracování).....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 5 – Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 3 (vlastní zpracování)</i>	<i>67</i>
<i>Graf 6 - Úroveň zásoby v hlavní montážní větvi 4 (vlastní zpracování).....</i>	<i>69</i>
<i>Graf 7 – MTM analýza prac. E050 H. před automatizací 2 (vlastní zpracování).....</i>	<i>98</i>
<i>Graf 8 - MTM analýza prac. E050 H. po automatizaci 2 (vlastní zpracování).....</i>	<i>100</i>
<i>Graf 9 – Centrální sklad BASIS – automatizace (vlastní zpracování)</i>	<i>104</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Srovnání varianty HIGH na pracovišti E050

P II: Výpočet nového taktu při použití menšího počtu operátorů na manuální variantě

P III: Layout ze simulačního prostředí

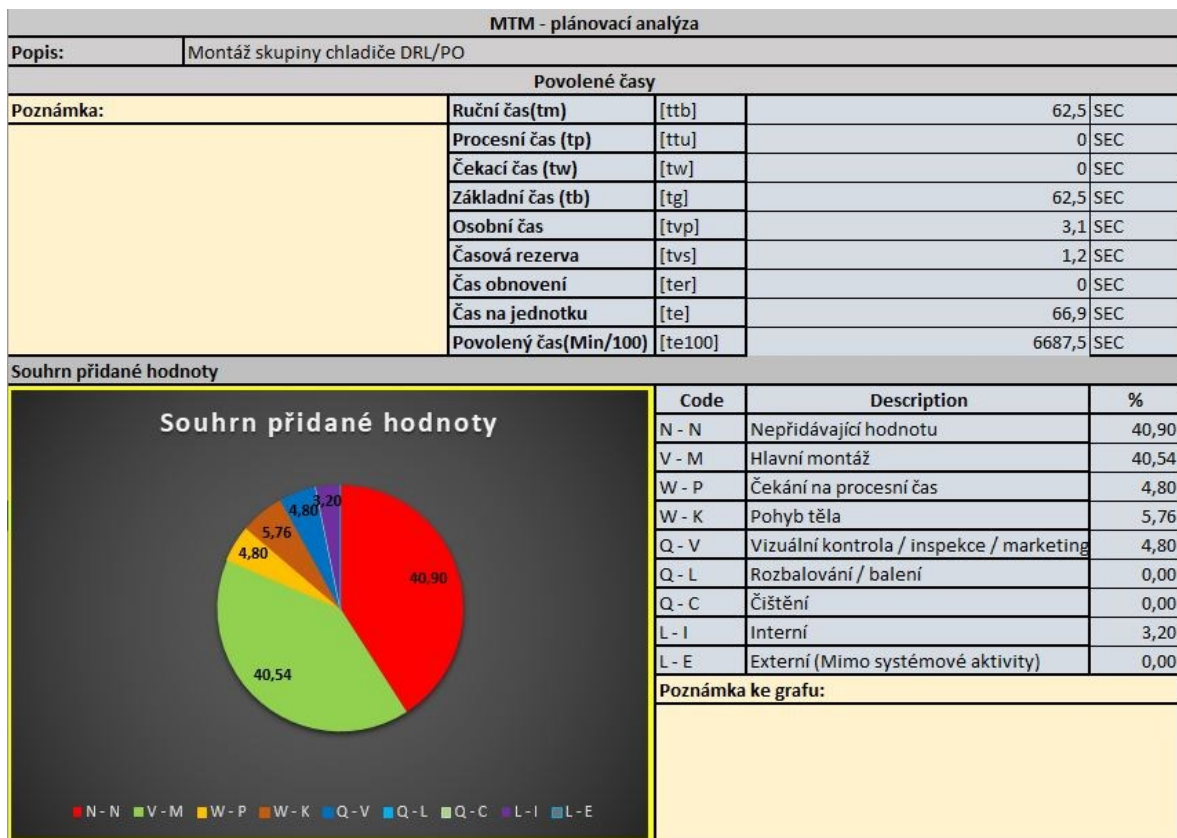
P IV: Úroveň materiálu na centrálním skladě při variantě BASIS (automatizace)

P V: Návratnosti investice pro varianty BASIS i HIGH zvlášť

PŘÍLOHA P I: SROVNÁNÍ VARIANTY HIGH NA PRACOVIŠTI E050

Tabulka 12 – MTM analýza prac. E050 H. před automatizací (vlastní zpracování)

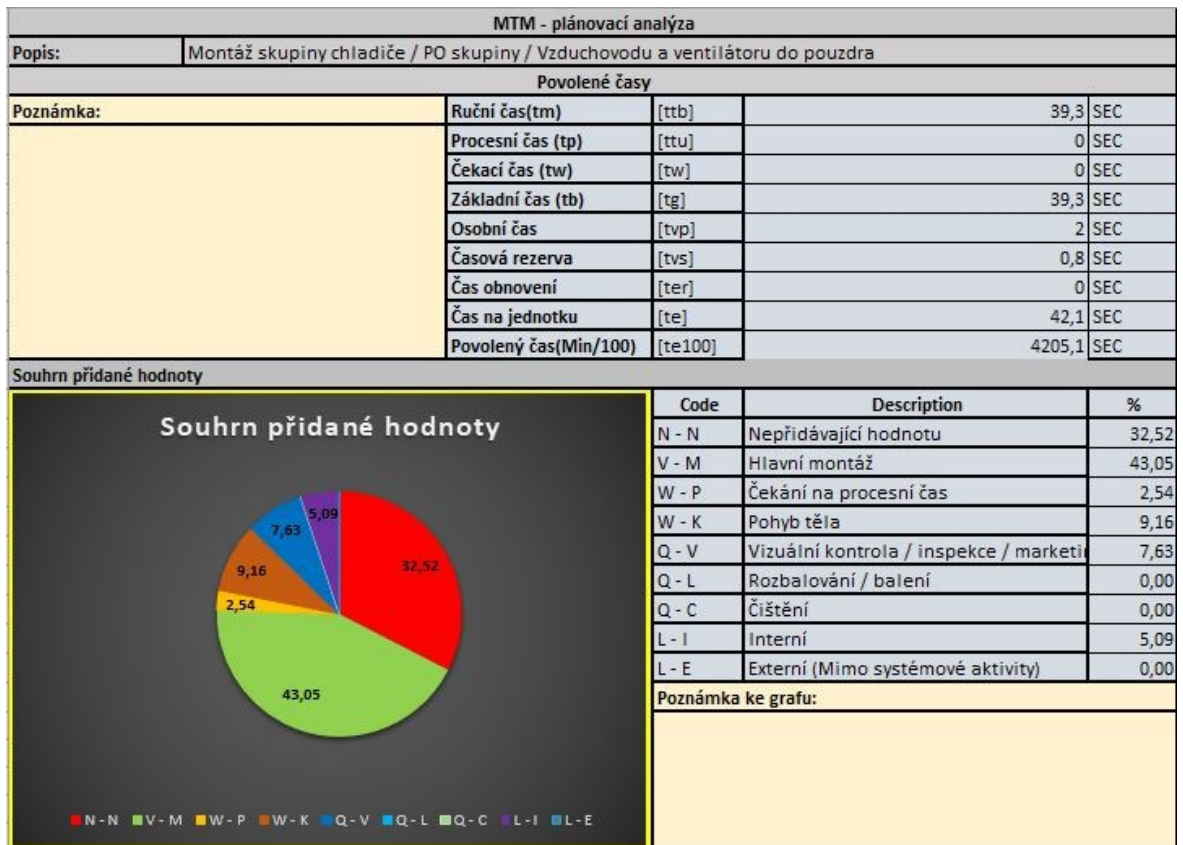
Material Provision Overview				
ČÍSLO	POPIS	KÓD	ČAS * POČET * ČETNOST	OZNAČ.
1	Vzít skup. Pouzdra z předchozí stanice a umístit ji do přípravku	E050	6,6 * 1 * 1,0 = 6,6	
1:01	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
1:02	Uchopit pouzdro a umístit ho do přípravku	AM1	3,4 * 1 * 1 = 3,4	N-N
1:03	Umístit pouzdro do přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
1:04	Čekání na uzamčení a čtení DMC	PTBSEC	1,0 * 1 * 1 = 1,0	W-P
2	Vyjmout skup. Chladiče z balení, fixovat binder, nakontaktovat a u	E050	6,8 * 1 * 1 = 6,8	
2:05	Vyjmout chladič z krabice a položit ho blíž k pouzdru	E050	1,8 * 1 * 1 = 1,8	N-N
2:06	Uchopit a umístit binder	AB2	1,6 * 1 * 1 = 1,6	V-M
2:07	Zacvaknout binder	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
2:08	Nakontaktování chladiče	AC2	2,0 * 1 * 1 = 2,0	V-M
2:09	Stisknout - kontaktování	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
3	Fixovat skup. Chladiče dvěma šrouby	E050	15,3 * 1 * 1,0 = 15,3	
3:10	Použit šroubovák	HA2	1,6 * 1 * 1 = 1,6	N-N
3:11	První šroub do šroubováku	AF1	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
3:12	Druhý šroub do šroubováku	PC1	1,1 * 1 * 1 = 1,1	N-N
3:14	Posun šroubováku se šroubem k dliu	PC1	1,1 * 2 * 1 = 2,2	N-N
3:15	Šroubovací proces	PTBSEC	1,0 * 2 * 3,5 = 7,0	V-M
3:16	PČ: Čtení DMC a kontrola připojení	PTBSEC	1,0 * 2 * 1 = 2,0	W-P
4	Vyjmout aktivní ventilátor z balení, nakontaktování a umístění do po	E050	5,9 * 1 * 1,0 = 5,9	
4:17	Vyjmout aktivní chladič z krabice a položit ho blíž k pouzdru	AA3	1,8 * 1 * 1 = 1,8	N-N
4:18	Kontaktování chladiče	AC2	2,0 * 1 * 1 = 2,0	V-M
4:19	Stisknout - kontaktování	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
4:20	Umístit aktivní ventilátor do pomocného přípravku	PB2	1,1 * 1 * 1 = 1,1	N-N
4:21	Umístit aktivní ventilátor do pomocného přípravku, druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
5	Vyjmout vzduchovod z balení a umístit ho do pouzdra	E050	3,6 * 1 * 1,0 = 3,6	
5:22	Vyjmout vzduchovod z balení a umístit ho do pouzdra	AB3	2,2 * 1 * 1 = 2,2	V-M
5:23	Umístit vzduchovod do přípravku, druhá pozice	PB1	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
5:24	Umístit	PA1	0,4 * 2 * 1 = 0,7	V-M
6	Fixovat vzduchovod dvěma šrouby	E050	13,3 * 1 * 1,0 = 13,1	
6:25	Použit šroubovák	HA2	1,6 * 1 * 1 = 1,6	N-N
6:26	První šroub do šroubováku	AF1	1,4 * 1 * 1 = 1,4	N-N
6:27	Druhý šroub do šroubováku	PC1	1,1 * 2 * 1 = 2,2	N-N
6:28	Posun šroubováku se šroubem k dliu	PC1	1,1 * 2 * 1 = 2,2	N-N
6:29	Šroubovací proces	PTBSEC	1,0 * 2 * 3,5 = 7,0	V-M
7	Vyjmout skup. Pouzdra z přípravku, kontrola a posun na následující	E050	8,9 * 1 * 1,0 = 8,9	
7:30	Uvolnit dokončenou skupinu	AL2	3,8 * 1 * 1 = 3,8	N-N
7:31	Vizuální kontrola dokončené skupiny	PTBSEC	1,0 * 3 * 1 = 3,0	Q-V
7:32	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
7:33	Umístit dokočenou skupinu na polici / odkládací stůl	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
7:34	Přídavné časy	E050	2,0 * 1 * 1,0 = 2,0	
7:35	Přídavný čas pro balení	PTBSEC	1,0 * 2 * 1 = 2,0	L-I



Graf 7 – MTM analýza prac. E050 H. před automatizací 2 (vlastní zpracování)

Tabulka 13 - MTM analýza prac. E050 H. po automatizaci (vlastní zpracování)

Material Provision Overview				
ČÍSLO	POPIS	KÓD	ČAS * POČET * ČETNOST	OZNAČ.
1	Vzít skup. Pouzdra z odkládacího stolu a umístit ji do přípravku	E050	6,6 * 1 * 1,0 = 6,6	
1:01	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
1:02	Uchopit pouzdro a umístit ho do přípravku	AM1	3,4 * 1 * 1 = 3,4	N-N
1:03	Umístit pouzdro do přípravku. Druhá pozice	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
1:04	Čekání na uzamčení a čtení DMC	PTBSEC	1,0 * 1 * 1 = 1,0	W-P
2	Vyjmout vzduchovod z balení a umístit ho do pouzdra	E050	2,9 * 1 * 1,0 = 2,9	
2:05	Vyjmout vzduchovod z balení a umístit do pouzdra	AB3	2,2 * 1 * 1 = 2,2	V-M
2:06	Umístit vzduchovod do pouzdra, druhá pozice	PB1	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
3	Zafixovat vzduchovod dvěma šrouby (Cobot - 12s)	E050	0 * 1 * 1,0 = 0	
3:07	Start Cobota	BA2	0,9 * 1 * 1 = 0,9	N-N
3:08	Použití šroubováku			
3:09	První šroub do šroubováku			
3:10	Druhý šroub do šroubováku			
3:11	Posun šroubováku se šroubem k dílu			
3:12	Šroubovací proces			
4	Vyjmu skup. Chladiče z balení, zakotvit binder, nakontaktovat a u	E050	6,8 * 1 * 1,0 = 6,8	
4:13	Vyjmu t chladič z krabice blíž k pouzdru	AA3	1,8 * 1 * 1 = 1,8	N-N
4:14	Uchopit a umístit binder	AB2	1,6 * 1 * 1 = 1,6	V-M
4:15	Zacvaknout binder	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
4:16	Nakontaktování chladiče	AC2	2,0 * 1 * 1 = 2,0	V-M
4:17	Stisknout - kontaktovat	ZD	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
4:18	Umístit chladič do pouzdra	PB2	1,1 * 1 * 1 = 1,1	V-M
4:19	Umístit chladič do pouzdra, druhá pozice	PB1	0,7 * 1 * 1 = 0,7	V-M
5	Uchytit skup. Chladiče dvěma šrouby (cobot - 12s)	E050	0,9 * 1 * 1,0 = 0,9	
5:20	Start cobota	BA2	0,9 * 1 * 1 = 0,9	N-N
5:21	Použití šroubovák			
5:22	První šroub do šroubováku			
5:23	Druhý šroub do šroubováku			
5:24	Posun šroubováku se šroubem k dílu			
5:25	Šroubovací proces			
5:26	PČ: Čtení DMC k-odu a kontrola kontaktu			
6	Vyjmout 4x kloubový prvek z krabice a umístit ho do skup. Pouzdra	E050	10,3 * 1 * 1,0 = 10,3	
6:27	Vyjmout hrst kloubových prvků z krabice a umístit je do skup. Pouzdra	AG2	2,3 * 1 * 1 = 2,3	N-N
6:28	Umístit kloubový prvek do pouzdra	AE1	1,1 * 4 * 1 = 4,3	V-M
6:29	Zacvaknout	ZD	0,7 * 4 * 1 = 2,9	V-M
6:30	Umístit zbytek kloubových prvků zpět do krabice	PA2	0,7 * 1 * 1 = 0,7	N-N
7	Vyjmout skup. Pouzdra z přípravku, kontrola a posun na následující	E050	8,9 * 1 * 1,0 = 8,9	
7:31	Uvolnění dokončené skupiny	AL2	3,8 * 1 * 1 = 3,8	N-N
7:32	Vizuální kontrola dokončené skupiny	PTBSEC	1,0 * 3 * 1 = 3,0	Q-V
7:33	Krok stranou k odkládacímu stolu a zpět	KA	0,9 * 2 * 1 = 1,8	W-K
7:34	Umístit dokončenou skupinu na polici / odkládací stůl	PA1	0,4 * 1 * 1 = 0,4	N-N
8	Přídavné časy	E050	2,0 * 1 * 1,0 = 2,0	
8:35	Přídavný čas pro balení	PTBSEC	1,0 * 2 * 1 = 2,0	L-I



Graf 8 - MTM analýza prac. E050 H. po automatizaci 2 (vlastní zpracování)

PŘÍLOHA P II: VÝPOČET NOVÉHO TAKTU PŘI POUŽITÍ MENŠÍHO POČTU OPERÁTORŮ NA MANUÁLNÍ VARIANTĚ

Tabulka 14 – Určení nového taktu BASIS

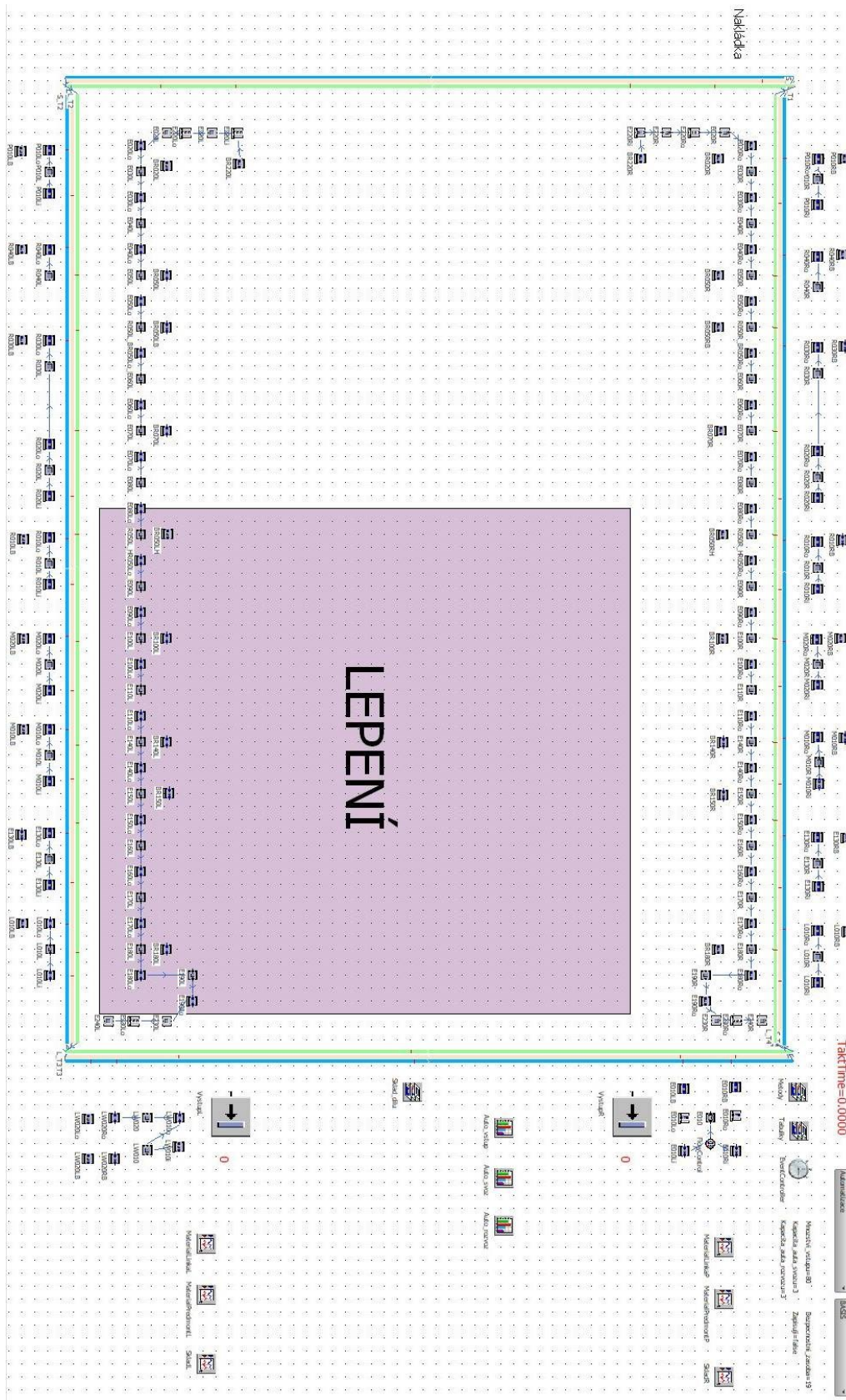
experiment (vlastní zpracování)

Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas	Výpomoc	Čas
E 220	61,9	1	61,9	/	/
E 020	46,4	1	83,3	2	25
E 030	20,3	2	45,3	/	/
E 040	52,3	2	85,6	3	12
E 050	41,6	3	53,6	/	/
R 050	11,1	3	64,7	/	/
E 060	30,5	3	85,2	4	10
E 080	17	4	27	/	/
E 140	54	4	81	/	/
E 150	54,3	5	54,3	/	/
E 160	16	5	70,3	/	/
E 170	21,4	5	76,7	6	15
E 180	23,4	6	38,4	/	/
E 190	13,1	6	51,5	/	/
E 230	23,4	6	74,9	/	/
E 240	65,1	7	65,1	/	/
Předmont.					
R 020	47,25	8	47,25	/	/
R 030	62,35	8	77,6	9	32
R 040	11,1	9	43,1	/	/
P 010	34,8	9	77,9	/	/
E 130	45,9	10	45,9	/	/
L 010	17,4	10	63,3	/	/
E 010	21	11	21	/	/
LW 10	37,9	12	37,9	/	/
LW 20	24,5	12	62,4	/	/
Celkový počet operátorů				12	
BASIS - Před automatizací				Takt	85,6

Tabulka 15 – Určení nového taktu HIGH
experiment (vlastní zpracování)

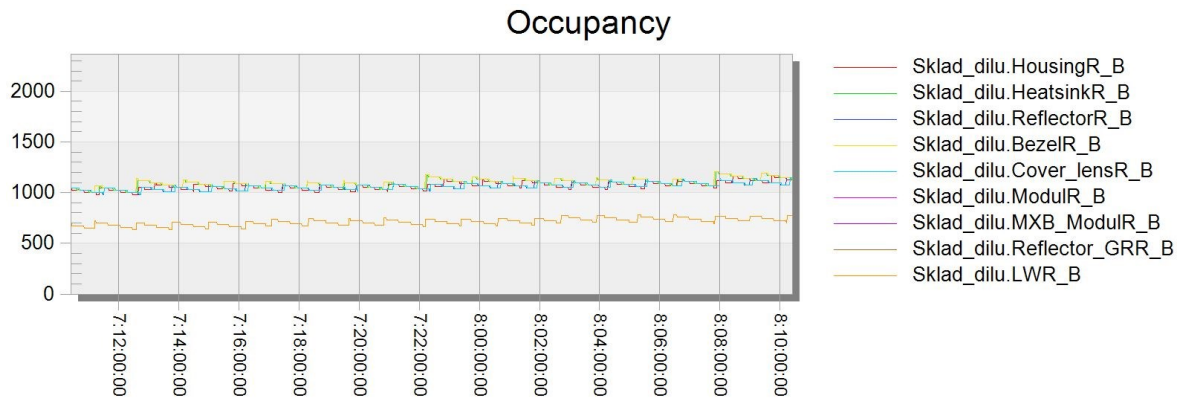
Pracoviště	Ruční čas	Operátor	Čas	Výpomoc	Čas
E 220	61,9	1	61,9	/	/
E 020	63,4	1	95,3	2	30
E 030	39,4	2	69,4	/	/
E 040	50	2	94,4	3	25
E 050	66,9	3	91,9	/	/
E 070	11,1	4	11,1	/	/
E 080	44,9	4	56	/	/
R 050	11,1	4	67,1	/	/
E 090	41,3	4	93,4	5	15
E 100	11,1	5	26,1	/	/
E 110	44,9	5	71	/	/
E 140	54	5	95	6	30
E 150	69,3	6	94,3	7	5
E 160	16	7	21	/	/
E 170	21,4	7	42,4	/	/
E 180	21,4	7	63,8	/	/
E 190	13,1	7	76,9	/	/
E 230	29,2	7	86,1	/	20
E 240	65,1	8	85,1	/	/
Předmont.					
M 010	32,5	9	32,5	/	/
M 020	35,5	9	68	/	/
R 010	22,2	9	90,2	/	/
R 020	30	10	30	/	/
R 030	32	10	62	/	/
P 010	31,8	10	93,8	/	/
E 130	72,8	11	72,8	/	/
L 010	40,5	12	40,5	/	/
E 010	47,2	13	47,2	/	/
LW 010	26	14	26	/	/
LW 020	24,5	14	50,5	/	/
Celkový počet operátorů:				14	
HIGH - Před automatizací				Takt	95,3

PŘÍLOHA P III: LAYOUT ZE SIMULAČNÍHO PROSTŘEDÍ



Obr. 29 – Layout ze simulačního prostředí

PŘÍLOHA P IV: ÚROVEŇ MATERIÁLU NA CENTRÁLNÍM SKLADĚ PŘI VARIANTĚ BASIS (AUTOMATIZACE)



Graf 9 – Centrální sklad BASIS – automatizace (vlastní zpracování)

PŘÍLOHA P V: NÁVRATNOSTI INVESTICE PRO VARIANTY BASIS I HIGH ZVLÁŠŤ

Tabulka 16 - Sumarizace nákladů pro manuální variantu BASIS (vlastní zpracování)

Varianta před automatizací					Jednotky
BASIS					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny	15	30	90		op.
Počáteční investice 18 CB:		0			€
Počet pracovníků:		90			op.
Náklady na jednoho pracovníka /rok:		23700			€
Roční inflace:		4,5			%
Náklady na servis/rok:		0			€
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce (ks)	320 318	320 318	320 318	320 318	320 318
Náklady na pracovníky + inflace + servis (€)	2133000	2228985	2329289	2434107	2543642
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	11669023,84				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	7,29				

Tabulka 17 - Sumarizace nákladů pro aut. variantu BASIS (vlastní zpracování)

Varianta po automatizaci					Jednotky
BASIS					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny	12	24	72		op.
Počáteční investice 18 CB:		776000			€
Počet pracovníků:		72			op.
Náklady na jednoho pracovníka /rok:		23700			€
Roční inflace:		4,5			%
Náklady na servis/rok:		5000			€
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce (ks)	320 318	320 318	320 318	320 318	320 318
Náklady na pracovníky + inflace + servis (€)	1711400	1793413	1879117	1968677	2062267
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	10190873,71				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	6,36				

Tabulka 18 – Návratnosti investice BASIS (vlastní zpracování)

Rozdíl mezi celkovými náklady (€):	1478150
Uspora / 1 KS (€):	0,92
Investice se vrátí (KS)	840804
Investice se vrátí za(rok):	2,62

Tabulka 19 - Sumarizace nákladů pro manuální variantu HIGH (vlastní zpracování)

Varianta před automatizací				Jednotky	
HIGH					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny	19	38	114	op.	
Počáteční investice 18 CB:	0			€	
Počet pracovníků:	114			op.	
Náklady na jednoho pracovníka /rok:	23700			€	
Roční inflace:	4,5			%	
Náklady na servis/rok:	0			€	
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce (ks)	320 318	320 318	320 318	320 318	320 318
Náklady na pracovníky + inflace + servis (€)	2701800	2823381	2950433	3083203	3221947
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	14780763,54				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	9,23				

Tabulka 20 - Sumarizace nákladů pro aut. variantu HIGH (vlastní zpracování)

Varianta po automatizaci				Jednotky	
HIGH					
Počet pracovníků Strana/Směna/3 směny	14	28	84	op.	
Počáteční investice 18 CB:	776000			€	
Počet pracovníků:	84			op.	
Náklady na jednoho pracovníka /rok:	23700			€	
Roční inflace:	4,5			%	
Náklady na servis/rok:	5000			€	
VÝPOČET					
ROK	1	2	3	4	5
Produkce (ks)	320 318	320 318	320 318	320 318	320 318
Náklady na pracovníky + inflace + servis (€)	1995800	2090611	2189688	2293224	2401420
Výpočet nákladů na 1 KS					
Součet nákladů za 5 LET (€)	11746743,55				
Počet prodaných ks za 5 let (ks)	1 601 590				
Náklady na 1KS (€)	7,33				

Tabulka 21 – Návratnost investice HIGH (vlastní zpracování)

Rozdíl mezi celkovými náklady (€):	3034020
Uspora / 1 KS (€):	1,89
Investice se vrátí (KS)	409633
Investice se vrátí za(rok):	1,28