

Projekt optimalizace montážní linky v podniku SCHOTT CR, s.r.o. divizi Lighting and Imaging

Bc. Jiří Zálešák

Diplomová práce
2014

 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: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří Zálešák
Osobní číslo: M12935
Studijní program: N6209 Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor: Průmyslové inženýrství
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Projekt optimalizace montážní linky v podniku SCHOTT CR, s.r.o. divizi Lighting and Imaging

Zásady pro vypracování:

Úvod

I. Teoretická část

- Zpracujte literární rešerši vztahující se k dané problematice jako východisko pro zpracování praktické části diplomové práce.

II. Praktická část

- Provedte analýzu současného stavu vybraného výrobního procesu ve firmě Schott CR, s.r.o. a formulujte jeho hlavní nedostatky.
- Vypracujte projektové řešení vedoucí ke zvýšení efektivity výrobního procesu.
- Zhodnoťte přínosy navrženého řešení.

Závěr

Rozsah diplomové práce: cca 70 stran
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

BOBÁK, R., TUČEK, D. Výrobní systémy. 2. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 298 s. ISBN 80-7318-381-1.

MAŠÍN, I. Východový slovník průmyslového inženýrství a štihlé výroby. 1. vyd. Liberec: Institut technologií a managementu, 2005. 106 s. ISBN 80-903533-1-2.

MAŠÍN, I., VYTLAČIL, M. Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. 311 s. ISBN 80-902235-6-7.

LIKER, J. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004. 330 s. ISBN 0-07-139231-9.

ROTHER, M., SHOOK J. Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. Cambridge: Lean Enterprise Inst., 2003. 102 s. ISBN 0-9667843-0-8.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dobroslav Němec**
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů
Datum zadání diplomové práce: **22. února 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. května 2014**

Ve Zlíně dne 22. února 2014

prof. Dr. Ing. Drahomíra Pavelková
děkanka



prof. Ing. Felicita Chromjaková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA

DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- odevzdáním diplomové 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 obhajoby¹;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému,
- na mou diplomovou 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. 3²;
- podle § 60³ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

¹ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

- (1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.
- (2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.
- (3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

² 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, § 35 odst. 3:

- (4) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³ 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, § 60 Školní dílo:

- (1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

- podle § 60⁴ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Prohlašuji, že:

- jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použité informační zdroje jsem citoval;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 7. 4. 2014



⁴ 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, § 60 Školní dílo:

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je analyzovat výrobní proces montážní linky Endoskopie ve společnosti Schott CR, s.r.o., divizi Lighting and Imaging, z hlediska možnosti využití prvků průmyslového inženýrství a navrhnout opatření pro jeho optimalizaci.

Tato práce se ve své úvodní části zabývá představením koncernu Schott, organizačním členěním obchodní jednotky Lighting and Imaging, strukturou a charakterem výrob i jejím výrobním portfoliem. Dále zahrnuje analýzu konkrétního výrobního procesu a identifikaci jeho úzkého místa. V závěru analytické části doporučuje návrhy na jeho zefektivnění. V projektové části jsou ověřována a vyhodnocována navrhovaná řešení za pomoci simulace výrobního systému a rozpracovány jednotlivé kroky vedoucí k realizaci projektu.

Klíčová slova: simulace, úzké místo, mapování toku hodnot, výrobní proces, OEE

ABSTRACT

The goal of this master thesis is to analyse and optimize the production process within an Endoscopy assembly line in the company Schott CR, s.r.o., division Lighting and Imaging. The thesis focuses on possibility of using methods of industrial engineering as well as to suggest measures for production process improvement.

The thesis starts with introduction of the business concern Schott followed by organisation scheme of the business unit Lighting and Imaging and range of products offered. Analysis of designated production process and identification of its bottleneck comes after. Recommended actions for increase of the process efficiency as well as verification of suggested measures with help of simulation software are placed in the final project part.

Keywords: simulation, bottleneck, value stream mapping, production process, OEE

Děkuji panu Ing. Dobroslavu Němcovi, Ing. Michalu Pivníčkovi a Ing. Jaroslavu Pavelovi za poskytnutou podporu při zpracování mé diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TOC (THEORY OF CONSTRAINTS)	12
1.1 TEORIE OMEZENÍ	12
1.2 MANAGEMENT ÚZKÝCH MÍST	12
1.2.1 Koncept Drum-Buffer-Rope	14
1.3 METRIKY TOC	15
2 VALUE STREAM MAPPING (VSM)	16
2.1 ÚROVNĚ ANALÝZY HODNOTOVÉHO TOKU	17
2.2 PRINCIPY MAPOVÁNÍ HODNOTOVÉHO TOKU	18
2.2.1 Výběr reprezentanta pro rodinu produktů	18
2.2.2 Znázornění současného stavu.....	18
2.2.3 Znázornění budoucího stavu	21
2.2.4 Formy plýtvání z hlediska hodnotového toku	21
2.2.5 Identifikace potenciálních zlepšení a plán implementace	23
2.3 OMEZENÍ A RIZIKA	23
3 NÁSTROJE K IDENTIFIKACI A ELIMINACI PLÝTVÁNÍ	24
3.1.1 ABC analýza	24
3.1.2 Měření práce a pozorování	24
3.1.3 Celková efektivita zařízení CEZ (OEE).....	26
3.1.4 Vybalancování kapacit	27
4 VYUŽITÍ SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ PRO TVORBU MODELŮ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ	28
4.1 DYNAMICKÁ SIMULACE PROCESŮ.....	28
4.2 TVORBA MODELU	29
4.3 OPTIMALIZACE V SIMULACI.....	32
4.4 STRUKTURA SYSTÉMU	33
4.4.1 Základní objekty v simulačním software Tecnomatix Plant Simulation	34
5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁST	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
6 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI	37
6.1 KONCERN SCHOTT	37
6.2 SPOLEČNOST SCHOTT CR V ČESKÉ REPUBLICCE	37
6.3 DIVIZE LIGHTING AND IMAGING.....	38
6.4 VÝROBNÍ PROGRAM DIVIZE LIGHTING AND IMAGING.....	40
6.4.1 Segment Doprava	40
6.4.2 Segment Osvětlení	40
6.4.3 Segment Průmyslové aplikace a mikroskopie.....	41
6.4.4 Segment Medicína.....	41
6.5 PROCESNÍ STRUKTURA LIGHTING AND IMAGING	42
7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU MONTÁŽNÍ LINKY PRO ENDOSKOPII	43

7.1	CHARAKTERISTIKA ANALYZOVANÉ VÝROBNÍ LINKY	43
7.2	VÝCHODISKA PRO ANALÝZU	44
7.2.1	Rekapitulace zjištěných skutečností.....	46
7.3	VÝROBNÍ PROCES	46
7.3.1	Vstupní materiál	46
7.3.2	Strojní vybavení montážní linky	47
7.3.3	Technologický postup	48
7.3.4	Layout linky	50
7.4	MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT	52
7.4.1	Náměr cyklových časů	52
7.4.2	Celková efektivita klíčových zařízení OEE	54
7.4.3	Analýza náběhu směny	56
7.4.4	Snímek pracovního dne operátorů	56
7.4.5	Mapa toku hodnot	60
7.5	VYVÁŽENÍ LINKY	62
8	SHRNUTÍ ANALYTICKÉ ČÁSTI	63
9	PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ ZLEPŠENÍ STAVU VÝROBNÍHO PROCESU	65
9.1	ZADÁNÍ A DEFINOVÁNÍ PROJEKTU	65
9.2	NÁVRH POSTUPU A NÁSTROJ PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ	66
9.2.1	Tvorba a dokumentace základního modelu.....	68
9.2.2	Omezení modelu	71
9.2.3	Verifikace základního modelu	72
9.3	OPATŘENÍ NA ELIMINACI ÚZKÉHO MÍSTA – SIM. EXPERIMENT 1 - 6.....	73
9.3.1	Varianta 1 - nákup přípravků s větším množstvím pozic.....	74
9.3.2	Varianta 2 – nákup nového stroje.....	76
9.3.3	Varianta 3 – repase stávajícího strojního zařízení.....	78
9.3.4	Zhodnocení variant.....	81
9.4	ZKRÁCENÍ PRŮBĚŽNÉ DOBY VÝROBY ZAKÁZKY – SIM. EXPERIMENT 7 - 11.....	82
9.4.1	Změna velikosti výrobní dávky.....	82
9.4.2	Vybalancování operací.....	84
9.5	NOVÝ LAYOUT MONTÁŽNÍ LINKY	87
10	ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ.....	90
10.1	PŘÍNOSY PROJEKTU	90
10.2	FINANČNÍ VYHODNOCENÍ	92
	ZÁVĚR	93
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	95
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	99
	SEZNAM TABULEK.....	101
	SEZNAM PŘÍLOH.....	102

ÚVOD

Konkurenceschopnost průmyslových podniků klade v současném světě důraz na neustálé hledání cest, jak využívat své zdroje efektivněji. Oblast průmyslového inženýrství skýtá množství nástrojů, pomocí kterých lze zvýšit produktivitu ve všech jejích podobách a optimalizovat podnikové procesy. Výrobní proces je v každém průmyslovém podniku jiný, mnohdy složitý s množstvím navzájem provázaných prvků. Cíl zvýšit firemní konkurenceschopnost může být dosažen jen v případě, když dokážeme tento proces do detailu prostudovat a odhalit jeho slabá místa. To však často již není možné provést tradičními přístupy a proto je nutné se zamyslet nad novými modernějšími cestami, kterými lze tohoto cíle dosáhnout.

Cílem diplomové práce je provést analýzu současného stavu vybraného výrobního procesu ve firmě Schott CR, s.r.o., formulovat jeho nedostatky a navrhnout řešení vedoucí k jeho zefektivnění.

Teoretická část je jednak směřována k představení nástrojů pro zvyšování výkonnosti podniků pomocí identifikace plýtvání a eliminace úzkých míst v procesu, ale také k možnostem využití softwarových nástrojů pro tvorbu modelů výrobních systémů.

V úvodu praktické části je představena výrobní společnost Schott CR, s.r.o., divize Lighting and Imaging. Další část je věnována analýze současného stavu výrobního procesu montážní linky pro endoskopii pomocí metody mapování hodnotových toků. Na základě identifikovaných zdrojů plýtvání a zjištěného úzkého místa procesu je vymezen cíl projektu. V projektové části jsou ověřována navržená opatření dynamickou simulací výrobního systému za pomoci simulačního softwaru Tecnomatix Plant Simulation.

Závěr diplomové práce bude věnován zhodnocení přínosů zamýšlených řešení v optimalizaci montážní linky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TOC (THEORY OF CONSTRAINTS)

1.1 Teorie omezení

Metoda TOC představuje manažerskou filozofii, která je charakterizována netradičním způsobem myšlení a řešení problémů. Je to nástroj, který je zaměřen na růst výkonnosti podniků a zvyšování hodnot podnikových cílů. Její hlavní myšlenkou je to, že každý systém obsahuje úzké místo. Pokud by toto úzké místo neexistovalo, mohl by systém (podnik) dosahovat neomezeného cíle. (Goldratt CZ)

Základy metody položil E. Goldratt, který definoval její principy v knize *The Goal*. Oblast zájmu této metody nejprve směřovala do oblasti úzkých míst ve výrobních systémech, později se rozšířila i na systémy nevýrobní. TOC se tedy pomocí vhodných nástrojů snaží o nalezení omezení v systému a o maximalizaci průtoku tímto úzkým místem. Omezení můžeme hledat v oblastech podniku jako jsou např. výrobní zdroje, distribuce, marketing nebo prodej (Tuček, Bobák, 2006, s. 90 - 91). Košturiak a Frolík (2006, s. 49) zmiňují také atributy jako jsou čas nebo negativní postoje lidí v podobě neochoty, napětí nebo slabé komunikace.

Všeobecně můžou být omezení rozdělena do tří kategorií:

- fyzická omezení jako jsou stroje, lidé, hmotné zdroje nebo zařízení
- omezení v řízení ve formě nevhodně nastavených pravidel, směrnic
- omezení v chování lidí v podobě přesvědčení, které svým charakterem způsobují omezení v řízení (Košturiak a Frolík, 2006, s. 49)

Kromě identifikace a řízení úzkého místa v systému mohou být dalším přínosem aplikace metody TOC např. zvýšení ziskovosti podniku, cíleně orientovaný systém zlepšování nebo zavedení průtokového účetnictví, případně vyhodnocování ziskovosti na úrovni jednotlivých zakázek. (Krišťak, 2012)

1.2 Management úzkých míst

Pokud v podniku existuje omezení, které brání ve zvýšení jeho výkonnosti nebo v dosažení stanovených cílů, je potřeba využít metodický postup, který povede k jeho identifikaci. Tento postup je tvořen pěti na sebe navazujícími kroky:

- **Identifikace omezení** – v tomto kroku analyzujeme systém, který brání v dosažení maximálního zisku a určíme jeho charakter (omezení fyzické, manažerské). Fyzické ome-

zení může být identifikováno např. pomocí vysokých zásob, dlouhých operačních časů, atd.

Při vyhledávání omezení můžeme využít nástrojů metody TOC, což je vhodné zejména, když podnik trpí množstvím negativních jevů. Analýza klíčových problémů nám pomůže rychle se mezi nimi zorientovat a pochopit souvislosti. Dále se nabízí varianta hledání úzkého místa dle příznaků, což je částečně založeno na kombinaci naší intuice a zkušeností. Jako úzké místo je možné tímto způsobem identifikovat výrobní operaci, před kterou se hromadí zásoby. Další možnosti jsou kapacitní propočty, které jsou statistickým vyjádřením vytížení úzkého místa za časovou jednotku. Vhodným nástrojem k dynamické analýze úzkých míst je i počítačová simulace.

- **Maximální využití daného omezení** – zde se snažíme o odstranění podstaty omezení a snažíme se úzké místo co nejefektivněji využít bez dodatečných investic.

Při omezení uvnitř podniku jde nejčastěji o aktivity jako je např. školení obsluhy nebo eliminace různých druhů plýtvání. Pokud jsou úzkým místem strojní zařízení, je vhodné provést měření využití průtoku prostřednictvím vhodně zvoleného ukazatele (např. CEZ), analyzovat poruchovost a snížit přetypovací časy zařízení.

- **Podřízení všech ostatních prvků v systému danému rozhodnutí** – všechno úsilí soustředíme na zlepšení výkonnosti omezení.

Většinou je zapotřebí zajistit ochranu úzkého místa tak, aby toto úzké místo „nehladovělo“. To lze provést pomocí časového zásobníku, který představuje rozdíl času mezi plánovaným a skutečným příchodem zakázky na úzké místo. V případě záporné hodnoty nebude mít úzké místo na čem pracovat. To mohou způsobit např. příliš nízké zásoby. Naopak příliš vysoké zásoby prodlužují průběžnou dobu výroby a pohlcují kapitál. Vhodnou metodou ke stanovení správné velikosti časových zásobníků je systém DBR (Drum-Buffer-Rope). Další úkony spočívají např. v zabezpečení kvality před úzkým místem, v zajištění toho, aby úzké místo neustále pracovalo, ve změně velikosti dávky nebo přemístění části práce z úzkého místa na jiné zdroje.

- **Odstranění omezení** – v tomto kroku hledáme řešení jak odstranit omezení. Nejčastěji toho lze dosáhnout novou investicí nebo modifikací systému.

Při tomto kroku se snažíme navrhnout více možností k odstranění úzkého místa. Stejně tak nás i zajímá, kam se úzké místo po odstranění omezení přesune a to z toho důvodu, že řídit nové omezení může být větším problémem než to současné.

- Po odstranění omezení se **vrátíme k prvnímu bodu**, což je základem procesu neustálého zlepšování. (Košturiak a Frolík, 2006, s. 51, 53 - 57)

Tuček a Bobák (2006, s. 94) doplňují tyto kroky ještě o další dva, které zdůrazňují vzájemnou souvislost mezi hledáním omezení a jeho vazbou na definovaný cíl. Jde o:

- Krok „0“, který stanoví cíle systému s jeho typickými vlastnostmi
- Krok „0,5“, který určí způsob měření pokroku směrem k dosažení cíle

1.2.1 Koncept Drum-Buffer-Rope

Metoda DBR je postavena na maximalizaci průtoku. Tento koncept je založen na regulaci úkolů, které do systému vstupují, podle požadavků úzkého místa procesu. Úzké místo udává tempo celému výrobnímu systému v podobě bubnu (Drum). Od jeho činnosti se odvíjí i práce ostatních pracovišť. Při tvorbě plánu bubnu je třeba vzít úvahu několik faktorů. Jde o:

- Kritická místa výroby
- Priority práce na pracovištích
- Určení priorit výroby
- Velikost procesních a přepravních dávek (Tuček a Bobák, 2006, s. 98)

Pomocí lana (Rope) je úzké místo spojeno se vstupem materiálu do výrobního systému. Funkce lana spočívá v tom, že zajistí, aby:

- Materiál nebyl uvolňován příliš brzy
- Nevznikaly mezioperační zásoby
- Předcházející stroje pracovaly na správných zakázkách (Tuček a Bobák, 2006, s. 100)

Pokud by nějaká činnost před úzkým místem v systému byla narušena, ovlivnilo by to následně vytíženost úzkého místa. Z toho důvodu se před kritická místa umísťují zásobníky (Buffer), které chrání plnění výrobního úkolu před těmito nenadálými výpadky. Zásobníky se mohou vyskytovat v následujících podobách:

- Časový zásobník – ochrana úzkého místa v podobě zajištění dosažené plánovaného bodu výroby o plánovaný časový úsek dříve.
- Kusový zásobník – představuje zásoby hotových výrobků nebo rozpracované výroby, která v případě krátkých dodacích termínů zaručí splnění zákaznických objednávek dříve než je průběžná doba výroby.
- Montážní zásobník – zabezpečuje, aby na montážním pracovišti následujícím po úzkém místě byly v předstihu připraveny všechny ostatní komponenty. (Tuček a Bobák, 2006, s. 100; Košturiak a Frolík, 2006, s. 56)

1.3 Metriky TOC

Mezi autory panuje shoda v tom, že bychom měli vědět, jaká výsledky aplikace TOC přinese nejen na podnikové, ale i na provozní úrovni. Na podnikové úrovni jsou k tomuto účelu využívány následující ukazatele:

- Cash flow
- Čistý zisk
- Návratnost investic (Krišťak, 2012; Tuček a Bobák, 2006, s. 92; Košturiak a Frolík, 2006, s. 51)

Dále tito autoři definují tři základní metriky, na které je nutno se při zlepšování procesů soustředit na úrovni provozní. Jde o:

- Průtok – představuje měřítko finanční výkonnosti firmy. Vypočítá se jako hodnota prodeje za určité období mínus hodnota nákupu vybraných položek za toto období.
- Zásoby – lze definovat jako množství peněz, jenž jsou ukryty v systému, aby mohl produkovat. Jde např. o zásoby materiálu, rozpracovanou výrobu nebo i pomocné materiály.
- Provozní náklady – množství peněz, které je nutno vkládat do systému, aby mohly být zásoby transformovány na prodejné produkty, tzn. fixní náklady. (Krišťak, 2012; Tuček a Bobák, 2006, s. 92; Košturiak a Frolík, 2006, s. 51)

Košturiak a Frolík (2006, s. 53) dále dodávají, že teoreticky sice můžeme dosáhnout nulových zásob a provozních nákladů, ale z praktického hlediska je průtok vždy omezen velikostí trhu. Proto je potenciál ve zvýšení průtoku vždy větší než potenciál ve snížení zásob.

2 VALUE STREAM MAPPING (VSM)

Management hodnotového toku je jednou z forem integrace procesního a průmyslového inženýrství, který slouží jako základní nástroj pro analýzu plýtvání ve výrobních procesech, logistice, vývoji či administrativě. Mimo to ale dále umožňuje i plánování změn v toku hodnot a modelování žádoucího stavu, což přispívá ke zlepšování procesů. (Mašín, 2003, s. 7).

Liker (2004, s. 287) vidí využití této metody při zlepšení jakékoliv složitější provozní činnosti a to z toho důvodu, že komplexně zahrnuje celý systém. Dále dodává, že tato metoda byla převzata z diagramů materiálových a informačních toků firmy Toyota. Její autoři (Rother a Shook, 2003, s. 12) považují tento nástroj za významný zejména z těchto důvodů:

- Pomáhá vidět celý tok tím, že se nezaměřuje pouze na jeden proces
- Pomáhá identifikovat plýtvání v procesu a jeho zdroje
- Využívá jednotný jazyk při mapování výrobních procesů
- Umožňuje vizualizovat spojení mezi informačními a materiálovými toky, což žádný jiný nástroj neumí
- Vytváří základ pro plán implementace nápravných opatření
- Je užitečnější než mnohé kvantitativní nástroje, protože umožňuje detailně popsat jak by měl vypadat proces, aby vytvořil tok

Mašín (2003, s. 10) zdůrazňuje i časový faktor při analýze hodnotového toku, který se odráží zejména v následujících aspektech:

- Času, kdy je hodnota přidávána
- Průběžné doby, po kterou produkt vzniká
- Poměru času přidávání hodnoty a průběžné výroby
- Počtu procesních kroků, kdy je hodnota přidávána, aj.

Jedním z hlavních výstupů mapy je tzv. VA-index, neboli index přidané hodnoty. Je to poměr času, ve kterém je výrobku přidávána hodnota vůči celkové průběžné době, po kterou vzniká (Mašín, 2005, s. 86). Dlabač (2011) uvádí i další, neméně důležité výstupy, jako jsou informace o stavu a počtu skladů a meziskladů nebo identifikování úzkých míst v procesu.

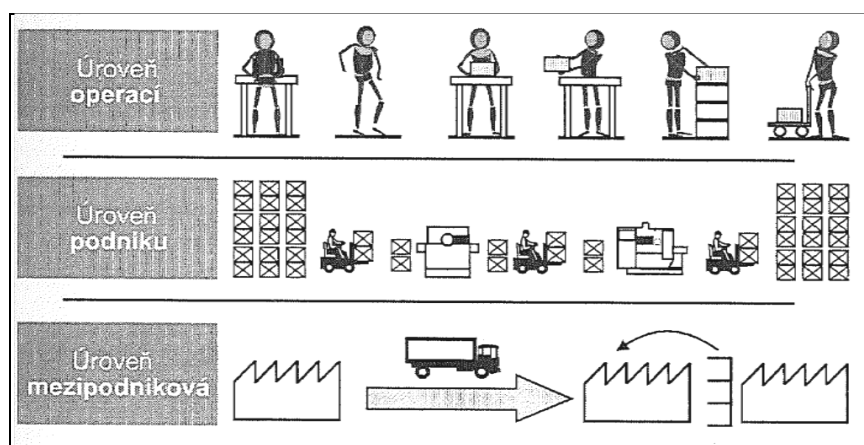
Podle Košťuriaka a Frolíka (2006, s. 45) je využití této metody vhodné zejména když se uvažuje o zavedení nového výrobku, když jsou u výrobku plánovány změny, když se navrhuje nové procesy či nový způsob rozvrhování. Obecně pak v těchto případech:

- Při výrobě s dostatečnou opakovatelností a rovnoměrností
- Při mapování procesů ve výrobě
- Při mapování průběhu operace
- Při mapování procesů mezi podniky
- Při mapování průběhu administrativních a vývojových procesů

2.1 Úrovně analýzy hodnotového toku

Při analýze hodnotového toku je možno se zaměřit na tři úrovně mapování (viz. obrázek 1). Úroveň operací nám ukáže, co se děje v procesním času pracoviště a jak jsou vybalancována jednotlivá pracoviště. Mašín (2003, s. 29, 30) uvádí, že tato úroveň úzce souvisí s mírou efektivity lidské práce, která je na této úrovni vykonávána. Aby bylo možno rozlišit úkony, které výrobku přidávají hodnotu od těch, které hodnotu nepřidávají, doporučuje využít metod měření práce. Tyto metody rovněž identifikují plýtvání, které nevytváří hodnotu a nejsou tudíž bezpodmínečně nutné pro vykonání práce. Jde o následující metody:

- Přímé měření práce
- Měření práce pomocí předem určených časů
- Balancování pracovišť Mašín (2003, s. 29, 30)



Obrázek 1 Tři úrovně studia hodnotových toků (Mašín, 2003, s. 27)

Mašín (2003, s. 44) dále poznamenává, že detailní analýza procesů na této úrovni je základem pro optimalizaci pracovišť i lidské práce a jako taková je nezbytná. Je rovněž výcho-

diskem pro mapování toku hodnot na úrovni podniku, tj. od „vrat k vratům“ i mezipodnikové úrovni - „od suroviny ke spotřebiteli“.

2.2 Principy mapování hodnotového toku

Postup mapování hodnotového toku na podnikové úrovni zahrnuje několik kroků. Literární prameny se shodují v následujícím všeobecném postupu:

- Výběr reprezentanta
- Znázornění současného stavu
- Znázornění budoucího stavu
- Plán realizace (Mašín, 2003, s. 46; Košturiak a Frolík, 2006, s. 45)

2.2.1 Výběr reprezentanta pro rodinu produktů

Tento krok je nutný z toho důvodu, protože je většinou nemožné zachytit v mapě veškeré výrobní portfolio. K tomuto účelu se využívá například ABC analýza. Dále je vhodné postupovým diagramem definovat charakteristický technologický postup. (Košturiak a Frolík, 2006, s. 45)

Rother a Shook (2003, s. 14) při širokém sortimentu výroby doporučují orientovat se jen na jednu výrobní řadu. Zaznamenat si počet typů výrobku v této řadě, jaké množství je požadováno zákazníkem a jak často.

2.2.2 Znázornění současného stavu

Mapování současného stavu má ustálený postup, který vede k zobrazení aktuálního stavu toku hodnot daného procesu. K tomu je nutno na základě zjištěných zákaznických požadavků vypočítat dobu taktu a zaznamenat aktuální údaje o procesu a jednotlivých operacích. Jde zejména následující informace:

- Doba taktu – čistý pracovní fond za období/počet požadovaných výrobků za období
- Aktuální čas cyklu – čas, který uběhne mezi tím, co proces opustí po dva po sobě jdoucí kusy
- Celková efektivita zařízení – CEZ (OEE)
- Čas přetypování – čas potřebný k přetypování z jednoho výrobku na druhý
- Časový fond pracoviště – čas směny snížený o zákonné přestávky
- Počet operátorů a pracovišť

- Typ balení
- Procesní rychlost – čas cyklu je díky ztrátám většinou větší než cyklový čas
- Čas dostupnosti zařízení
- Velikost výrobní dávky
- Stav rozpracované výroby v procesech a v místech skladování (Mašín, 2003, s. 42, 46; Linköping University, 2014, s. 41)

Zjištěný stav mezioperačních zásob vydělíme denní potřebou zákazníka, kterou jsme získali výpočtem doby taktu. Výsledné hodnoty jsou nezbytné pro stanovení celkové průběžné doby výroby, resp. výpočet VA-indexu (Mašín, 2003, s. 42). Rother a Shook (2003, s. 38) dodávají, že čím kratší je průběžná doba výroby, tím větší je obrátkovost zásob, což vede ke snížení velikosti kapitálu vázaného v mezioperačních zásobách.

Po sběru dat a výpočtu výše uvedených parametru přichází na řadu tvorba samotné mapy toku hodnot. Pro její popis se využívá celá řada standardizovaných ikon, které jsou zařazeny do tří kategorií – viz. obrázek 2. (Mašín, 2003, s. 45).

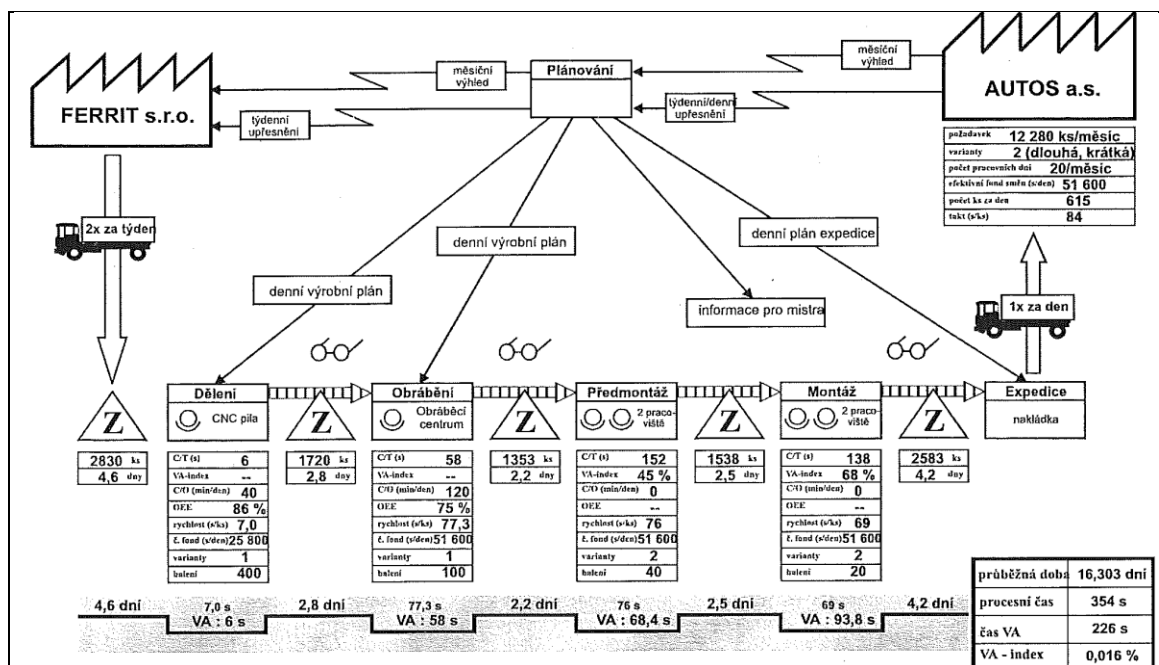
Ikony pro materiálový tok			
Externí zdroje 	Proces 	Data o procesu 	Zásoby
Transport 	Tok hotových výrobků 	Pohyb tlakem 	Pohyb tahem
Supermarket 	Vyrovňovací zásoba 	Bezpečnostní zásoba 	
Ikony pro informační tok			
Manuální informování 	Elektronická informace 	Typ informace 	Inventurní plánování
Výrobní kanban 	Dopravní kanban 	Signální kanban 	Kanbanová schránka
Heijunka 	Heijunka-správce 	FIFO 	Výrobní mix
Všeobecné ikony a symboly			
Operátor 	Výrobní buňka 	Počítačová podpora 	Příležitost ke zlepšení
VA-linka 			

Obrázek 2 Základní ikony pro mapování toku hodnot na podnikové úrovni (Mašín, 2003, s. 46)

Mašín (2003, s. 47 - 48) popisuje tvorbu mapy následujícím způsobem. Mapa začíná nakreslením ikony pro externího zákazníka a to vždy do pravého horního rohu. Současně jsou pod touto ikonou do tabulky dat zaznamenány všechny zjištěné údaje o požadavcích zákazníka. Do levého horního rohu je přikreslena ikona pro externího dodavatele. Pomocí dalších procesních ikon je směrem zleva doprava zaznačen sled procesních kroků. Tabulky dat jednotlivých procesů obsahují dříve zjištěné údaje. Po znázornění procesů přicházejí na řadu zásoby. V místech, kde byly lokalizovány, jsou do mapy nakresleny ikony zásob a také údaj o jejich velikostech ve dnech. Poté přichází na řadu znázornění externího transportu a pomocí ikon pro informační tok vyznačení systému a formy plánování. Jako poslední je do spodní části znázorněna VA-linka. Tím je mapa současného stavu dokončena (viz. obrázek 3).

Na závěr je nutno provést výpočet základních údajů o hodnotovém toku, který obsahuje:

- Celkovou průběžnou dobu výroby
- Celkový procesní čas
- Čas přidávání hodnoty
- VA-index (Mašín, 2003, s. 47 - 48)



Obrázek 3 Příklad výsledné mapy hodnotového toku – současný stav (Mašín, 2003, s. 54)

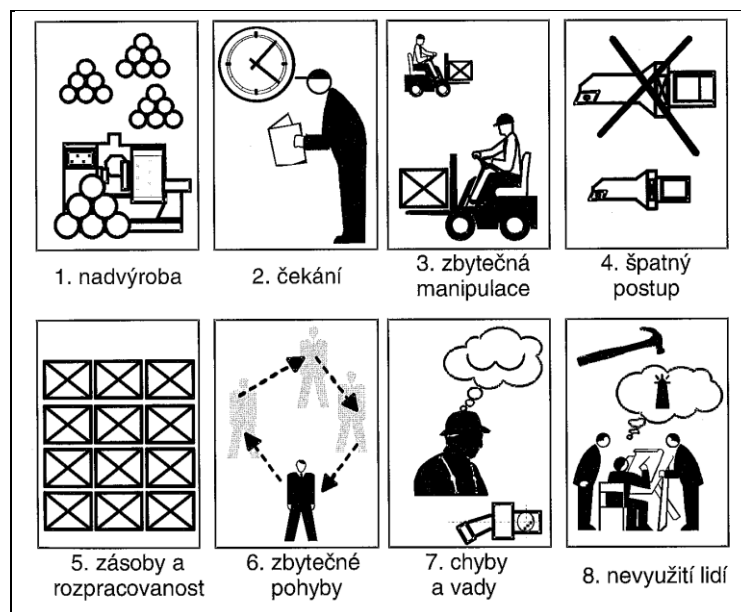
2.2.3 Znázornění budoucího stavu

Smyslem tohoto kroku je zlepšení základních parametrů hodnotového toku, mezi které patří například uspokojení zákaznických potřeb, zkrácení celkové průběžné doby výroby, snížení stavu zásob a zvýšení obrátkovosti zásob, snížení rozpracované výroby, optimalizace velikosti dávek nebo zvýšení VA-indexu. (Mašín, 2003, s. 55)

Rother a Shook (2003, s. 63) vidí smysl tvorby mapy budoucího toku hodnot ve zviditelnění zdrojů plýtvání a realizaci návrhů na jejich eliminaci. Preferují změny, které jdou realizovat v krátkém časovém horizontu a které způsobí, že každý proces bude co nejbližší tvrzení, že bude skutečně vyráběno jen to, co zákazník potřebuje a když to zrovna potřebuje.

2.2.4 Formy plýtvání z hlediska hodnotového toku

Protože základním kamenem hodnotového toku je eliminace plýtvání ve všech jeho formách, je nutno zde uvést jejich klasifikaci. Obrázek 4 znázorňuje osm druhů plýtvání ve výrobních procesech. (Mašín a Vytlačil, 2000, s. 45)



Obrázek 4 Osm druhů plýtvání ve výrobních procesech
(Mašín a Vytlačil, 2000, s. 45)

Tvorba budoucí mapy úzce souvisí s požadavky zákazníka. Pokud jim porozumíme, lze skrz výběr a aplikaci vhodných metod eliminovat ty druhy plýtvání, které mají největší vliv na spokojenost zákazníka. (Linköping University, 2014, s. 57)

Pokud se na plýtvání podíváme z hlediska hodnotového toku, zjistíme, jaké následky mohou mít jeho jednotlivé druhy na přidanou hodnotu:

- **Zbytečné pohyby** – souvisejí s ergonomií jak v případě lidské práce, tak i práce strojů. Nevhodné ergonomické řešení negativně ovlivňuje produktivitu, kvalitu i bezpečnost. Počet opakování, pracovní postoj a vyvíjená síla závisí na uspořádání pracoviště. Při nižší produktivitě klesá VA-index.
- **Čekání** – nastává v případě, že pracovník musí čekat na dodání materiálu nebo dokončení cyklu stroje. Čekání prodlužuje průběžnou dobu výroby, která je kritickým parametrem štihlé výroby.
- **Zbytečná manipulace** - zahrnuje například zbytečné plýtvání ve formě zbytečné manipulace z důvodu nevhodného layoutu nebo existence dávkové výroby. Manipulace je v podniku nutným zlem, měla by však být minimalizována, aby zbytečně neprodužovala průběžnou dobu výroby.
- **Chyby a vady (opravy)** – plýtvání ve formě nápravy neshodných polotovarů či dílů. Zvyšuje náklady, za kterých je dosahována hodnota pro zákazníka. Cílem je eliminovat toto plýtvání přes aplikování nástrojů pro plánování a řízení jakosti.
- **Špatné postupy** – tento druh plýtvání se vyskytuje tam, kde se provádí něco navíc, co zákazník nevyžaduje. Takovéto postupy jsou v rozporu z hlediska hodnotového pohledu.
- **Zásoby a rozpracovanost** – toto plýtvání zahrnuje udržování nepotřebných surovin, zásob, dílů a rozpracovanosti vzhledem k zákaznickým požadavkům. Příčinou je fakt, že plánované potřeby zákazníků se od těch aktuálních mohou odlišovat. Náklady s udržováním zásob ovlivňují negativně hodnotu.
- **Nadvýroba** – aktivity, které nejsou tržně zhodnoceny. Je spojena s řadou nákladových položek a umocňuje výše uvedené druhy plýtvání. Nadvýroba znehodnocuje hodnotu ve formě poměru užitku ke vloženým nákladům.
- **Nevyužívání znalostí** – objevuje se tam, kde není zajištěno dostatečné využití schopností zaměstnavatelem. Brzdí tok myšlenek, předávání know-how a tvorbu námětů na zlepšení. Toto plýtvání může v důsledku vést k promarnění šance na zlepšení hodnotových toků. (Mašín, 2003, s. 18-19)

2.2.5 Identifikace potenciálních zlepšení a plán implementace

Žádoucí budoucí stav je zaznamenán pomocí mapy budoucího stavu, kde jsou znázorněna potenciální zlepšení. Ty jsou do mapy zakresleny pomocí speciální ikony v oblastech informačních, materiálových nebo informačních toků. Identifikování těchto potenciálních zlepšení znamená hledání možností uplatnění metod průmyslového inženýrství, jako jsou například:

- Integrace operací do výrobních buněk
- Tok jednoho kusu
- Tahový systém řízení (Kanban)
- Rychlé změny (SMED)
- Balancování linek
- Vizuální řízení a kontrola
- Standardizace operací, aj. (Mašín, 2003, s. 55; Rother a Shook, 2003, s. 96)

Další postup je obdobný jako u tvorby mapy současného stavu s tím rozdílem, že na závěr jsou vypočteny hodnoty charakterizující nový návrh toků. Porovnání současných a navrhovaných budoucích stavů upravovaných parametrů v ideálním stavu vyústí v harmonogram prováděných změn a následnou realizaci. (Mašín, 2003, s. 56)

Akční plán by měl být pravidelně revidován z hlediska plnění úkolů. Kontrolní schůzky mohou být dobrou příležitostí k diskusi ohledně případných problémů a poskytují managementu možnost k podpoře prováděných aktivit. (Linköping University, 2014, s. 57)

2.3 Omezení a rizika

Pro úplnost je nutno ještě zmínit, jaká omezení a rizika plynou z aplikace výše popsané metody. Košturiak a Frolík (2006, s. 46) uvádějí tyto:

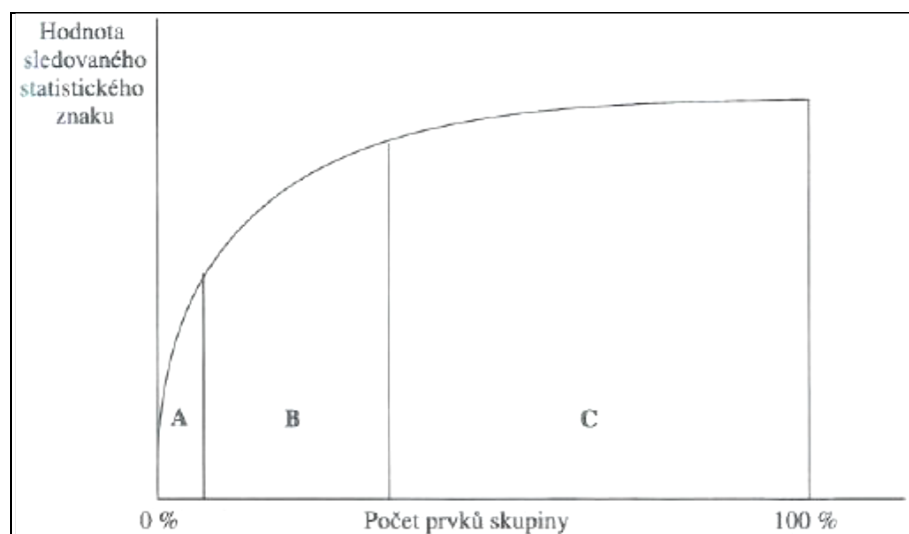
- Problematické využití při proměnlivých procesech a výrobním programu.
- Mapa je pouze statické zobrazení procesu, pro lepší pochopení složitějších procesů je vhodná dynamická simulace procesů na počítači.
- Mapu je nutno vytvářet – tj. konzultovat, analyzovat a měřit přímo ve výrobě.

VSM je účinný nástroj, který nejenže dokáže rozlišit mezi procesy přidávající a nepřidávající hodnotu, ale zobrazuje také aktuální stav tohoto procesu, dokáže v něm identifikovat zdroje plýtvání a stanoveným postupem toto plýtvání eliminovat.

3 NÁSTROJE K IDENTIFIKACI A ELIMINACI PLÝTVÁNÍ

3.1.1 ABC analýza

Metoda ABC spočívá v rozdělení prvků určitého souboru na tři skupiny podle míry, kterou se prvky tohoto souboru podílejí na celkovém množství kvantitativního znaku, například rozpracované výroby, energií, skladových zásob, aj. Jednotlivé skupiny prvků jsou značeny pomocí písmen A, B, C. Do skupiny A se řadí malý počet prvků (2 – 5%) s vysokým podílem na celkové hodnotě (80%). Skupina B zpravidla obsahuje takový počet prvků, které odpovídají podílu skupiny na celkovém množství (15%). Skupina C je nejpočetnější (80%) a obsahuje zbývající prvky souboru, které mají nejnižší podíl na celkové hodnotě (5%). Tuto klasifikaci lze využít například v oblasti řízení výroby a zásob, řízení jakosti nebo plánování. Sestavení křivky probíhá ve dvou krocích. Nejprve jsou sestupně seřazeny všechny prvky, poté je provedeno roztřídění na skupiny A, B a C a podle stanovených mezí sestrojena křivka kumulovaných hodnot (Keřkovský, 2007, s. 88 – 89).

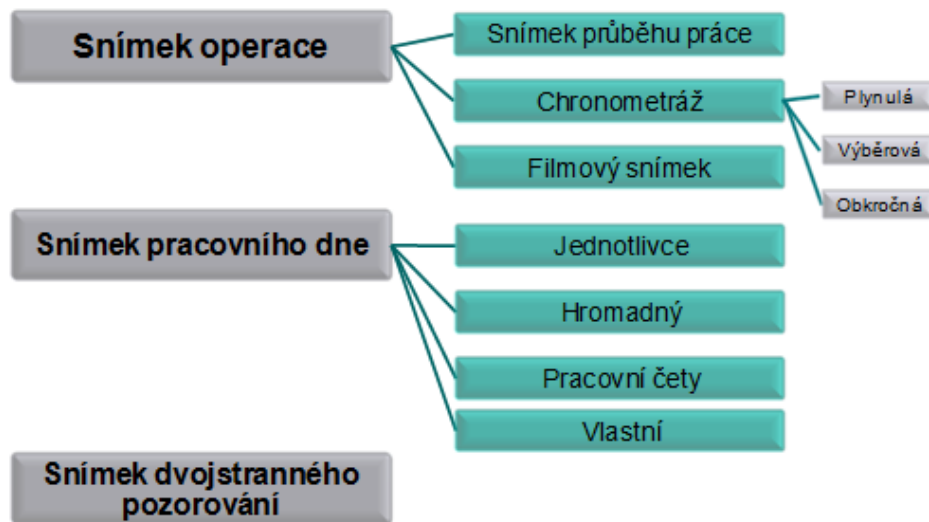


Obrázek 5 Klasifikace ABC (Keřkovský, 2007, s. 89)

3.1.2 Měření práce a pozorování

Měřením práce nazýváme soubor postupů, kterými zaznamenáváme čas potřebný pro vykonání specifické lidské práce na určené úrovni podniku. Měření práce má význam pro identifikaci plýtvání, zefektivnění dané práce, což v důsledku přináší snížení nákladů. Z historického vývoje jde o tyto postupy:

- Hrubé a kvalifikované odhady
- Využití historických dat
- Systémy předem určených časů
- Časové studie pomocí přímého měření (Vytláčil, Mašín a Staněk; 1997, s. 98; API, © 2005 – 2012)



Obrázek 6 Techniky přímého měření (API, © 2005 – 2012a)

Snímek pracovního dne zaznamenává veškeré aktivity prováděné pracovníkem v průběhu směny formou nepřetržitého pozorování. Výhodou je výstup ve formě podrobných informací o průběhu práce, nevýhodou pak časová náročnost i psychické zatížení obou aktérů. Záznam časů se provádí do formuláře, kde jsou zaznačeny časy a činnosti, které se následně vyhodnocují. Výběr pracoviště je určen buďto managementem firmy nebo plánovanými změnami v procesu. To může být například odstranění úzkého místa, balancování linek, re-layout, snížení času přetypování, zkrácení průběžných časů nebo zvýšení jakosti. Postup analýzy je následující:

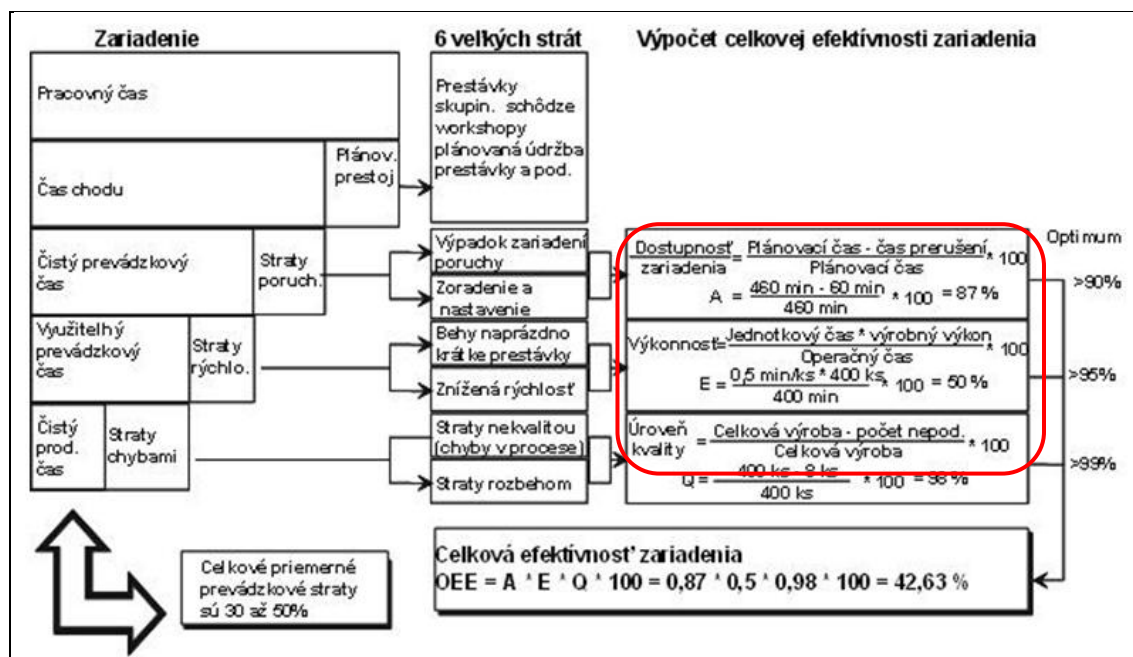
1. Výběr pracovníka
2. Seznámení s pracovištěm
3. Vymezení sledovaných dějů
4. Stanovení počtu snímků
5. Měření
6. Vyhodnocení snímku (Pavelka, 2009)

3.1.3 Celková efektivita zařízení CEZ (OEE)

Koeficient CEZ vyjadřuje celkovou efektivitu zařízení. Říká nám, jak je dané zařízení využíváno z hlediska provozních a ztrátových časů i kvality výroby. Ve výpočtu tyto faktory zohledňujeme pomocí těchto parametrů - míry využití (dostupnost), míry výkonu (výkon) a míry kvality. Pokud je výsledný koeficient vyšší než 85%, lze říci, že zařízení je provozováno účinně a efektivně. Výpočet je následující:

CEZ = Míra využití x Míra výkonu x Míra kvality (Mašín, Vytlačil, 2000, s. 231)

Parametr *Míra využití* vyjadřuje, kolik procent doby stroj skutečně běží, když ho potřebujeme pro plánovanou výrobu. Mezi prostoje patří jednak poruchy vyplývající z chyb na zařízení, ale i plánované a neplánované opravy, údržba i přestávky a čas potřebný pro seřizování. Nedostatek materiálu, nedostatek pracovníků a další neplánované prostoje označujeme jako poruchy nezávislé na stroji. Druhý parametr *Míra výkonu* je ovlivněn zejména ztrátami rychlosti, během naprázdno a nečinností. Jedná se zejména o rozdíl mezi skutečnou rychlostí stroje, při které jsou produkovány výrobky a rychlostí definovanou výrobcem. Další ztrátou jsou odchylky a přerušení, které mají za následek to, že stroj neběží po celou dobu konstantní rychlostí. Kvalita produkce je ve výpočtu zohledněna parametrem *Míra kvality*, který zohledňuje vícepráce po ztrátě kvality způsobené nesprávným provozem výrobního stroje. Výpočet dílčích parametrů zobrazuje obrázek 7. (API, © 2005 – 2012b; Boledovič, 2007; Mašín, Vytlačil, 2000, s. 230)



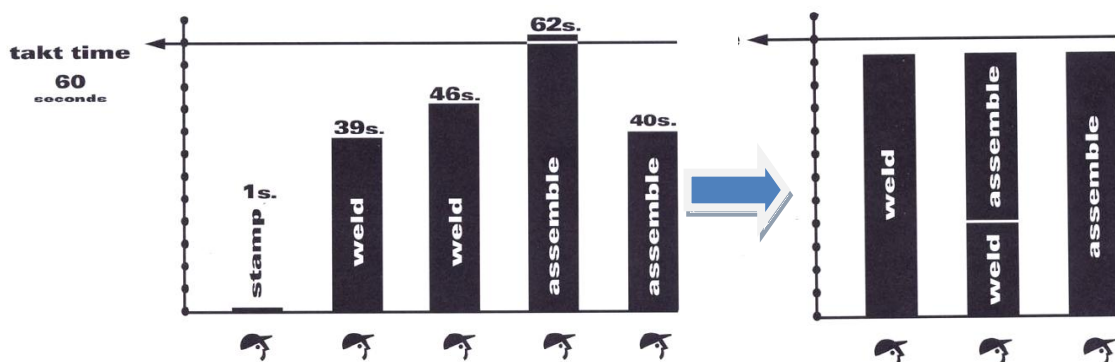
Obrázek 7 Metodika výpočtu CEZ (IPA Slovakia, © 2012)

3.1.4 Vybalancování kapacit

Balancování linky je aktivita pomocí níž lze docílit relativně stejných cyklových časů operátorů v lince nebo výrobní buňce. Znamená minimalizaci plýtvání způsobeného čekáním pracovníků kvůli nevybalancování. Tato metoda je založena na analytickém rozboru pracovních činností operátorů, které mohou být přezkoumány pomocí vhodné techniky měření práce a následném přerozdělení činností mezi pracovníky. (Mašín, 2005, s. 11)

Na využitelnost pracovníků je vhodné se zaměřit i při tvorbě budoucí mapy hodnotového toku nástroje VSM, kde je možno rovnoměrně přerozdělit pracovní činnosti v hodnotovém toku tak, aby byly naplněny zákaznické požadavky v podobě doby taktu a dosaženo hladšího toku. (Linköping University, 2014, s. 52)

Rother a Shook (2003, s. 69, 70) v souvislosti s tvorbou budoucí mapy hodnotového toku udávají následující příklad spočívající ve vybalancování linky. Obrázek 8 vlevo znázorňuje aktuální stav, kde je možno pozorovat nerovnoměrné rozdělení cyklových časů operátorů. Podílem součtu všech cyklových časů a doby taktu zjistíme teoretický počet operátorů, který by stačil k obsluze této linky (3,12 operátorů). Čtyři operátoři by nebyli zcela využiti, ale pouhé vybalancování linky by ještě nestačilo na snížení jejich počtu na tři. Podle autorů by řešení spočívalo buďto ve využití přesčasových hodin nebo v hledání dalších možností jak snížit plýtvání přímo ve výrobních procesech a dosáhnout stavu zobrazeného na obrázku 8 vpravo.



Obrázek 8 Balancování cyklových časů operátorů (Rother a Shook, 2003, s. 69, 70)

4 VYUŽITÍ SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ PRO TVORBU MODELŮ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

Na úvod kapitoly definujeme pojem simulace. Simulace je: „*metodou, která pomocí počítačového modelu podnikového procesu umožňuje manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy vzhledem k základním kritériím, porovnat mezi sebou navrhované alternativy organice studovaného procesu*“ (Dlouhý et al., 2007, s. 5)

Křupka a Kašparová (2009, s. 17) definují pojetí simulace následovně: „*Simulace je proces tvorby reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem dosažení lepšího pochopení chování studovaného systému či za účelem posouzení různých variant činnosti systému*“.

Hubálovský (2011, s. 77) uvádí tuto definici: „*Počítačová simulace je počítačem realizovaná metoda k řešení procesních modelů, ve kterých proces je tak složitý, že není možné ho realizovat pomocí jiných nástrojů*“ . Autor dále dodává, že simulaci je možno chápat i jako techniku zkoumání, protože umožňuje detailní studium dynamiky reálných systémů. Právě tato schopnost předurčuje využití této metody v praktické části této práce.

4.1 Dynamická simulace procesů

Předcházející kapitoly vykazaly potenciál ve využití dynamické simulace procesů pomocí počítačového modelu a to z hlediska identifikace omezení i lepšího pochopení složitějších procesů. To však zdaleka nejsou všechny výhody, které počítačová simulace nabízí. Výčet všech možností využití tohoto analytického nástroje je velmi rozsáhlý. Autoři Dlouhý a kol. (2007, s. 7) i Tomek a Vávrová (2000, s. 312) zmiňují následující aplikace, které se nejčastěji vyskytují v praxi:

- Optimalizace rozsáhlých výrobních systémů různých typů s cílem zkrátit výrobní proces, zvýšit produktivitu, minimalizovat náklady, zlepšit přidělování zdrojů, optimalizovat velikost výrobní dávek aj.
- Analýza logistických procesů, optimalizace systému řízení zásobovacích procesů a pravidel skladování, řešení meziskladů.
- Rozvrhování výroby, optimalizace komunikačních a obslužných systémů.
- Finanční plánování a řízení rizik.

Mašín (2004, s. 67) tento výčet doplňuje o úlohy, které jsou spojené s výrobním plánováním jako je například porovnávání navrhovaných variant výrobních plánů, analýza následků rozhodnutí, dynamická analýza „co se stane, když“ nebo hledání nejlepších variant řešení v úlohách s více faktory.

Mezi typické ukazatele poskytované počítačovou simulací patří:

- Využití výrobních kapacit a zdrojů
- Minimální, průměrné a maximální doby čekání a trvání jednotlivých činností
- Spotřeba zásob a periodicita jejich doplňování
- Počet požadavků, které byly obslouženy během simulace
- Přímé, režijní a celkové náklady na výrobky, služby, zakázky aj. (Dlouhý et al., 2007, s. 6)

Hubálovský (2011, s. 76 - 77) obecně vidí hlavní výhody simulací v možnosti správně zvolit všechny aspekty, aniž by bylo nutné použít další zdroje. Dále pak v možnosti usnadnění výzkumu tím, že simulace dovolí zpomalit či zrychlit chování dějů a v neposlední řadě také v tom, že simulace umožňuje specifikovat a modifikovat požadavky na návrh reálného systému tak, aby byl co nejefektivněji dosažen cíl.

Nevýhody simulací mohou spočívat v nutnosti speciální přípravy, která pramení ze znalostí a zkušeností osoby tvořící model. To může být časově i finančně náročné. Další nevýhoda tkví v horší interpretovatelnosti výsledků, protože může být těžké určit, zda je pozorování výsledkem systémových vztahů nebo náhodnosti. V některých případech se stává, že simulace je použita, i když je možné analytické řešení. (Křupka a Kašparová, 2009, s. 24)

4.2 Tvorba modelu

Základem každé počítačové simulace je model. Modelování je často používaná metoda v mnoha oblastech lidské činnosti. Smyslem vytváření modelů je popsat obsah, strukturu a chování reálného systému, která reprezentuje určitou část reality. Model nemůže nikdy dosáhnout dokonalé shody s realitou, protože reálný systém je daleko složitější než simulovaný. (Hubálovský, 2011, s. 49)

Křupka a Kašparová (2009, s. 12) definují modelování takto: „*Modelování je základním nástrojem ke studiu chování rozsáhlých komplexních systémů. Když modelujeme systém, obvykle se zajímáme o jeho dynamické chování. To znamená, že práce s modelem začíná*

v nějakém počátečním bodě, čase a prostoru a že následně zaznamenáváme a analyzujeme cestu modelu v budoucnosti“.

Z hlediska typologie modelů je nejpodstatnějším faktorem způsob zachycení času a charakteru množiny hodnot stavových veličin modelu, protože od nich se odvíjí samotná struktura modelu. Tyto dvě základní hlediska dále dělíme na:

- **Podle způsobu zachycení času v modelu**

- Modely se spojitým časem – simulovaný čas zde může nabývat jakýchkoli hodnot.
- Modely s diskretním časem – simulovaný čas může nabývat jen hodnot ze stanovené množiny.

- **Podle charakteru množiny hodnot stavových veličin v modelu**

- Modely se spojitými změnami stavu – množina hodnot zde může nabývat jakýchkoli hodnot.
- Modely s diskretními změnami stavu – množina hodnot zde může nabývat jen hodnot ze stanovené množiny. (Dlouhý et al., 2007, s. 13; Křupka a Kašparová, 2009, s. 15)

V rámci diplomové práce nás zajímá simulace diskretních událostí (diskretní simulace), kde změna stavu modelu nastává pouze v okamžiku výskytu pro model významné události. Tato událost může nastat v kterýkoliv okamžik spojitého času. Tato forma simulace je nejvhodnější metodou pro modelování velké řady podnikových procesů. (Dlouhý et al., 2007, s. 14)

Při tvorbě modelu se doporučuje postupovat podle dílčích fází, které vždy záleží na konkrétním zadání simulačního projektu. V literárních pramenech panuje shoda ohledně obecné tvorby modelu. Následující postup tedy není univerzální, ale použitelný pro úspěšnou realizaci simulačního projektu:

Fáze 1 – Rozpoznání problému a stanovení cílů

V této první fázi je nezbytné formulovat problém, konkretizovat cíle a stanovit zodpovědnost za realizaci simulačního projektu. Pro vývoj modelu je tento krok zásadní.

Fáze 2 – Vytvoření konceptuálního modelu

Před tvorbou modelu je nutné si vytvořit určitou představu o modelovaném systému a odpovědět si na některé základní otázky, například:

- Podle jakých kritérií je hodnocena efektivita systému?

- Jaké objekty, činnosti a zdroje modelovaný systém zahrnuje?
- Jaké požadavky vstupují do systému?
- Jakým způsobem se přidělují omezené zdroje jednotlivým procesům?

Fáze 3 – Sběr dat

Každá simulace je náročná na sběr dat. Model může být vytvořen i bez dat, to se ale neobejde bez důkladné expertízy. Získaná data by měla být v ideálním případě ověřena, zda odpovídají realitě.

Fáze 4 – Tvorba simulačního modelu

Tvorba modelu znamená přenesení myšlenek z druhé fáze do počítačového kódu nebo programu. Při tvorbě struktury a chování modelu jsou realizovány následující kroky:

- určení rozhraní mezi systémem a jeho okolím, definování vstupních a výstupních proměnných systému a určení množin přípustných hodnot
- identifikace prvků systému, jejich vzájemných propojení a určení jejich chování
- definování parametrů, které jsou rozhodující pro sledování chování celého systému a způsobu stanovení jejich hodnot při simulačním experimentu
- popis funkčních závislostí mezi proměnnými v závislosti na čase a množině parametrů systému

Fáze 5 – Verifikace a validizace modelu

Tímto krokem je ověřováno, zda je vytvořený model ve shodě s realitou. Nejlepším způsobem, jak zjistíme, že představa o fungování reálného systému byla správná je, že srovnáme výstupy modelu s reálnými daty. Tento postup se nazývá Dynamická metoda. Dalšími způsoby verifikace modelu jsou metody:

- Statické – analyzuje se kód programovacího jazyka pomocí něhož byl model vytvořen
- Formální – posouzení správnosti modelu pomocí matematických důkazů
- Neformální – tato metoda je kvalitativní a obecně spoléhá na subjektivní hodnocení

Nikdy nelze očekávat úplnou shodu modelu s realitou, protože model je vždy jen jejím zjednodušením. V určitém stavu se doporučuje vyvarovat se přílišného zaměření na detaily, protože takový přístup odvádí pozornost od nejpodstatnějších vlastností systému.

Fáze 6 – Provedení simulačních experimentů a analýza výsledků

Po dokončení předcházejících fází následuje simulační experiment. Ten je vhodný provést v různých variantách pro možnost výběru nejvhodnější alternativy. Simulační experimentu můžeme definovat takto: „*Simulační experiment je vhodně sestavená množina počátečních podmínek pro navržený model a podmínek pro které budeme sledovat chování modelu v čase.*“ (VŠB - TU Ostrava, © 2014)

Běžně používané výstupy pro analýzu výsledků, které lépe umožňují jejich zkoumání, analýzu a interpretaci simulovaných dat jsou například 2D a 3D grafy, tabulky, vývojové diagramy nebo statistická analýza výsledků.

Fáze 7 – Dokumentace modelu

Pokud by bylo nutno se k modelu později vrátit, jeho dokumentace nám pomůže se v něm vyznat. Bez popisu modelu, jeho struktury a výsledků experimentů by to nebylo prakticky možné. K popisu modelu lze přistupovat různými způsoby, které se liší v přesnosti jeho interpretace. Tyto přístupy jsou:

- **Verbální popis** – tento přístup je nejméně přesný, zato však srozumitelný. Nevýhodou je, že nemusí být konzistentní.
- **Schematický popis** - používá se pro systémy s charakteristickou strukturou, je jednoznačný, musí být doplněn popisem chování prvků systému.
- **Vývojový diagram** - používá se v případech, kdy je možno graficky znázornit chování systému. Je nejvhodnější pro implementaci.
- **Matematický popis** - je nejpřesnější a jednoznačný. Nejčastěji se používá v oblastech, které je možno popsat soustavou rovnic nebo jiným matematickým aparátem.

Fáze 8 – Implementace

Závěrečná fáze simulačního projektu. Zavedení projektu do praxe by mělo být provedeno za účasti členů týmu, který se podílel na tvorbě simulačního modelu.

(Dlouhý et al., 2007, s. 11-12; VŠB - TU Ostrava, © 2014; Hubálovský, 2011, s. 90)

4.3 Optimalizace v simulaci

Optimalizace je součástí simulačního experimentu. Jedna z definic optimalizace v simulaci uvedená v odborné literatuře (VŠB - TU Ostrava, © 2014) zní: “*Optimalizací rozumíme*

takové zesouladění možností obslužného systému s požadavky obsluhy, kdy sledované kritérium nabývá extrémní hodnotu (minimum, maximum), ale kde obvyčejně není daná exaktní daná funkce).“ . Další definice uváděné v literárních pramenech mají obdobný charakter. Například Daněk (2003) vidí jako cíl tohoto procesu optimalizovanou konfiguraci výrobního systému, Dlouhý (2007, s. 53) pak charakterizuje optimalizaci jako: „*Použití rozumného prohledávacího algoritmu, který najde dobré řešení bez vyzkoušení všech existujících variant.*“ .

V praxi existuje více optimalizačních postupů. Nejjednodušší z nich je metoda zvaná „Monte Carlo“, která spočívá v náhodné změně vstupních parametrů, které ovlivňují parametry výstupní. Pokud mluvíme o vzájemném porovnávání více alternativ systému, musíme nejprve definovat kritérium optimálnosti. Tímto kritériem může být:

- Účelová funkce – zde se zaměřujeme na náklady a jejich vývoj v čase. Hledáme alternativu, kdy účelová funkce nabývá extrému. Náklady se mohou týkat:
 - nákladů na činnost výrobního systému – náklady na provoz systému, náklady na prostoje obslužných kanálů.
 - nákladů obsluhovaných objektů – jako jsou např. ztráty čekáním ve frontě, ztráty v důsledku odmítnutí obsluhy, náklady na manipulaci apod.
- Hodnoty vybraných číselných charakteristik výrobního systému. Vybraná je ta alternativa, jejíž charakteristiky v maximální míře vyhovují požadavkům kritéria optimálnosti. (VŠB - TU Ostrava, © 2014)

4.4 Struktura systému

Strukturou systému nazýváme přenesenou část reálného světa. Je to množina komponent a relací mezi nimi. Soubor definovaných proměnných charakterizuje stav systému. Simulační model je složen ze tří prvků – entit, aktivit (procesů) a zdrojů. *Entita* je objekt, který se pohybuje napříč systémem v průběhu času. Vstupuje do systému, vyžaduje určitou činnost, obsazuje nebo spotřebovává zdroje a posléze systém opouští. Jednotlivé *procesy* jsou základem celého systému. Vytvářejí hodnotu pro zákazníka. U složitějších systémů jsou procesy hierarchicky rozděleny na procesy vyššího a nižšího řádu. Jednotlivé procesy jsou propojeny spojnicemi, které určují logický sled událostí, ale také řídí pohyb entit. *Zdroje* jsou entitami po určitý čas využívány nebo spotřebovávány. Základním atributem zdroje je jeho kapacita. (Dlouhý et al., 2007, s. 35 – 36)

4.4.1 Základní objekty v simulačním software Tecnomatix Plant Simulation

Frame – základní simulační prostředí, představuje výrobní plochu

Connector – spojnice mezi objekty

WorkerPool – zdroj, který generuje pracovníky

Broker – slouží k řízení pracovníků

ShiftCalendar – směnový kalendář

FoothPath – cesta, po které se pohybují pracovníci

SingleProc, ParallelProc – jednoduchý, resp. paralelní proces, který zpracovává entity

Worker – pracovník

Buffer – sklad

Source – zdroj, který generuje entity

Drain – slouží k ukončení průchodu entity systémem

AssemblyStation – montážní stanice, slouží ke sloučení více entit

DismantleStation – slouží k rozdělení jedné vstupující entity na více výstupních

Method – umožňuje programování kontroly a chování objektů během simulace

EventController – spouští celou simulaci

(Tecnomatix Plant Simulation Help, 2013)

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁST

V teoretické části jsem představil základní principy teorie omezení (TOC), která je jedním z možných konceptů řízení výroby. Tato filozofie je založena na identifikaci úzkých míst v systému a pomocí vhodných nástrojů se snaží o maximalizaci průtoku tímto úzkým místem.

Pro člověka, který se chystá analyzovat určitý systém, by byla aplikace výše uvedené metody bez znalosti tohoto systému obtížná. Proto jsem v dalším kroku teoretické části představil metodu mapování hodnotového toku (VSM). Tato metoda slouží jako základní nástroj pro analýzu plýtvání ve výrobních procesech, logistice, vývoji či administrativě. Její využití je výhodné v tom, že při zlepšení jakékoliv složitější provozní činnosti komplexně zahrnuje celý systém včetně identifikace úzkých míst.

Pro určení problémových míst a definování potenciálních zlepšení jsou v rámci výše uvedené analýzy uplatňovány metody průmyslového inženýrství. Proto jsem následně uvedl metody, které nacházejí uplatnění v praktické části práce. Metoda ABC je v rámci VSM využívána k výběru reprezentanta. Výpočet parametru CEZ a snímek pracovního dne operátorů analyzuje efektivitu využívání zdrojů ve zvoleném výrobním procesu. Možné vybalancování linky nabádá k potencionálnímu snížení nákladů za využívání lidských zdrojů.

V závěru teoretické části jsem se zabýval možným využitím softwarových nástrojů pro tvorbu modelů výrobních systémů. Toto téma je velmi obsáhlé, proto jsem v této práci popsal pouze základní principy, výhody a nevýhody ve využití dynamických simulací výrobních systémů. Stěžejním prvkem vzniku simulace je tvorba základního modelu a jeho následná optimalizace, proto jsem jednotlivým krokům této části věnoval největší pozornost. Jako poslední jsem popsal obecnou strukturu systému včetně jejích základních komponent a definoval skupinu konkrétních prvků, které jsou využity v simulačním softwaru v projektové části práce.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

6.1 Koncern Schott

SCHOTT je mezinárodní technologický koncern, který již více než 125 let vyvíjí a vyrábí speciální materiály, komponenty a systémy na bázi skla. Skupina SCHOTT se zaměřuje zejména na odvětví průmyslu domácích spotřebičů, farmaceutický průmysl, elektroniku, optiku a také automobilový průmysl. SCHOTT je se svými výrobními závody a obchodními zastoupeními přítomen na všech důležitých trzích světa. Zaměstnává víc jak 16 000 zaměstnanců ve 35 zemích, kteří se podílejí na celosvětovém obratu přes 2 miliardy EUR. (Schott AG, ©2014a)



Obrázek 9 Globální zastoupení koncernu SCHOTT (Schott AG, ©2014a)

6.2 Společnost Schott CR v České republice

Název společnosti: SCHOTT CR, s.r.o.

Sídlo společnosti: Dvořákova 997, Žichlínské Předměstí, 563 01 Lanškroun

Identifikační číslo: 64609855

Právní forma: společnost s ručením omezeným

Zápis do OR: 1. prosince 1995

Jediným akcionářem je SCHOTT Benelux B.V. (Obchodní rejstřík a Sbírka listin, ©2014)

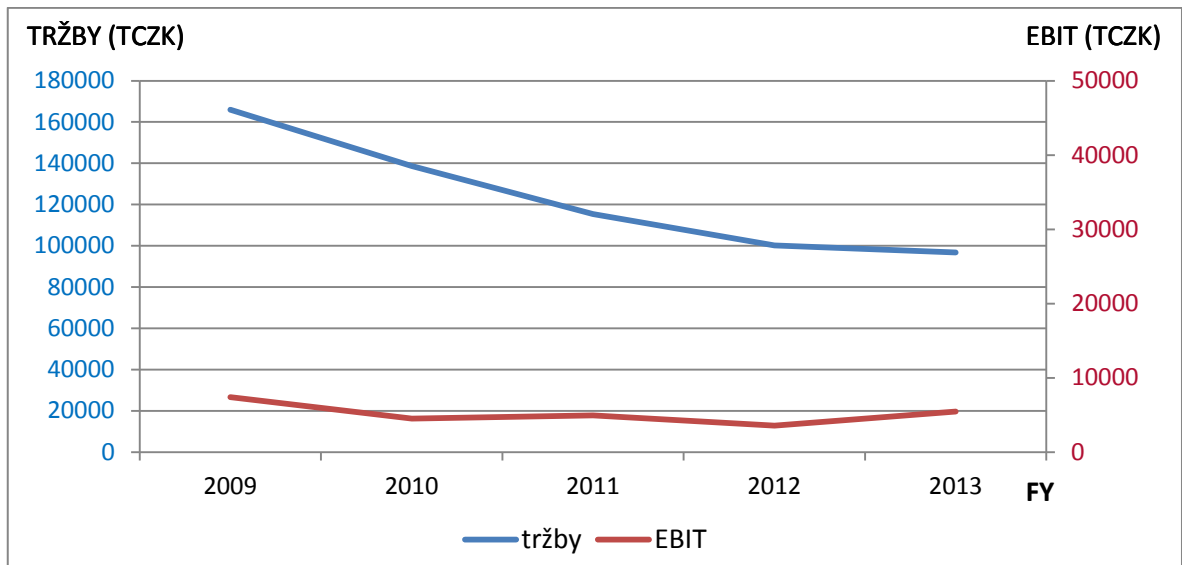
Jedna z lokalit skupiny SCHOTT se 450 zaměstnanci se nachází v Lanškrouně. Výrobní program společnosti *Schott CR, s.r.o.*, divize *Electronic Packaging* je zde zaměřen na produkci hermetických pouzder a průchodek pro automobilový průmysl. Disponuje ale také i technologií na zpracování speciálních skel. (Schott AG, ©2014a)

Druhá lokalita s počtem kolem 300 zaměstnanců se nachází ve Valašském Meziříčí a je zde soustředěna do dvou společností. Společnost *Schott Flat Glass, s.r.o.* zpracovává ploché sklo a skleněné výrobky určené pro domácí spotřebiče a zaměřuje se na výrobu vitrín pro profesionální prezentaci chlazeného a mraženého zboží. Společnost *Schott CR, s.r.o.*, divize *Servisy*, poskytuje služby ostatním společnostem SCHOTT v lokalitě a to v oblastech ekonomiky, personalistiky, informačních technologií, technických servisů, bezpečnosti a ekologie. Divize *Lighting a Imaging* je zaměřena na montáž výrobků z průmyslových optických vláken a LED diod, které slouží pro osvětlení. Firma poskytuje zakázkovou výrobu pro segmenty trhu jako je automobilový a letecký průmysl, osvětlení a zdravotnictví. (Schott AG, ©2014a)

6.3 Divize Lighting and Imaging

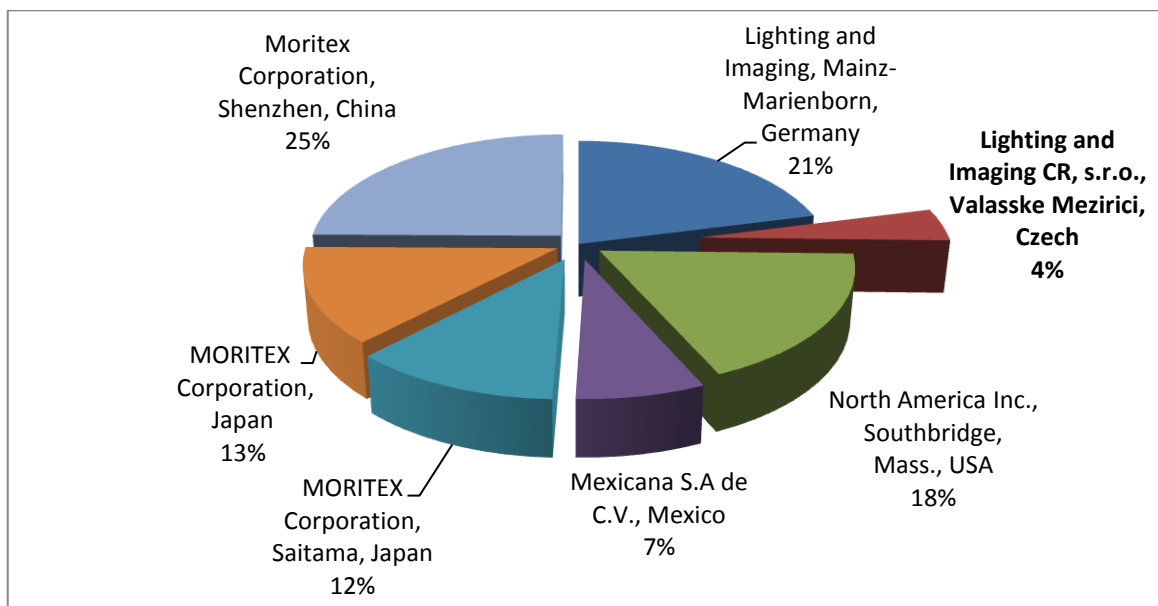
Divize Lighting and Imaging je součástí společnosti SCHOTT CR, s.r.o. od 1. 10. 2012, kdy došlo k fúzi této společnosti s tehdy právně samostatnou společností SCHOTT Lighting and Imaging, s.r.o. Ta byla založena roku 1997 a v době svého vzniku se orientovala výhradně na produkci výrobků z průmyslových optických vláken pro zdravotnický průmysl. Během následujících let však byly transferovány další výrobní linky ze sesterských společností, bylo rozšířeno portfolio výrobků a počet zaměstnanců v roce 2006 dosáhl sto dvaceti. Následná ekonomická krize v letech 2008 a 2009 zapříčinila útlum výroby a měla vliv na postupné snižování počtu zaměstnanců až na současnou úroveň 45 pracovníků. Od roku 2007 je společnost certifikována systémem řízení jakosti ISO 9001:2008 a ISO 14001:2004 a od roku 2011 systémem řízení jakosti ČSN ISO 13485. Divize Lighting and Imaging spadá ve skupině SCHOTT pod obchodní jednotku Lighting and Imaging.

Hospodaření společnosti (divize) je znázorněno na obrázku 10. Tržby vykazují trvale sestupnou tendenci, což je způsobeno dopadem zmiňované ekonomické krize a také faktem, že některé z výrobků se pohybují na hranici svého životního cyklu. Zisk před zdaněním se ve fiskálním roce 2013 pohyboval ve výši 5,5 mil. Kč.



Obrázek 10 Historie tržeb a EBIT divize Lighting and Imaging (vlastní zprac. na základě výsledků hospodaření v letech 2009-2013)

Obchodní jednotka Lighting and Imaging je světovým lídrem v designu, vývoji, výrobě a prodeje nejmodernějších optických a LED osvětlovacích komponentů, systémů a podsystémů. Klíčovými trhy této jednotky jsou oblasti - medicína, kosmetika, průmysl, systémy strojového vidění, obrana a bezpečnost, letectví, železnice a automobilový průmysl. Obrázek 11 znázorňuje jednotlivé výrobní lokality této jednotky. Hlavní sídlo jednotky je v německém Mainzu. Divize Lighting and Imaging CR se co do počtu zaměstnanců podílí na celkovém objemu jednotky ze čtyř procent. (Schott AG, ©2014b)



Obrázek 11 Obchodní jednotka Lighting and Imaging (Schott AG, ©2014b)

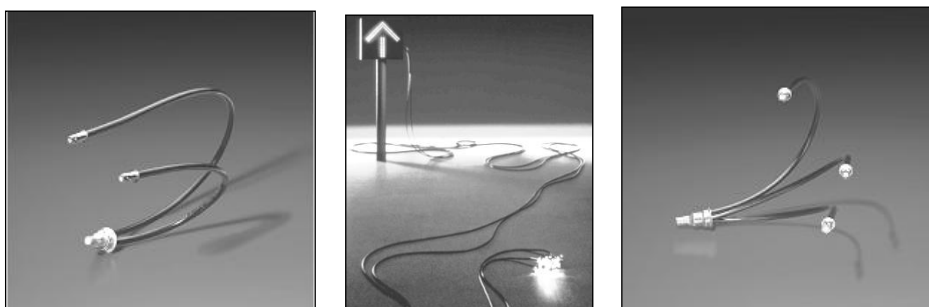
6.4 Výrobní program divize Lighting and Imaging

Základem většiny výrobků je průmyslové optické vlákno, které je dodáváno mateřskou společností. Technologie přenosu světla optickým vláknem spočívá v tom, že světelné paprsky, které do vlákna vstupují na jednom konci, jsou vedeny jádrem s vyšším indexem lomu oproti opláštění vlákna a vystupují na svém druhém konci. Jednotlivá vlákna jsou vkládána do svazků. Změnou charakteristických vlastností vláken lze docílit toho, aby vyhovovaly konkrétním aplikacím. (Schott AG, ©2014c)

Při montážních procesech je patrný výrazný podíl ruční práce operátorů linky. Z hlediska objemu produkce lze výroby zařadit do kusové až velkosériové. Kusová výroba se týká především výroby Světelné zdroje. Středněsériová výroba je uplatňována pro podstatnou část komodit Osvětlení, Mikroskopie, Průmyslové aplikace a Dopravní značení. Velkosériová výroba v řádech tisíců kusů probíhá ve výrobě Automotiv a Medicína. (Zálešák, 2012, s. 47)

6.4.1 Segment Doprava

Pod tento segment trhu se řadí výroby Automotiv a Dopravní značení. Flexibilní optické kabely slouží k přenosu světla a nacházejí uplatnění v čelních světlometech automobilů nebo ve světelných tabulích nad dálnicemi a železnicemi jako náhrada klasického dopravního značení. (Zálešák, 2012, s. 47)

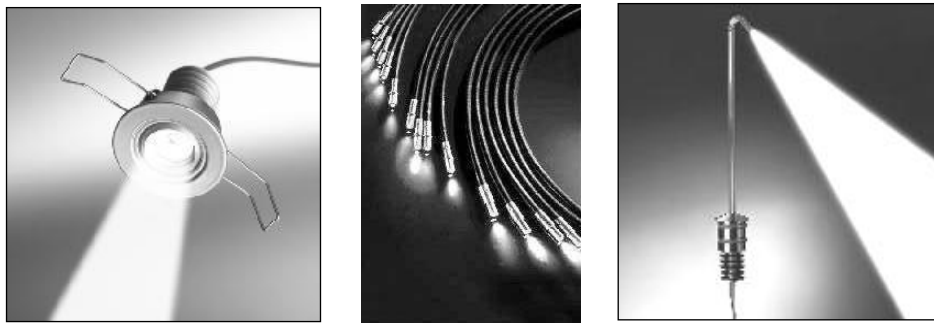


Obrázek 12 Výrobky segmentu Doprava (Zálešák, 2012, s. 47)

6.4.2 Segment Osvětlení

Specializací výrob Osvětlení a Světelné zdroje jsou dodávky optických kabelů elektronických světelných zdrojů pro specifická zákaznická řešení v oblasti architektury a designu. Využití nalézají např. v muzeích, obchodech, saunách, domácnostech nebo veřejných budovách. Výhodou je široká variabilita komponent, dále přenos světla bez nežádoucích ved-

lejších účinků sálavého tepla nebo možnost kreativního využití různých barevných spekter. (Zálešák, 2012, s. 47)



Obrázek 13 Výrobky segmentu Osvětlení (Zálešák, 2012, s. 48)

6.4.3 Segment Průmyslové aplikace a mikroskopie

Sortiment výrobků pro mikroskopii zahrnuje optická řešení pro osvětlení předmětů pod mikroskopem a v různých laboratorních a průmyslových aplikacích. Výrobky pro průmyslové aplikace mají specifické užití v oblasti litografických a diagnostických systémů, které využívají přenos světla. (Zálešák, 2012, s. 48)



Obrázek 14 Výrobky segmentu Mikroskopie (Zálešák, 2012, s. 48)

6.4.4 Segment Medicína

Medicínská výroba produkuje široké spektrum výrobků z optických vláken pro oblast stomatologie, chirurgie a endoskopie. Jedná se zejména o vláknové tyčinky pro dentální medicínu, které slouží pro přenos světla při vytvrzování zubních výplní, tvarovaná optická vlákna používaná v ručních medicínských osvětlovacích přístrojích (zubní vrtačky, zubní odstraňovače kamene) a endoskopických optických komponentů pro přenos světla v lidském těle. (Zálešák, 2012, s. 49)



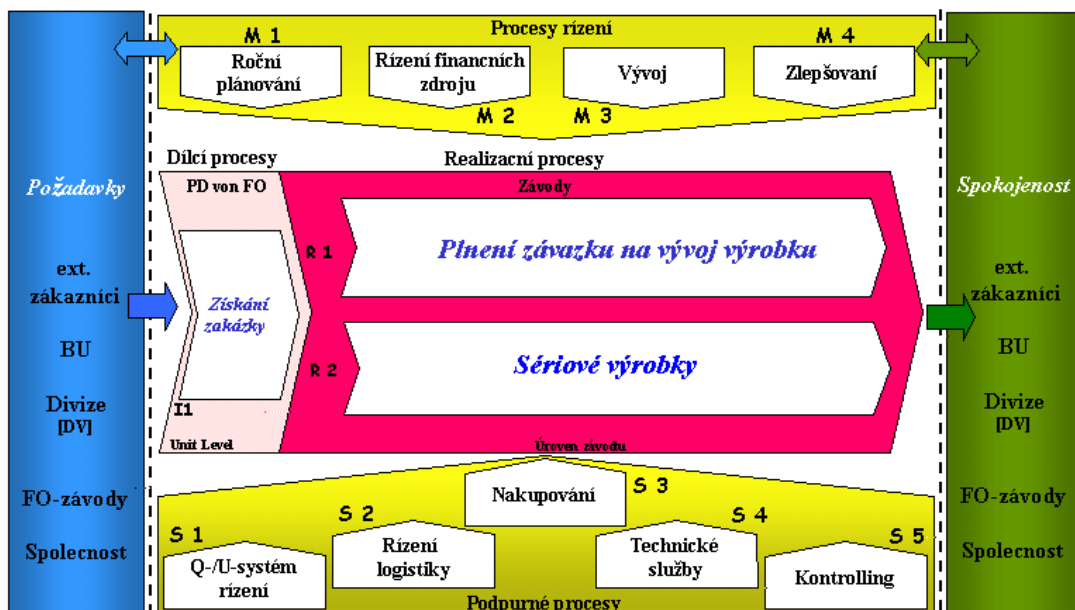
Obrázek 15 Výrobky segmentu Medicína (Zálešák, 2012, s. 49)

6.5 Procesní struktura Lighting and Imaging

Na obrázku 16 je zobrazena procesní mapa obchodní jednotky Schott Lighting and Imaging Evropa. Procesní struktura je ve společnosti Schott CR, s.r.o. uplatňována s prvotním získáním certifikace ISO 9001:2008. Hlavní klíčové oblasti jsou definovány jako Plnění závazku na vývoj výrobku a Sériové výrobky, což signalizuje orientaci na výrobní činnosti a vývoj. Vývojové centrum je umístěno v mateřské společnosti SCHOTT AG.

Řídící procesní oblasti zahrnují činnosti Ročního plánování, Řízení finančních zdrojů, Vývoj a Zlepšování. Z důvodu centralizace jsou za tyto procesy odpovědná jednotlivá oddělení v mateřské společnosti.

Podpůrné procesy zahrnující ekonomické, personální, IT, technické služby a služby v oblasti řízení kvality, bezpečnosti a ekologie divize pořizuje přes nevýrobní část Schott CR, divizi Servisy.

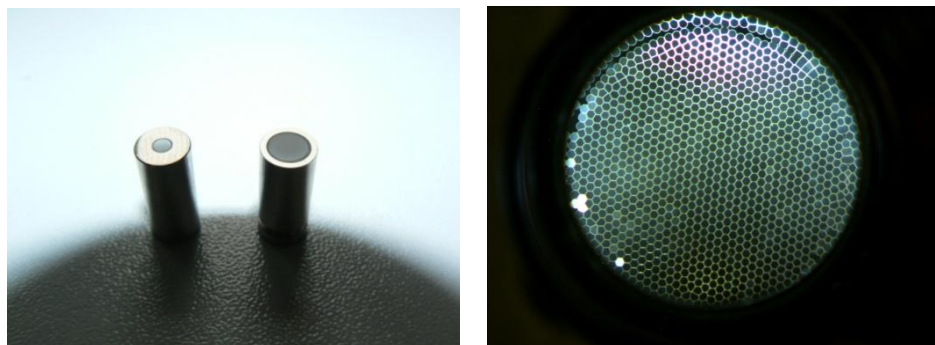


Obrázek 16 Procesní struktura divize Lighting and Imaging (interní materiály SCHOTT)

7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU MONTÁŽNÍ LINKY PRO ENDOSKOPII

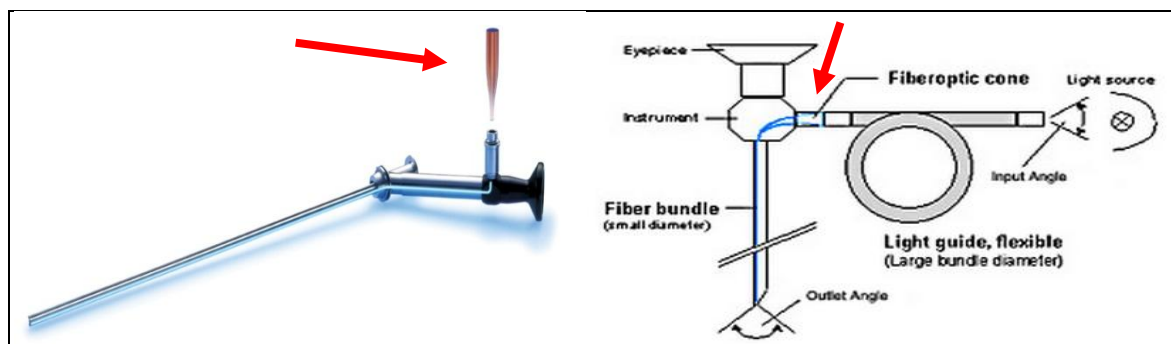
7.1 Charakteristika analyzované výrobní linky

Montážní linka pro endoskopii byla do Val. Meziříčí transferována v roce 2007 po čtrnácti letech provozu v mateřské společnosti. V několika variantách dodává na trh pevné svazky optických vláknových kuželů fixovaných v nerezových pouzdrech (viz. obrázek 17).



Obrázek 17 Typický finální produkt SCHOTT – endoskopický kužel v kovovém pouzdře (vlastní zprac.)

Tyto vláknové kužely slouží u finálního medicínského výrobku – endoskopického přístroje - jako adaptér, který převádí větší průřez světlovodného vodiče uvnitř endoskopického zařízení na menší průřez. Mnoho výrobců endoskopických přístrojů také využívá vláknový kužel jako optický adaptér na vstupu endoskopu, kde se nachází světlovodný kabel připojený k vnějšímu zdroji světla. To má tu výhodu, že ve srovnání s klasickým systémem optických čoček může svým kompaktním rozměrem vláknový kužel poskytnout kvalitnější světelný vstup. Navíc jsou tyto vláknové kužely schopny přenášet světlo ve stejné kvalitě i po několika tisících cyklech v autoklávu. (SCHOTT North America, ©2014)



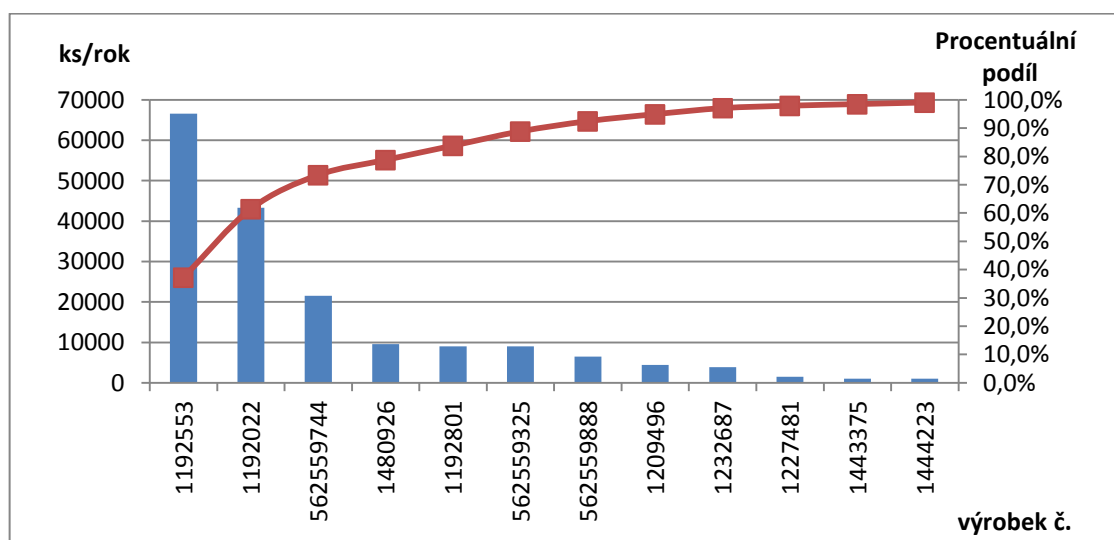
Obrázek 18 Způsoby umístění vláknového kuželu v endoskopickém přístroji (SCHOTT North America, ©2014)

V roce 2011 byla tato výrobní linka spolu s dalšími výrobami segmentu Medicína certifikována dle systému ČSN ISO 13485, který „stanovuje požadavky na systém managementu jakosti, který může být použit organizací pro návrh, vývoj, výrobu, instalaci a provádění servisu zdravotnických prostředků a návrh, vývoj a dodávání příslušných služeb“. (ČSN EN ISO 13485, 2003)

Získáním certifikace si společnost upevnila své postavení na mezinárodních trzích a získala náskok před konkurencí. Mezi nejvýznamnější zákazníky se řadí velcí hráči na trhu s endoskopickými přístroji jako jsou Storz, Olympus nebo Comeg.

7.2 Východiska pro analýzu

Ve výrobním sortimentu lze nalézt dvanáct standardních typů výrobků, z nichž největší podíl (73,4%) na celoročním objemu produkce tvoří tři varianty vláknových kuželů – typ 1192553, 1192022 a 562559744 (viz. obrázek 19).

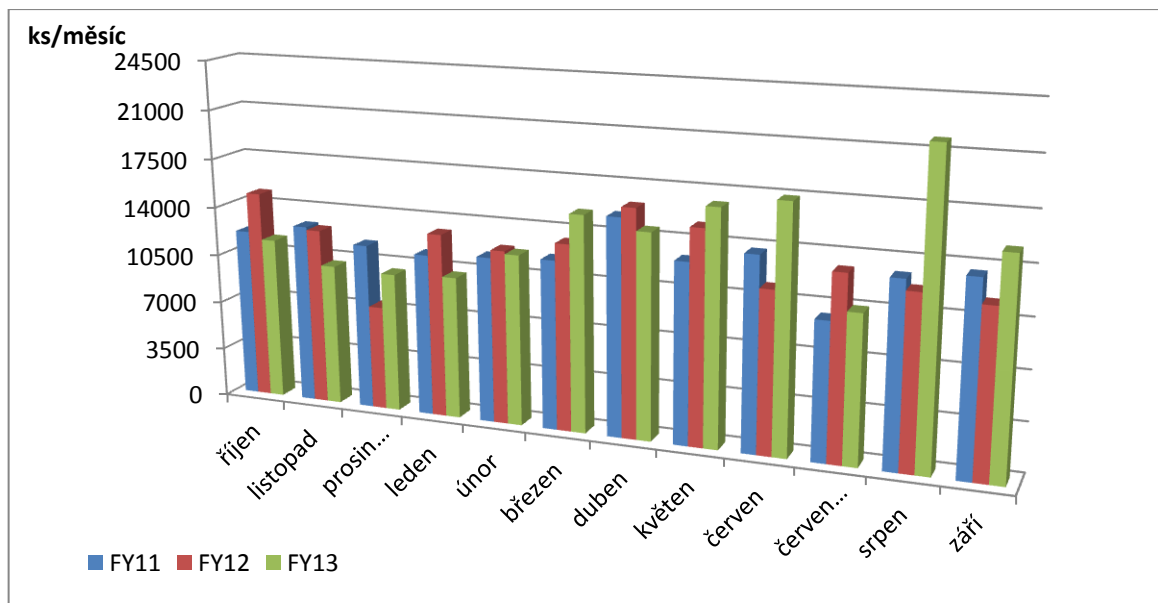


Obrázek 19 ABC analýza produkce (vlastní zprac.)

Jednotlivé typy se od sebe liší druhem dodávaného vstupního materiálu – tj. charakterem skloviny, průměrem vlákna a druhem ferule. Kromě typu 1209496 je technologický proces pro všechny ostatní typy výrobků stejný. Jedinou odlišností je použití různých lepidel dle specifikace odběratele. Na montážní lince pracují až čtyři operátoři – dva montážní dělníci, brusič a kontrolor v jednosměnném provozu.

Objem produkce endoskopických kuželů se po dva poslední fiskální roky zvyšoval o 2%, resp. 8%. Ve fiskálním roce 2014 je očekáván objem produkce minimálně na úrovni předcházejícího finančního roku. Na obrázku 20 jsou viditelné sezónní výkyvy v poptávce,

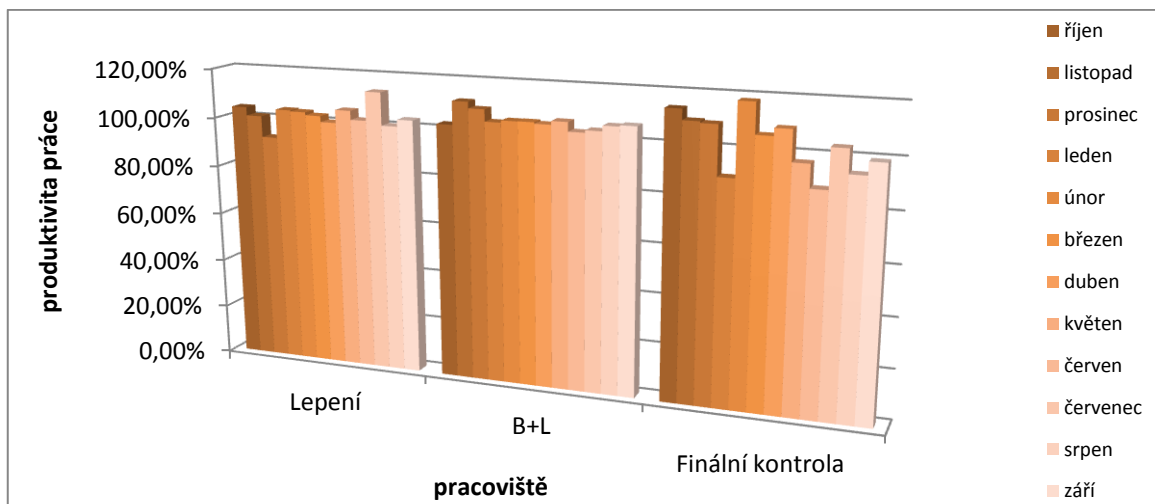
přičemž nejvyšší nárůst poptávky v loňském fiskálním roce zaznamenaly měsíce květen, červen a srpen. Kritickým se stal zejména měsíc srpen, kdy docházelo k vybírání řádných dovolených zaměstnanců. Podle pracovních výkazů bylo nutno v těchto měsících navýšit disponibilní kapacitu o přesčasové hodiny, aby se zajistila včasná dodávka zákazníkům. Politika minimálních skladových zásob mateřské společnosti Schott AG neumožňuje předzásobení se produkcí v měsících, kdy zákaznická poptávka stagnuje.



Obrázek 20 Měsíční objem produkce v jednotlivých měsících za fiskální roky 2011-2013 (vlastní zprac.)

Z hlediska výrobní výkonnosti je analyzovaná montážní linka hodnocena třemi klíčovými ukazateli – produktivitou práce operátorů, spolehlivostí dodávek zákazníkům a dosaženou výrobkovou zmetkovitostí. Podkladová data pro výpočet těchto ukazatelů jsou čerpána z podnikového informačního systému SAP, modulu Plánování výroby.

Produktivita práce operátorů je ve společnosti počítána jako počet skutečně odpracovaných hodin vůči normohodinám daného typu výrobku. V posledním fiskálním roce dosáhla průměrná hodnota tohoto ukazatele za celou linku 104 %, což bylo o 4 % více nad plánovanou úrovní. Měsíční plnění na jednotlivých pracovištích vyjadřuje obrázek 21. Spolehlivost dodávek je na velmi dobré úrovni a vůči svému internímu odběrateli - mateřské společnosti, setrvává dlouhodobě na hodnotě 100 %. V posledních dvou obdobích dochází ke zvyšování výrobkové zmetkovitosti s meziročními nárůsty o 1,4 %, resp. 1,7 %. Dosažená zmetkovitost se nyní pohybuje o 2,7 % nad stanoveným cílem, což signalizuje problémy s udržením kvality.



Obrázek 21 Produktivita práce ve fiskálním roce 2013 (vlastní zprac.)

7.2.1 Rekapitulace zjištěných skutečností

- z převažující rodiny standardních endoskopických kuželů tvoří tři typy výrobků – č. v. 1192553, č. v. 1192022 a č. v. 562559744 - 73,4 % ročního objemu produkce
- v této rodině výrobků procházejí všechny typy stejným technologickým procesem
- výroba endoskopických kuželů vykázala meziroční nárůst objemu výroby o 8 %
- produktivita práce operátorů linky se průměrně pohybuje na úrovni cca 104 %
- výrobová zmetkovitost se opakovaně zvyšuje a pohybuje se o 2,7 % nad cílovou hodnotou
- dodávky zákazníkům se daří realizovat včas, ale z důvodu politiky minimálních skladových zásob je po čtvrtinu roku nutno vykrývat sezónní poptávkové špičky přesčasovými hodinami

Na základě výše uvedených zjištění se zaměřím na určení úzkého místa procesu a analýzu možných zdrojů plýtvání, jejichž eliminace by mohla přispět k urychlení průběžné doby výroby zakázky, zejména v době poptávkových špiček.

7.3 Výrobní proces

7.3.1 Vstupní materiál

Do výrobního procesu vstupují dva materiály. Prvním vstupním materiálem jsou tažené kužely ze skleněného optického vlákna dodávané v tyčích v délkách po 30 cm. Vícedruhovost tohoto materiálu spočívá v rozdílné sklovině, z níž je vyroben. Podle specifikace zá-

kazníka nabývají kužely různých průměrů kuželové části. Převažující průměr je 2,1 mm a 1,6 mm. Pro typický produkt je potřeba na jeho výrobu zhruba 1000 optických vláken.

Druhým materiálem vstupujícím do procesu jsou pouzdra z nerezové oceli. Pouzdro může nabývat různých délek a tvarů. Velmi důležitý je vnitřní průměr pouzdra. Při montáži musí být každé pouzdro k jednotlivému endoskopickému kuželu operátorem vybráno tak, aby svým vnitřním průměrem co nejvíce odpovídalo vnějšímu průměru kužele. Zároveň je třeba zajistit to, aby kužel na malém průměru centricky přiléhal. Z těchto důvodů jsou v každé výrobní dávce připraveny tři varianty pouzder, které mají tento rozměr odstupňován po 0,05 mm.








Obrázek 22 Vstupní materiál (vlastní zprac.)

7.3.2 Strojní vybavení montážní linky

Tabulka 1 Strojní vybavení montážní linky (vlastní zprac.)

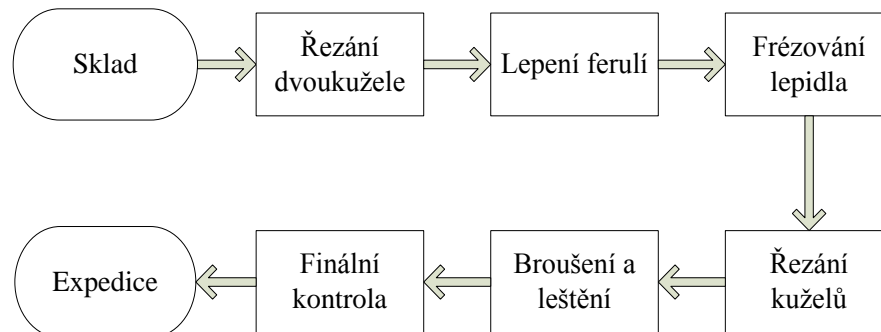
Operace Lepení	1 ks pila Winter W150A		Řezání dvoukuželů Řezání kuželů
	1 ks horkovzdušná pec Heraus		Vytvrzování lepidla na lepení
	1 ks frézovací zařízení		Odstranění lepidla po operaci lepení

Operace Broušení a leštění	1 ks brousící stroj Putch		Ruční předbroušování čelních ploch
	1 ks leštící stroj Leico OPH450 1 ks brousící stroj Leico OPH450		Poloautomatické leštění čelních ploch Poloautomatické broušení čelních ploch
	1 ks dvoupoložiční leštící stroj PM300		Poloautomatické leštění čelních ploch
	1 ks horkovzdušná pec Memmert		Vytavování endoskopických kuželů z brousícího přípravku
	1 ks čisticí ultrazvukové zařízení Branson		Finální čištění endoskopických kuželů znečištěných tmelem

7.3.3 Technologický postup

Výroba endoskopických kuželů probíhá ve výrobních dávkách. Na obrázku 23 je znázorněn technologický postup výroby, jenž probíhá v šesti krocích.

Po vychystání zakázky ze skladu musí operátor neobrobený kužel uříznout pomocí pily. Z důvodu ulehčení další manipulace napřed vzniká tzv. dvoukužel. Nařezání samostatných kuželů se děje až dodatečně.



Obrázek 23 Schéma technologického postupu výroby (vlastní zprac.)

Operace *Lepení ferulí* je značně náročná na spotřebu technologického času. Probíhá v cyklech ve třech krocích. Nejprve je lepen větší průměr kuželů. Po výběru odpovídajícího průměru pouzder a přípravě lepidla je zalepen jeden konec dvoukužele. Poté je nutno lepidlo vytvrzovat po dobu jedné hodiny v konvekční peci. Po této době je na lepenou stranu dvoukužele nanesen věnec lepidla, který zajistí hermetické uzavření dutiny pouzdra. Následuje opět vytvrzování v peci po dobu jedné hodiny.

Tentýž postup je aplikován i pro druhou stranu dvoukužele. Navíc je nutno lepené spoje ještě jednou nechat vytvrzovat v peci po další dvě hodiny. Takto zpracované polotovary jsou poté pomocí oboustranné lepicí pásky fixovány na přípravky.

Následuje lepení malého průměru dvoukuželů. Po přípravě lepidla je pomocí dávkovače na určenou plochu nanášeno lepidlo. Finální část operace spočívá ve zrání lepidla po definované dobu.

Dalším krokem je operace *Odfrézování lepidla* z malého průměru dvoukuželů za pomoci frézovacího vřetena. Odstranění přebytečného lepidla je nutné k dosažení rovnoměrného opracování čelních ploch při broušení.

Operace *Řezání kuželů* zajistí, že zpracované dvoukužely jsou od sebe operátorem odděleny za pomoci pily na jednotlivé kusy.

Operace *Broušení a leštění* je nejvýznamnější z hlediska využití strojního zařízení v celé lince. Brusič obsluhující zařízení má v první fázi za úkol naplnit brusný, resp. leštící přípravek polotovarem přicházejícím z předchozích operací. Ten je ručně usazován do otvorů v přípravku. Přípravky jsou po nasadování umístěny na topnou desku, kde jsou

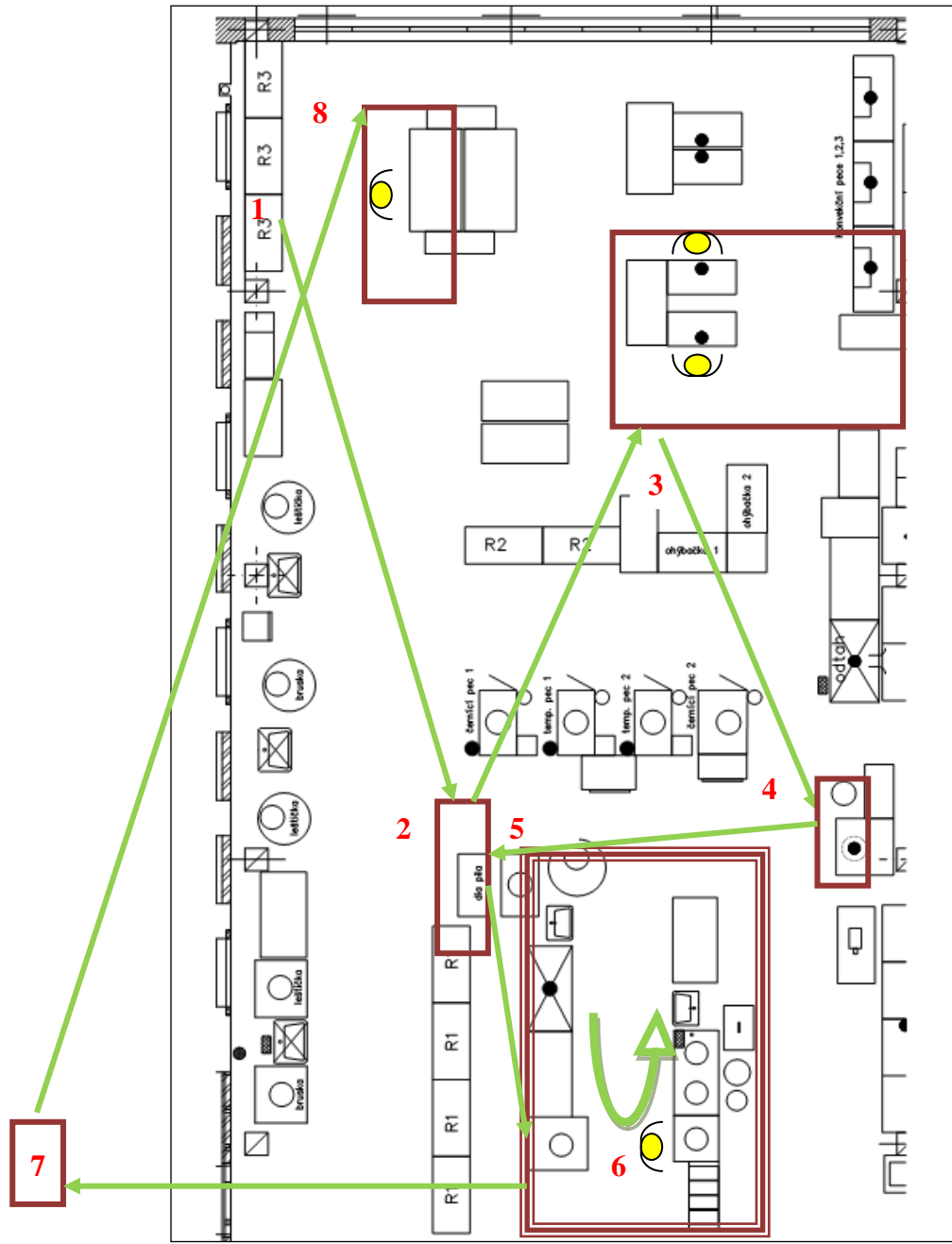
společně s polotovary zafixovány tekutým tmelem. Po zatuhnutí se výrobky ručně předbrušují na hladinové brusce, aby se eliminoval vznik nekvality u následujících operací. Broušení kuželů se provádí pomocí brusné suspenze na kovovém kotouči. Brousí se oba konce výrobků. Následující krok je leštění. Proces leštění se provádí pomocí leštící suspenze na leštícím stroji PM300 nebo OPH450. Po opracování jsou výrobky uvolňovány z přípravků v horkovzdušné peci, kde po určité době tmel zkapalní a výrobky padají na určené místo. Závěrečnou fází je čištění výrobků a přípravků znečištěných tmelem. Provádí se v ultrazvukovém čisticím zařízení. Vzhledem k velikosti a hlučnosti mycí linky je tato umístěna samostatně.

Na operaci *Finální kontrola* jsou 100% vizuální kontrolou vyhodnocovány defekty, které vznikly následkem předcházejících procesních kroků. Operátor vadné produkty nejen posuzuje a třídí, ale provádí i jejich částečnou korekci přelepením, pokud to charakter vad umožňuje. Opravy se zpracovávají zvláště v k tomu určeném přípravku o 32 pozicích.

7.3.4 Layout linky

Na obrázku 24 je znázorněno rozmístění jednotlivých pracovišť montážní linky, které je řešeno formou buněk. Už na první pohled je vidět, že pracoviště nejsou rozmístěna ideálně ani vzhledem k délce dopravních cest ani co do napřímění materiálového toku. Důvodem je to, že výrobní linka je včleněna do jedné haly s jinou procesně příbuznou výrobní linkou pro dentální medicínu, přičemž pracoviště nejsou vzájemně nijak dotčena. Za povšimnutí stojí operace *Broušení a leštění*, která je koncipována ve tvaru „U“ buňky, což napomáhá k efektivnější obsluze strojních zařízení tohoto procesu. Rozestavení zařízení v „U“ buňce však z hlediska materiálového toku není úplně vhodné. Zejména vytavovací pec a předbrušovací stroj jsou umístěny daleko od ostatních zařízení. Ultrazvukové mytí je vzhledem k velikosti a hlučnosti mycí linky umístěno zcela samostatně. Obsluha musí k myčce při průměrném vytížení ujít několikrát za směnu vzdálenost přibližně dvacet pět metrů tam i zpět.

Vzhledem k tomu, že výroba endoskopických kuželů probíhá v dávkách, nemusí aktuální rozmístění pracovišť hrát zásadní roli v plynulosti celého procesu. Jednoznačně však přispívá k plýtvání ve formě nadbytečných pohybů pracovníků a přesunu materiálu. Dalším argumentem ke změně layoutu je i zvýšená výrobová zmetkovitost. V této situaci je od pracovníků vyžadována vysoká úroveň komunikace, v čemž současné rozmístění pracovišť rovněž nevyhovuje.



Obrázek 24 Materiálový tok ve výrobě endoskopických kuželů (vlastní zprac.)

LEGENDA:

- | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 1) Příprava zakázek ze skladu | 2) Řezání dvoukuželů | 3) Lepení ferulí |
| 4) Frézování lepidla | 5) Řezání kuželů | 6) Broušení a leštění |
| 7) Ultrazvukové mytí | 8) Finální kontrola | |

7.4 Mapování toku hodnot

Pro určení úzkého místa a detailní přehled o současném stavu výrobního procesu využiju metodu VSM. Aplikace této metody si žádá provést další dílčí analýzy a výpočty uvedené v následujících podkapitolách.

Výběr reprezentativního hodnotového toku není v tomto případě složitý, jelikož portfolio výrobků analyzované výrobní linky představuje jednu rodinu se stejným technologickým postupem (viz. kapitola 7.2). Dodavatel komponentů pro výrobu - mateřská společnost Schott AG, figuruje zároveň i jako zákazník. Řízení výroby je zajištěno přes IS SAP a probíhá na týdenní bázi. Poklesne-li skladové množství daného typu výrobku v Schott AG pod stanovenou pojistnou zásobu, je systémem vygenerována objednávka. Komponenty jsou z centrály dodávány 1x/týden. Expedice hotové výroby probíhá rovněž 1x/týden, kdy je vyskladněna veškerá plánovaná produkce.

Při stanovení výrobního taktu lze vycházet z dat za fiskální rok 2013, ve kterém objem výroby dosáhl 177 497 expedovaných výrobků. Při 252 pracovních dnech vychází průměrná denní objednávka z tohoto množství na 705 kusů. Čistý fond směny je 450 minut (30 minut doba přestávek). Po výpočtu je zákaznický takt linky po $\frac{3}{4}$ roku na úrovni 38 sekund/kus.

Jiná situace ovšem nastane ve chvíli, kdy se projeví zvýšená poptávka. Pokud vezmeme v potaz měsíc s nejvyšší poptávkovou špičkou, kde objem výroby dosáhl 20 874 expedovaných výrobků, takt v tomto období při 21 pracovních dnech dosáhne hodnoty 27 sekund/kus (994 ks/den).

7.4.1 Náměr cyklových časů

Tabulka 2 představuje zjištěné procesní časy jednotlivých operací a stav rozpracované výroby před danou operací. Cyklové časy operátorů byly vzhledem k existenci dávkové výroby přepočítány podle počtu kusů v dávce, která pro tři nejčastěji vyráběné produkty činí 1548 ks. Operace Lepení je ve skutečnosti složena ze čtyř dílčích operací. Výrazný podíl zaujímá samotné lepení kovového pouzdra na kužel, který pro celou výrobní dávku trval 16,83 hodin včetně dvacetiminutové přípravy lepidla. Po ukončení lepení je nutno počítat s dvoudenním zráním lepidla, což je proces nepřidávající hodnotu. Při procesu řezání je jako jediném nutno počítat s přetypováním, jelikož pila je částečně využívána i pro jiné

výroby. To se projevuje i v dostupnosti tohoto zařízení. Čas přetypování činil při řezání dvoukuželů 7 minut a při řezání na jednotlivé kužely 5 minut.

Tabulka 2 Procesní data operací (vlastní zprac.)

Procesní data					Rozpracovaná výroba	
Lepení	C/T (s)	C/O (min)	Up time	Počet operátorů	Počet dávek před/na operaci	Počet kusů v dávce
Řezání dvoukuželů	3	7	50%	2	2 / 1	1548
Lepení	39,0	0	-		0 / 1	1548
Frézování	3,5	0	100%		2 / 0	1548
Řezání kuželů	4,5	5	50%		0 / 0	1548
Broušení a leštění	C/T (s)	C/O (min)	Up time	Počet operátorů	Počet dávek před/na operaci	Počet ks v dávce
Sadování	4,0	0	-	1	24 / 0	258
Zatavení kusů	1,2	0	98%		0 / 2	258
Předbrušování	2,6	0	-		0 / 0	258
Broušení	33,7	0	97%		4 / 1	258
Leštění	36,0	0	98%		0 / 1	258
Vytavení kusů	4,4	0	98%		0 / 1	258
Ultrazvukové mytí	14,4	0	97%		0 / 1	258
Finální kontrola	37	0	-		1	1 / 1

Operace Broušení a leštění je obsluhována jedním operátorem. Produkce je zpracovávána rozdělením zakázky na dávky po násobcích 258 kusů, což odpovídá počtu plně obsazených pozic brousícího, resp. lešticího přípravku. Operátor pracuje s omezeným počtem přípravků v počtu 11 kusů. V této výrobní buňce můžeme rozlišit cyklové časy operátorů a procesní časy zařízení. Celkový cyklový čas operátora při provádění úkonů - sadování polotovarů do přípravku, zatavení, předbroušení, kontrola kvality při opracování a opětovné vytavení činil 11,1 sekund.

Z procesních časů strojů vynikly stěžejní zařízení celé operace. Procesní čas brousícího stroje činil 2,33 hodin a lešticího stroje pak 2,5 hodin na jednu dávku. Už z tohoto pohledu je vidět, že zpracování jednoho přípravku na obou zařízeních zabere téměř 2/3 čistého fondu směny. Dostupnost zařízení je ovlivněna přípravou brousících a lešticích směsí, výměnou čistící lázně v ultrazvukové myčce a náběhem provozních teplot pecí při zatavení/vytavení výrobků z přípravku.

Finální kontrola je prováděna jedním operátorem. Naměřený cyklový čas operátora činil 37 sekund včetně opětovné kontroly opravených kusů. Podle interních záznamů je průměrně

opravováno – tzn. opětovně lepeno, broušeno, leštěno a znovu vyhodnocováno cca 13% veškeré produkce.

Rozpracovaná výroba činila 18 576 kusů. Pokud nepočítáme s nutným technologickým časem pro vytvrzování lepidla, tak z toho mezioperační zásoba výrobků před operací Lepení činila 3 096 kusů, zásoba před operací Broušení a leštění 6 192 kusů a před operací Finální kontrola 258 kusů. Porovnání naměřených procesních dat se stanovenou časovou normou podniku prokázalo shodu, tzn. že naměřená data lze pokládat za vypovídající.

Aktuální skladová zásoba vstupního materiálu třech nejobrátkovějších výrobků je uvedena v tabulce č. 3. V zásobách jsou zbytečně vázány finanční prostředky, neboť kovová pouzdra by pro všechny tři typy výrobků měla, podle předpokládaných prodejních plánů, vystačit na více než rok.

Tabulka 3 Skladová zásoba materiálu vysoceobrátkových výrobků (vlastní zprac.)

Typ	Kovová pouzdra - všechny rozměry (ks)	počet dávek	Kužel s optickými vlákny (ks)	počet dávek
1192553	86516	55	19332	12
1192022	54823	35	6480	4
562559744	34372	22	10580	6

7.4.2 Celková efektivita klíčových zařízení OEE

Tabulka 4 představuje výpočet celkové efektivity třech klíčových výrobních zařízení operace Broušení a leštění. Tato zařízení byla vytipována na základě zjištěných procesních časů a stavu zásob nedokončené výroby před touto operací. Na zařízeních je plánována každodenní autonomní údržba v délce 30 minut, která spočívá v důkladném čištění těchto zařízení na konci směny a průběžné doplňování provozních kapalin. Záznamy o počtu oprav vykazují téměř bezporuchový provoz těchto strojů, což je diskutabilní. Protože společnost parametr OEE nevyhodnocuje, byla podkladová data sesbírána manuálně pomocí formuláře. Jednotlivé události byly zaznamenávány během jedné pracovní směny.

V současném stavu lze pozorovat nepoměr mezi počtem brusných a leštících zařízení. Pro broušení je využíván stroj Leico OPH450. Pro leštění jsou k dispozici dvě zařízení - další stroj Leico OPH450 a dvoupozici leštící stroj PM300. Jelikož je procesní čas broušení o něco kratší než procesní čas leštění, operátor má k dispozici toto další zařízení, které může ihned využít. Další důvod je i ten, že zde provádí i přeleštění oprav na opravném přípravku. Tento stav ovlivnil i výsledné hodnoty OEE.

Tabulka 4 Výpočet OEE klíčových zařízení procesu (vlastní zprac.)

Brusný stroj Leico OPH450	Dvoupoložiční leštící stroj PM300	Leštící stroj Leico OPH450
Míra využití		
Doba směny = 480 min Doba přestávek = 30 min <u>Kontrola produkce = 15 min</u> Poruchy stroje = 0 min PÚ čištění stroje = 30 min PÚ doplnění brusiva = 9 min $\frac{(480 - 30 - 15) - 39}{480 - 30 - 15} = 0,91$	Doba směny = 2x480 min Doba přestávek = 2x30 min <u>Kontrola produkce = 8 min</u> Poruchy stroje = 0 min Poruchy nezávislé na stroji (chybějící materiál) = 677 min PÚ čištění stroje = 30 min PÚ doplnění leštiva = 5 min $\frac{(960 - 60 - 8) - 712}{960 - 60 - 8} = 0,20$	Doba směny = 480 min Doba přestávek = 30 min <u>Kontrola produkce = 10 min</u> Poruchy stroje = 0 min Poruchy nezávislé na stroji (chybějící materiál) = 105 min PÚ čištění stroje = 30 min PÚ doplnění leštiva = 5 min $\frac{(480 - 30 - 10) - 140}{480 - 30 - 10} = 0,68$
Míra výkonu		
Pracnost na kus = 0,543 min Počet vyrobených kusů = 645 ks (2 + 1/2 přípravku) $\frac{0,543 \times 645}{(480 - 30 - 15) - 39} = 0,88$	Pracnost oprav = 0,313min <u>Počet opravených kusů = 96 ks</u> Pracnost na kus = 0,582 min Počet vyrobených kusů = 258 ks $\frac{0,313 \times 96 + 0,582 \times 258}{(960 - 60 - 8) - 712} = 0,99$	Pracnost na kus = 0,582 min Počet vyrobených kusů = 516 ks $\frac{0,582 \times 516}{(480 - 30 - 10) - 140} = 0,99$
Míra kvality		
Počet neshodných kusů = 0 ks Počet vyrobených kusů = 516 ks $\frac{516 - 0}{516} = 1$	Počet neshodných kusů = 0 ks Počet opravených kusů = 96 ks Počet vyrobených kusů = 258 ks $\frac{96 + 258 - 0}{96 + 258} = 1$	Počet neshodných kusů = 0 ks Počet vyrobených kusů = 516 ks $\frac{516 - 0}{516} = 1$
OEE		
$0,91 \times 0,88 \times 1 \times 100 = \mathbf{80,1\%}$	$0,20 \times 0,99 \times 1 \times 100 = \mathbf{19,8\%}$	$0,68 \times 0,99 \times 1 \times 100 = \mathbf{67,3\%}$

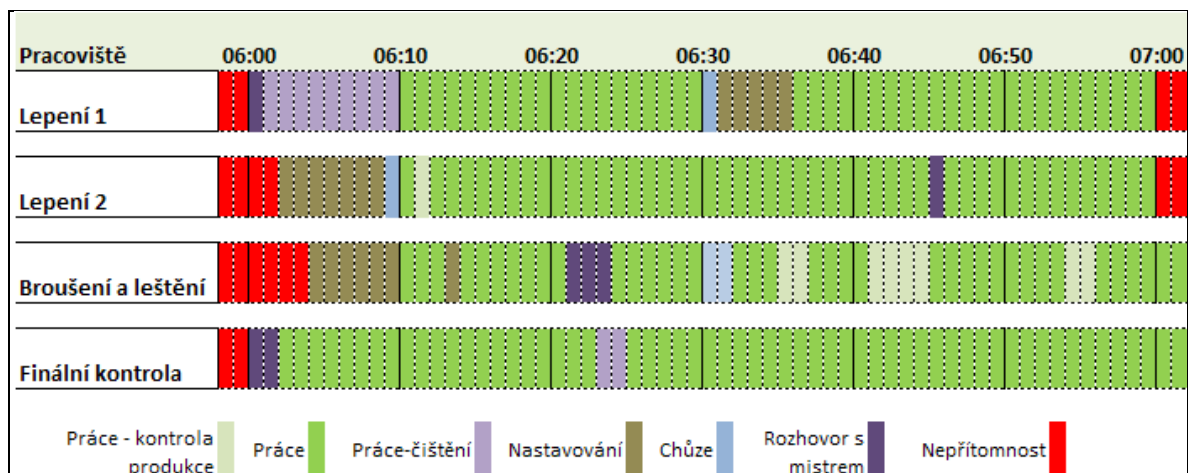
Díky dostatečné míře využití i výkonu dosáhl nejlepšího hodnocení brusný stroj Leico OPH450 – 80,1%. O něco hůře je na tom leštící stroj Leico OPH450, který zejména díky míře výkonu dosáhl výsledné hodnoty 67,3%. Ukazatel míry využití byl ovlivněn tzv. poruchou nezávislou na stroji – chybějícími výrobky. Ta způsobila, že po dobu 105 minut nemohl být stroj v provozu. Nejhůře dopadl leštící stroj PM300. Ukazatel OEE dosáhl hodnoty pouze 19,8%. Na zařízení byl v průběhu směny zpracováván pouze jedna výrobní dávka a tři přípravky s opravami. Vzhledem k existenci dvou pozic na zařízení a poruchou nezávislou na stroji v podobě chybějících výrobků, nebylo zařízení z 80 % vůbec využíváno. Míra kvality na ukazatel OEE u každého sledovaného zařízení nemá vůbec žádný do-

pad. Je to z toho důvodu, že příčina vzniku nekvality vzniká při lepení a žádné z těchto zařízení ji není schopno ovlivnit.

Výsledky poukazují na možný potenciál ve zlepšení celkové efektivity zařízení, který spočívá v omezení poruch nezávislých na stroji, což jsou v tomto případě chybějící výrobky pro zpracování.

7.4.3 Analýza náběhu směny

Vzhledem k převládajícímu podílu ruční práce operátorů linky je k poznání účinnosti procesu pro výrobu endoskopických kuželů a k odhalení možných rezerv zapotřebí analyzovat i jejich práci. Analýzu náběhu směny jsem zvolil kvůli rozdílnému začátku směn operátorů a managementu společnosti. Největší nedostatek se vyskytl u pracovníků operace Broušení a leštění a Lepení², kteří se prezentovali pozdním příchodem na pracoviště. Z hlediska plýtvání strávili v první pracovní hodině operátoři 1,7 % času chůzí, 2,9 % času rozhovorem s mistrem a 4,6 % času čištěním výrobků. Nastavení pily, příprava lepidla a doplnění brusné směsi do zařízení zabralo 7,5 % času.



Obrázek 25 Náběh směny na pracovištích (vlastní zprac.)

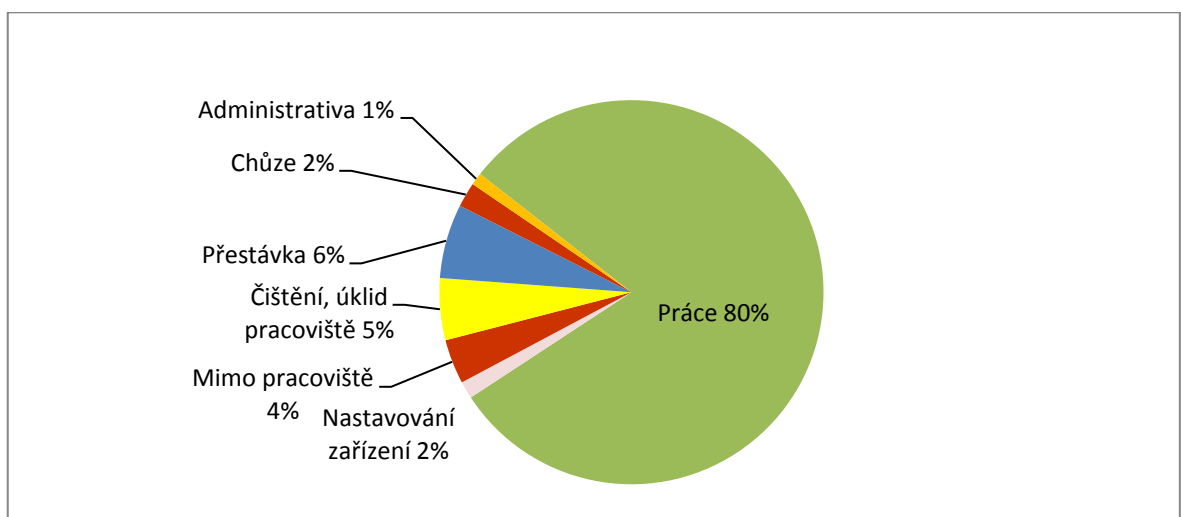
7.4.4 Snímek pracovního dne operátorů

Analýza pracovního dne byla provedena u všech čtyř operátorů pracujících na endoskopické lince. Snímkování proběhlo během jednoho pracovního týdne. Na jednotlivých operacích jsem zaznamenal tyto činnosti s následujícími výsledky:

- **Řezání:**
 - kontrola vstupního materiálu dle kusovníku
 - tisk aktuálního výkresu z IS

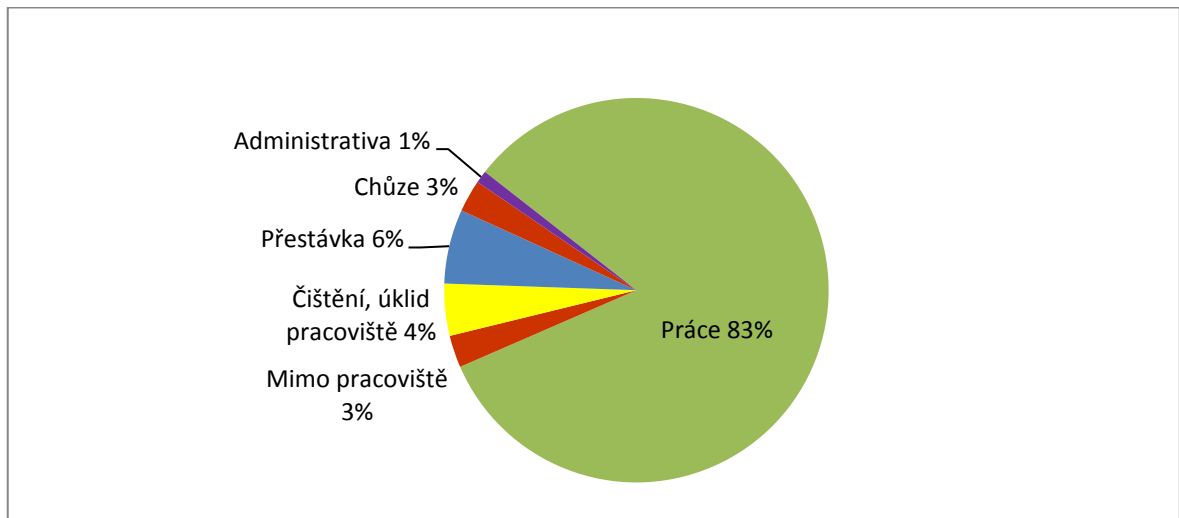
- nastavení řezacího přípravku pily
- oživení diamantového kotouče pomocí brusného kamene
- kontrola prvního kusu
- obsluha pily
- zaznamenání pracovního výkonu do IS
- čištění pracoviště
- **Lepení:**
 - čištění kovových pouzder ethanolem
 - výběr nejvhodnějšího rozměru pouzdra k jednotlivým vláknovým kuželům
 - příprava lepidla
 - lepení pouzder na kužely z optického vlákna
 - vytvrzování lepidla v peci
 - kontrola lepidla vzhledu lepidla po vytvrzení
 - zaznamenání pracovního výkonu do IS
 - úklid pracoviště

Na obrázku 26 je znázorněna struktura činností pracovnice Lepení. Ta po začátku směny prováděla řezání dvoukuželů. Po nařezání polotovaru přešla k operaci lepení. Práce činila 80%. Asi 4% pracovní doby se pracovnice nenacházela na pracovišti. Rezerva je také v nadbytečné chůzi, což je způsobeno umístěním pily, jedním centrálním místem pro přípravu lepidel a umístěním PC pro navádění výkonu do IS mimo linku.



Obrázek 26 Časový snímek dne na operaci Lepení 1 (vlastní zprac.)

Obrázek 27 znázorňuje využití druhé pracovnice operace Lepení. Práce činila 83%. Operátorka se 4% pracovní doby nacházela mimo pracoviště. Ostatní rezervy v nadbytečné chůzi a administrativě mají stejnou příčinu jako v předcházejícím případě.



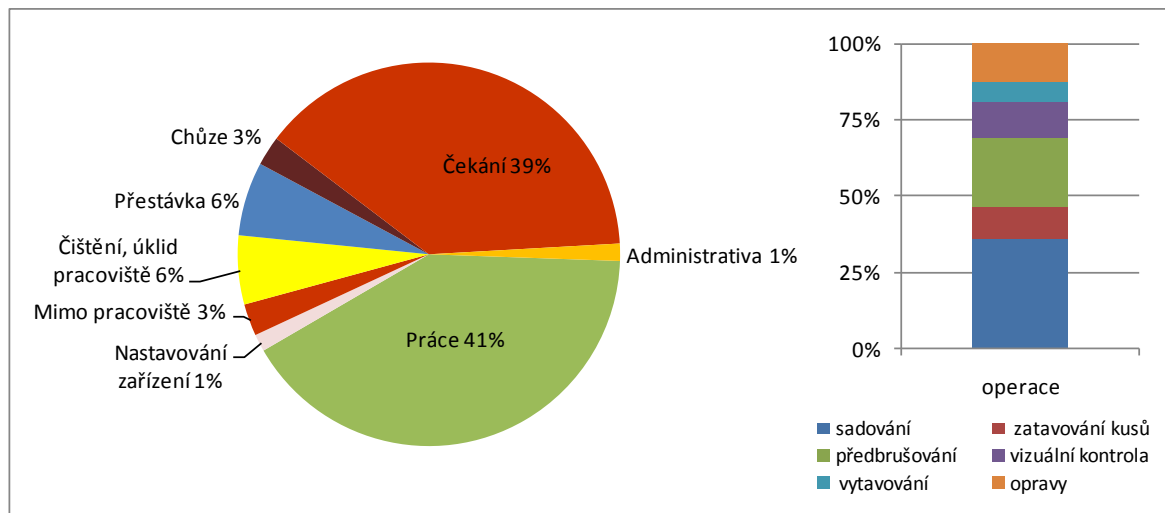
Obrázek 27 Časový snímek dne na operaci Lepení 2 (vlastní zprac.)

• **Broušení a leštění:**

- doplnění provozních náplní do zařízení
- sadování endoskopických kuželů do brousícího/leštícího přípravku
- příprava fixovacího tmelu
- zafixování endoskopických kuželů v brousících/leštících přípravcích
- ruční předbrušování
- rozložení endoskopických kuželů po jejich vytavení z pece
- průběžná kontrola rozměrů a kvality čelních ploch po broušení a leštění
- chůze k ultrazvukové myčce
- obsluha všech strojních zařízení
- provádění oprav přebroušením a přešetřením
- zaznamenání pracovního výkonu do IS
- čištění strojů a úklid pracoviště

Obrázek 28 znázorňuje časový snímek dne na operaci Broušení a leštění. Práce brusiče činila pouze 41%. Největší podíl činilo sadování endoskopických kuželů do brousících přípravků a ruční předbrušování, což koresponduje s předchozími náměry cyklových časů. Nezanedbatelnou část práce tvořilo i provádění oprav přebroušením a přešetřením. Čekání operátora na volné přípravky k sadování, způsobené dlouhými procesními časy brusného a

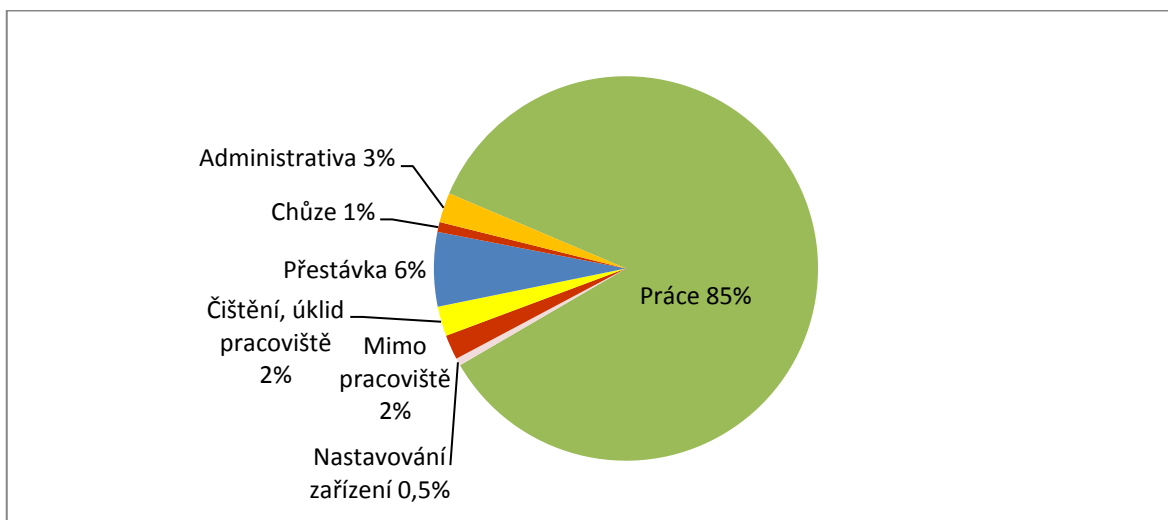
leštícího zařízení, činilo v den snímkování 39%. Další rezervy lze spatřit v dodržování pracovní doby a chůzi k myčce.



Obrázek 28 Časový snímek dne na operaci Broušení a leštění (vlastní zprac.)

• Finální kontrola:

- 100% kontrola všech výrobků dle daných kritérií
- vyhodnocování možnosti oprav
- příprava lepidla
- provádění oprav opětovným lepením
- administrativní úkony při ukončování zakázky
- zaznamenání pracovního výkonu do IS
- úklid pracoviště



Obrázek 29 Časový snímek dne na operaci Finální kontrola (vlastní zprac.)

Využití pracovní doby pracovnice kontroly vykázalo nejlepší výsledek (viz. obrázek 29), když práce činila 85% sledovaného času. Rezervy (chůze, příprava lepidla, mimo pracoviště) kopírují nedostatky předchozích operací.

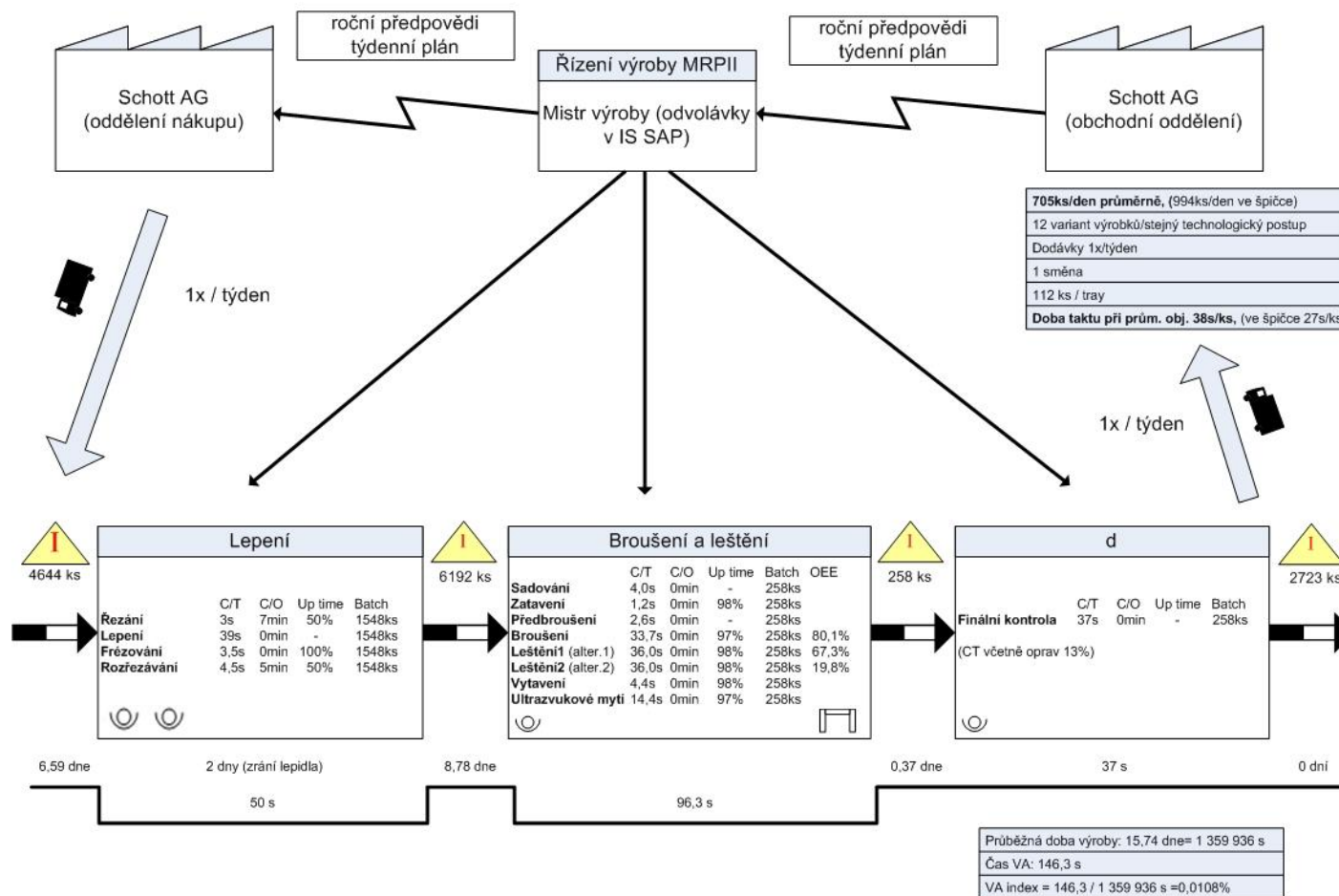
Závěr analýzy snímkování pracovního dne operátorů je takový, že existují určité rezervy v nadbytečné chůzi operátorů a dodržování časového fondu směny. Jako největší zdroj plýtvání ve formě čekání byla identifikována operace Broušení a leštění, kde pracovník 39 % svého času vyčkával na dokončení procesních časů strojů a uvolnění přípravků k sadování.

7.4.5 Mapa toku hodnot

Na základě zjištěných skutečností je na obrázku 30 zachycena mapa toku hodnot. Mapa stávajícího stavu ve své horní části znázorňuje informační toky, četnost dodávek materiálu a expedice výrobků i hlavní informace o zákazníkovi. Tím je mateřská společnost Schott AG. Důležitým parametrem je zákaznický takt, který je vyjádřen ze dvou pohledů – na úrovni průměrné poptávky a na úrovni nejvyšší poptávkové špičky fiskálního roku 2013. Mapa byla tvořena v měsíci s očekávanou průměrnou poptávkou a proto bylo s hodnotou objemu výroby odpovídající této poptávce kalkulováno při výpočtu VA-indexu.

Mapa ve své dolní části dále zachycuje jednotlivé operace rozdělené do tří hlavních bloků, jejichž součástí jsou i všechny dílčí kroky operací. U těch jsou v tabulce vyjádřeny cyklové časy operátorů, procesní časy zařízení, časy přetypování a dostupnost zařízení. U klíčových zařízení operace Broušení a leštění jsou vyjádřeny zjištěné parametry OEE. Protože byly výsledné hodnoty tohoto parametru ovlivněny poruchou nezávislou na stroji - chybějícím materiálem z předcházející operace, nebude s nimi kalkulováno v úpravě procesního času. Cyklový čas operace Finální kontrola obsahuje i čas nezbytný pro opravy (viz. bod 7.4.2). Mezi bloky je dále zachycen aktuální stav rozpracované výroby a po operaci Finální kontrola také skladová zásoba finálních produktů.

V rámci mapování hodnotového toku je potřeba nejprve rozlišit časy přidávající hodnotu a časy hodnotu nepřidávající. V tomto případě jde o cyklové časy operátorů u bloku operací Lepení a cyklové časy operátora i procesní časy zařízení bloku operací Broušení a leštění. Časem hodnotu nepřidávajícím je dvoudenní zrání lepidla po lepení a také operace Finální kontrola. Celková zjištěná průběžná doba výroby 15,74 dne. Index přidané hodnoty dosáhl hodnoty pouze 0,0108%, což signalizuje výrazný potenciál pro zlepšení.

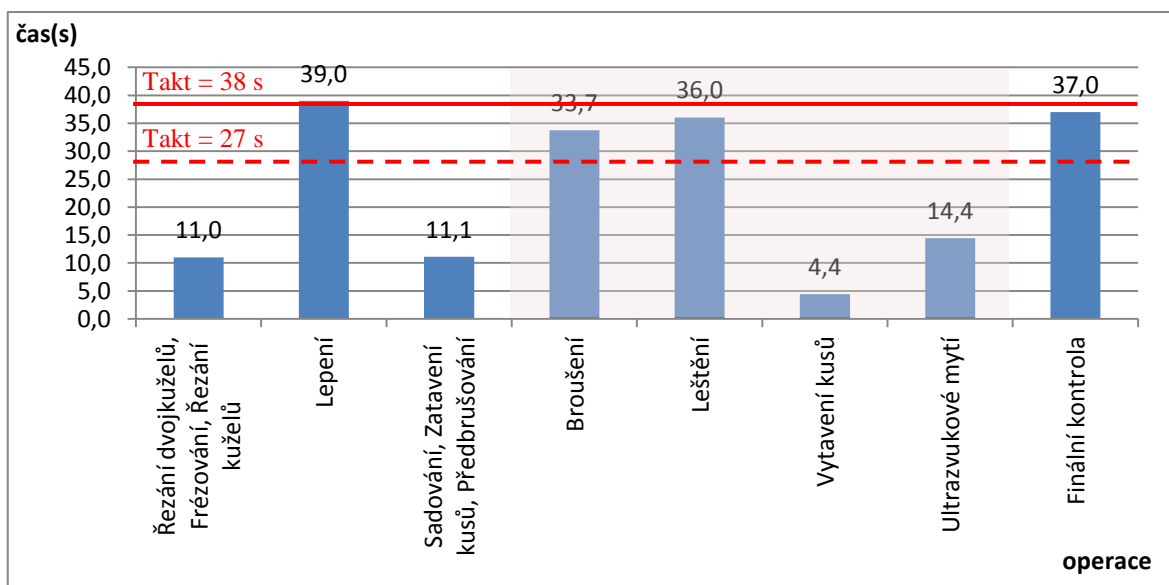


Obrázek 30 Mapa hodnotového toku – současný stav (vlastní zprac.)

7.5 Vyvážení linky

Současné vyvážení linky zobrazuje obrázek 31. Při průměrné poptávce lze hovořit o vyváženosti mezi stěžejními operacemi linky. Cyklové časy operátorů lepení i finální kontroly a procesních časů broušícího a leštícího stroje se pohybují kolem hranice doby taktu. Vzhledem k existenci dávkové výroby pracuje druhý operátor Lepení na dílčích operacích Řezání dvoukuželů, Frézování a Řezání kuželů pouze, když je potřeba. Pokud se zaměříme na součet cyklových časů operátora Broušení, vidíme zde nesoulad oproti nejvyšším procesním časům strojů, což má za následek vznik prostojů. Teoretický počet operátorů nutných k obsluze linky vychází v případě průměrné poptávky na 2,51 operátorů.

V případě poptávkové špičky je patrný vznik úzkých míst v procesu. Operace Lepení, Řezání a Frézování však v tomto případě obsluhují dva operátoři a tak úzkým místem montážní linky zůstávají procesní časy poloautomatického broušení a leštění, které mají za následek práci přesčas. Stejně jako i finální kontrola produktů. Teoretický počet operátorů nutných k obsluze linky vychází v případě poptávkové špičky na 3,63 operátorů.



Obrázek 31 Vyvážení operací montážní linky – současný stav (vlastní zprac.)

8 SHRUTÍ ANALYTICKÉ ČÁSTI

Z hlediska možností optimalizace montážní linky pro endoskopii ve společnosti Schott CR, s.r.o. vykazala provedená analýza určité možnosti pro zlepšení. Analýza byla provedena pro vybranou rodinu výrobků, která díky stejnému technologickému postupu zahrnuje většinu produktů. Výrazným problémem se z důvodu politiky minimálních skladových zásob stávají poptávkové špičky, na které je nutno pružně reagovat přesčasovými hodinami. Proto jsem se v dílčích kapitolách zaměřil na určení úzkého místa procesu a analýzu možných zdrojů plýtvání, jejichž eliminace by mohla přispět k urychlení průběžné doby výroby zakázek.

Analýza materiálového toku odhalila možné rezervy v současném umístění pracovišť, které vzhledem k existenci dávkové výroby sice nemusí hrát zásadní roli v plynulosti celého procesu, avšak jednoznačně přispívá k plýtvání ve formě nadbytečných pohybů pracovníků a přesunu materiálu.

Analýza a tvorba mapy toku hodnot si vyžádala zajištění dalších skutečností. Provedl jsem náměr cyklových časů operátorů a procesních časů zařízení. Rovněž jsem zjistil aktuální stav mezioperačních zásob a skladových zásob vstupního materiálu u třech nejjobrátkovějších výrobků. Zjištěný výskyt nadměrných skladových zásob polotovaru je zdrojem plýtvání. Následovala analýza celkové efektivity klíčových strojních zařízení, která poukázala na možný potenciál ve zlepšení míry využití těchto zařízení. Ten spočívá v omezení poruch nezávislých na stroji, což jsou chybějící výrobky z operace Broušení, které je úzkým místem procesu.

Po vytvoření mapy toku hodnot jsem vypočítal index přidané hodnoty. Celková průběžná doba výroby přesahovala, na základě aktuálních zásob rozpracované výroby a průměrného požadavku, dobu 15 dní. Čas přidávající hodnotu byl pouze 146 sekund. Index přidané hodnoty tedy dosáhl úrovně pouze 0,0108%, což signalizuje výrazný potenciál pro zlepšení.

Komplexní obraz, i vzhledem k převládajícímu podílu ruční práce operátorů linky, podal snímek pracovního dne a analýza náběhu směny. Jako největší zdroj plýtvání ve formě čekání jsem identifikoval operaci Broušení a leštění, kde pracovník 39 % svého času vyčkával na dokončení procesních časů strojů a dostupné přípravky k sadování.

V závěru jsem se zaměřil na stav vyvážení jednotlivých operací linky. Nesoulad cyklového času operátora na operaci Broušení a leštění má oproti nejvyšším procesním časům strojů za následek vznik plýtvání ve formě prostojů operátora. V případě poptávkové špičky je patrný vznik úzkých míst v procesu – na operaci Broušení a leštění i Finální kontrole.

9 PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ ZLEPŠENÍ STAVU VÝROBNÍHO PROCESU

9.1 Zadání a definování projektu

Název projektu: Projekt optimalizace montážní linky v podniku SCHOTT CR, s.r.o. divizi Lighting and Imaging.

Cíl projektu: cílem projektu je nalézt realizovatelné řešení vedoucí ke zvýšení účinnosti procesu montáže endoskopických kuželů v následujících okruzích:

1. Zvýšit průchodnost zakázek úzkým místem tak, aby průtok umožňoval dosažení předpokládaných objemů výroby při současném rozvržení pracovní doby operátorů.
2. Zvýšit míru využití zdrojů operace Broušení a leštění – tj. zefektivnit využití pracovní doby operátora a využití klíčových zařízení.
3. Zkrátit průběžnou dobu výroby pomocí optimalizace velikosti výrobní dávky a vybalancování pracovišť.
4. Upravit layout pracovišť tak, aby došlo ke zkrácení dopravních cest a napřímení materiálového toku.

Projektový tým:

Bc. Jiří Zálešák – mistr výroby Endoskopie, student FaME UTB, vlastník procesu

Ing. Jaroslav Pavela, MBA – Division Manager Lighting and Imaging, schvalovatel

Zbyněk Hanusch – mistr údržby, technická podpora

Omezení projektu: omezení projektu spočívá v následujících faktorech:

- charakteru procesu
- vlastnické struktury a struktury řízení
- přijatelné doby návratnosti vložené investice

Výrobu produktů pro segment Medicína charakterizují změnová řízení s nejistým výsledkem, protože ta musí být často konzultována se zákazníkem. Proto z hlediska nastavených procesů existují omezení, která nedovolují uhýbat z definovaných postupů (např. proces zrání lepidla). Rovněž vlastnická struktura omezuje rozhodování o větších investicích. Struktura řízení a provázanost procesů s mateřskou společností znemožňují provádět změny okamžitě a mnohdy záleží na ochotě a uvážení odpovědných pracovníků v mateřské

společnosti, zda mají tyto změny šanci na zavedení do praxe (např. tahový systém Kanban). Doba návratnosti investice je společností stanovena do dvou let.

Rizika projektu:

- Nedodržení termínů a prodloužení projektu.
- Nepochopení ze strany operátorů, možné konflikty a neochota ke spolupráci.
- Nedostupnost některých informací, statická použitých nástrojů PI.

Časový harmonogram projektu: celková délka trvání projektu je 4 - 5 měsíců, viz. tab. 5

Tabulka 5 Časový harmonogram projektu (vlastní zprac.)

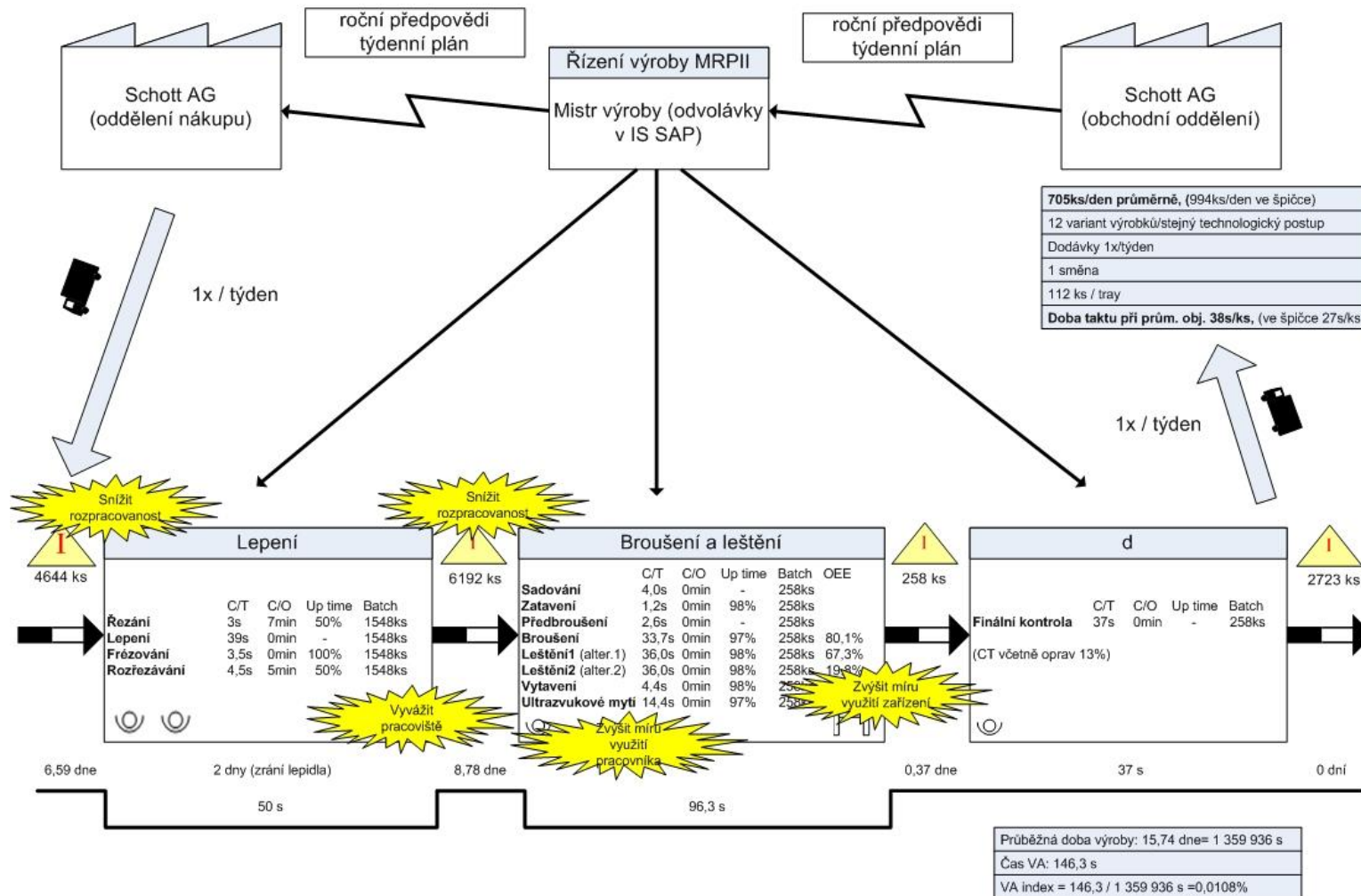
	X/13	XI/13	XII/13	I/14	II/14	III/14	IV/14
Zadání projektu							
Analýza současného stavu výrobního procesu (sběr dat, tvorba mapy hodnotového toku)							
Vyhodnocení analytické části (tvorba budoucí mapy hodnotového toku)							
Vypracování základního modelu dynamické simulace výrobního systému a jeho verifikace							
Návrh řešení a provedení simulačních experimentů							
Posouzení přínosů a výběr nejlepší varianty							
Návrh nového layoutu							
Závěrečná prezentace managementu							
Realizace vybraného řešení							

9.2 Návrh postupu a nástroj projektového řešení

Mapa toku hodnot je statický nástroj, pomocí nějž jsem získal zevrubný přehled o stavu sledovaného procesu. Pro výběr správného projektového řešení je však nutné se zabývat vývojem systému po delší časové období. Proto hlavním nástrojem projektové části bude simulační software Tecnomatix Plant Simulation od firmy Siemens, který je určen pro simulaci diskretních událostí, tedy i výrobních systémů.

Obrázek 32 znázorňuje problémová místa v budoucí mapě toku hodnot, kterými se budu zabývat v jednotlivých kapitolách při hledání optimálního řešení. V rámci diplomové práce a vzhledem k výše uvedeným omezením jsou v mapě toku hodnot navržena zlepšení v oblasti operací a velikosti mezioperačních zásob.

Nejprve je ale potřeba vytvořit a popsat základní simulační model, který bude odpovídat zjištěnému reálnému výrobnímu procesu.



Obrázek 32 Mapa hodnotového toku – budoucí stav - definování problémových míst (vlastní zprac.)

9.2.1 Tvorba a dokumentace základního modelu

Základní model jsem vytvořil pro celou montážní linku. Model využívá hierarchizaci, základní *Frame* „Dilna“ představuje vyšší úroveň modelu, což jsou tři základní operace – „Lepeni“, „Brouseni_a_lesteni“ a „Finalni_kontrola“. Pomocí rozhraní jsem první dvě operace propojil s *Frame* nižších řádů, což umožnilo lepší orientaci v modelu. Tu podporuje i grafické rozdělení layoutu na dílčí segmenty podoperací, které odpovídají reálnému rozmístění pracovišť. Rozdělení jsem provedl v módu vektorové grafiky programu.

Vazby mezi všemi objekty v modelu jsem propojil pomocí funkce *Connector*. Kvůli lepšímu rozlišení jsem pomocí funkce editace ikon upravil ikony jednotlivých operací tak, aby odpovídaly danému procesu. V každém *Frame* jsem vynesl objekty *Workerpool*, *Broker* a *ShiftCalendar*. Délku směny jsem nastavil pro každého operátora na 480 minut s 30 minutovou přestávkou. Pomocí objektu *Broker* jsem pro každý *Frame* přes objekt *Worker* nadefinoval čtyři konkrétní pracovníky – Tomáše, Miladu, Petru a Karlu. U nich bylo dále potřeba umožnit jejich vygenerování pomocí tabulky „Creation Table“. Dále jsem provedl vazbu objektu *Workerpool* s výrobním systémem přes objekt *Foothpath*. K vizualizaci využitelnosti pracovníků jsem použil objekt *WorkerChart*, zobrazení vytíženosti zařízení zajistil objekt *Chart*.

U objektů *SingleProc* a *ParallellProc*, které jsem považoval za klíčové, jsem pomocí funkce *DisplayPanel* umožnil zobrazovat aktuální stav entit. Stejný postup jsem zvolil i u objektů *Buffer*, které v případě *Frame* nižších řádů představují odkládací plochy, v případě hlavního *Frame* pak mezioperační zásoby. Aktuální stav se ve *Frame* „Lepeni“ zobrazuje po 1548 kusech, v dalších dvou *Frame* po 258 kusech. Důvod je ten, že v reálném procesu je dávka od operace Broušení a leštění změněna.

Nezbytné bylo nastavení všech atributů objektů. U objektů *SingleProc* a *ParallellProc*, které obsluhuje *Worker*, jsem v záložce „Importer“ provedl jeho aktivaci a k řízení přiřadil objekt *Broker*. U pracovišť, mezi kterými *Worker* přenáší entity po cestě (objekt *FoothPath*), jsem nastavil Exit strategie. Pro to, aby *Worker* věděl, které stroje má obsluhovat dřív, zde také bylo nutné nastavit atribut „Priority“. Určení priorit eliminovalo zkreslení výsledků simulace ve formě vzniku front před úzkými místy. Pro věrohodnost modelu bylo důležité nastavit zjištěné parametry strojů. Ty jsem u každého stroje nastavil v záložce „Times“, kde jsem doplnil procesní časy a časy přetypování zjištěné v analýze (7.4.1.). Obdobným způsobem jsem nastavil i cyklové časy objektů *Worker*. U strojů jsem dále

v záložce „Failures“ nastavil zjištěnou preventivní údržbu, kterou jsem vztáhl k času simulace. Přiřazení údržby k objektu *Worker* jsem nastavil v záložce „Failure Importer“. Vzhledem k tomu, že v analýze nebyla zjištěna výrazná míra poruchovosti strojů, nebylo možno poruchy vůbec přiřadit do systému.

U objektů *Buffer* jsem nastavil jejich kapacitu a metodu vyskladnění FIFO. V případě, kde bylo nutné, aby entity setrvaly po určenou dobu na skladu i atribut „Dwell time“.

Do systému vstupuje několik entit, které jsem vytvořil na základě zjištění v analytické části. Jejich ikony jsem kvůli lepšímu přehledu při průchodu výrobním systémem graficky rozlišil. Konkrétně jde o entitu „Polotovár“, která představuje tažené kužely ze skleněného optického vlákna a dále pak entitu „Ferule“, což představuje nerezová kovová pouzdra. Po průchodu celým *Frame* „Lepení“ je výsledkem montáže entita „Endoskopy“, která pokračuje během simulace až k výstupu. K vytvoření modelu odpovídajícímu skutečnému stavu bylo ještě nutné vytvořit entitu „Opravy“, která je generována ve *Frame* „Broušení_a_lestění“.

V příloze 1 je vyobrazen základní *Frame* „Dilna“. Na vstupu do procesu jsem umístil objekt *Source*, který představuje sklad polotovaru. Pomocí cyklické sekvence je v konstantním intervalu sedmi dní generována entita „Polotovár“. Tabulka „Generování_polotovaru“ zajišťuje, že entity jsou generovány v dávce po třech kusech. Tato dávka představuje tři výrobní zakázky po 1548 kusech v reálném výrobním procesu. Na výstupu figuruje objekt *Drain*, který značí expedici hotové výroby. Nad objektem jsem nastavil zobrazení počtu odchozích entit. Mezi operacemi „Lepení“ a „Broušení_a_lestění“, které představují vstup do nižších řádů, jsem umístil objekty *Buffer* symbolizující mezioperační zásoby. *SingleProc* „Finalni_kontrola“ obsluhuje *Worker* Karla. Do tohoto *Frame* jsem naprogramoval dvě metody, které zajišťují jednorázové naplnění obou objektů *Buffer*, tedy skladů mezioperačních zásob, dvěma dávkami. Vzhledem k existenci těchto metod nedojde ke zkreslení výsledků simulace nižším využitím pracovníků a strojů než by k nim dorazila první entita. Tyto metody jsou iniciovány pomocí metody „Init“ při spuštění simulace. V tomto *Frame* je ještě umístěna metoda „Vypocet_rozpracovanosti“, která průběžně vypočítává rozpracovanost v celém systému v intervalu jedné hodiny. Výslednou hodnotu poté převádí na materiálové náklady podle skutečně zjištěných cen polotovaru (vážený průměr třech nejbrátkovějších výrobků fiskálního roku 2013). Výsledky zobrazuje pomocí globální proměnné.

Příloha 2 zobrazuje *Frame* „Lepení“. Ze základního *Frame* vstupuje do systému entita „Polotovár“, která je přemístěna do objektu *Buffer*, což je mezioperační zásoba před první operací. Kapacitu objektu *Buffer* jsem omezil na 3 dávky, což je více než předpokládaná týdenní produkce při průměrné poptávce. Pomocí *ParallelProc* „Rezání“ jsem zajistil, aby *Worker* při příchodu na toto pracoviště zpracoval celou týdenní dávku najednou, což koresponduje s reálným procesem. V dalším kroku do systému vstupuje objekt *Source*, který generuje entitu „Ferule“. Objekt generuje tyto entity bez omezení. Objekt *Source* „Generování_ferulí“ jsem propojil s objektem *Assembly*, který představuje proces lepení. Protože v reálném procesu existují dvě pracoviště, na kterých je možno provádět lepení, tak i zde jsem vytvořil dvě paralelní větve složené z těchto objektů. Po nastavení následovníka v záložce „Attributes“ je výstupem z objektu *Assembly* nová entita – „Endoskopy“. Následující objekt *Buffer* symbolizuje proces zrání lepidla. Atribut „Dwell time“ jsem nastavil na dobu 48 hodin. Po tuto dobu budou entity setrvávat uvnitř objektu *Buffer*. Nad objektem *SingleProc* „Rozřezávání“ jsem nastavil zobrazení počtu odchozích entit. Celý *Frame* obsluhují dva pracovníci - *Worker* Petra a Milada. Směnový kalendář jsem upravil tak, aby odpovídal naplánovanému výrobnímu množství. Tento krok zajistil efektivní využití pracovníků. Do tohoto *Frame* jsem naprogramoval metodu, která zajišťuje jednorázové naplnění všech třech objektů *Buffer*, tedy odkládací ploch, po jedné dávce.

Příloha 3 vyobrazuje *Frame* „Broušení a leštění“. Prvním objektem v materiálovém toku je objekt *DismantleStation*. Pomocí něj jsem zajistil rozdělení dávky 1548 kusů na šest menších dávek po 258 kusech, což bylo nezbytné pro odpovídající následovný postup entity systémem. Tomuto objektu jsem přiřadil procesní čas 0,1 sekund. Dále je entita „Endoskopy“ zpracovávána montáží pracovníka postupně ve třech objektech *SingleProc* – „Sadování_kusu, Zatavení_kusu a Predbroušení“.

Další opracování probíhá v objektu *SingleProc* „Broušení“, ze kterého se materiálový tok dělí na tři paralelní větve. Exit strategii jsem u tohoto objektu nastavil tak, aby distribuce entit do těchto větví probíhala způsobem, že bude vybírán následovník s nejmenším relativní vytížeností. Z důvodu existence dvou leštících zařízení v reálném procesu tyto větve obsahují *SingleProc* „Lštění1“, *SingleProc* „Lštění2_pozice1“ a *SingleProc* „Lštění2_pozice2“. Paralelní proces z toho důvodu, že v případě „Lštění_2“ se jedná o dvoupoziční zařízení. Po opracování entity se tyto větve v systému opět spojí. Na konci materiálového toku ve *Frame* jsem umístil *SingleProc* „Vytavení“ a *SingleProc* „Ultrazvukové_mytí“, mezi nimiž jsem nadefinoval cestu k myčce *FoothPath* v délce 50 metrů. Nad

objektem *SingleProc* „Ultrazvukove_myti“ jsem nastavil zobrazení počtu odchozích entit. Tomuto objektu jsem také přiřadil vlastní směnový kalendář, protože při vsázce poslední dávky na konci směny může mytí dále probíhat po další hodinu zcela samostatně. Objekty *Workerplace* u všech zařízení od *SingleProc* „Broušení“ dále jsem v záložce „Times“ upravil tak, že jsem u nich nastavil atributy „Loading time“, resp. „Unloading time“ podle skutečností zjištěných v analýze (7.4.1). Celý *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ obsluhuje *Worker* Tomas.

Vznik nekvality v reálném procesu a následné opravy bylo rovněž nutné implementovat do systému. Proto je součástí tohoto *Frame* samostatná větev, ve které je pomocí objektu *Source* generována entita „Opravy“. Generování entity probíhá v konstantních intervalech tak, aby celkový počet entity „Opravy“ na konci simulace dosáhl přibližně 13% odchozích entit „Endoskopy“ (7.4.1). Část opracování (broušení) této entity probíhá na zařízení, které je v reálném procesu umístěno vedle výrobní buňky a má univerzální charakter a další část (leštění) probíhá na dvoupozicičním leštícím zařízení OPH (7.4.2). Proto jsem do modelu za objekt *ParallelProc* „Lesteni2“ umístil objekt *FlowControl*, který zajišťuje třídění entit podle jejich jmen. Entita „Opravy“ je tímto objektem posouvána na výstup *Drain*, který zaznamená počet odvedených entit. Kvůli zpracování dvou entit na jednom zařízení jsem nastavil procesní čas zařízení na „List (place)“ pomocí tabulky, ve které jsem definoval čas zpracování pro každou entitu zvlášť.

V tomto *Frame* jsou ještě umístěny dvě metody. Metoda „Vypocet_rozpracovanostiBL“, průběžně vypočítává rozpracovanost ve *Frame* v intervalu dvaceti minut. To je důležité pro kontrolu počtu přípravků, který je v reálném systému omezen. Jejich aktuální počet v systému se zobrazuje pomocí globální proměnné. Druhá metoda „Naklady“ vypočítá dobu odpracovanou pracovníkem a výslednou hodnotu převádí na osobní náklady podle skutečně zjištěné mzdové sazby (včetně výdajů za SP, ZP).

Celkový čas simulace jsem pomocí objektu *EventController* nastavil tak, aby obsahovala 21 pracovních dní, což koresponduje s parametry pro výpočet doby taktu v bodě 7.4.

9.2.2 Omezení modelu

Protože je simulační model chápán jako zjednodušení reálné situace, je potřeba zdůraznit i jeho nedostatky. I když rodina analyzovaných endoskopických kuželů vykazuje stejný technologický postup, procesní časy zařízení se mohou nepatrně lišit. Kvůli chybějícím datům to však nebylo možné implementovat. Model dále nezohledňuje zpracování různých

technologických zkoušek, jejichž výskyt je nepravidelný. Ze stejného důvodu - nedostatku dat, v modelu nefiguruje poruchovost zařízení. V layoutu modelu jsou zakresleny nejdůležitější spojovací trasy, po kterých se pracovníci pohybují. Vazby mezi stroji ve výrobní buňce broušení jsou kvůli nepatrným vzdálenostem spojeny pomocí konektorů. Všechny výše zmiňované skutečnosti mohou mít vliv na zkrácení kapacitního využití strojů i pracovníka.

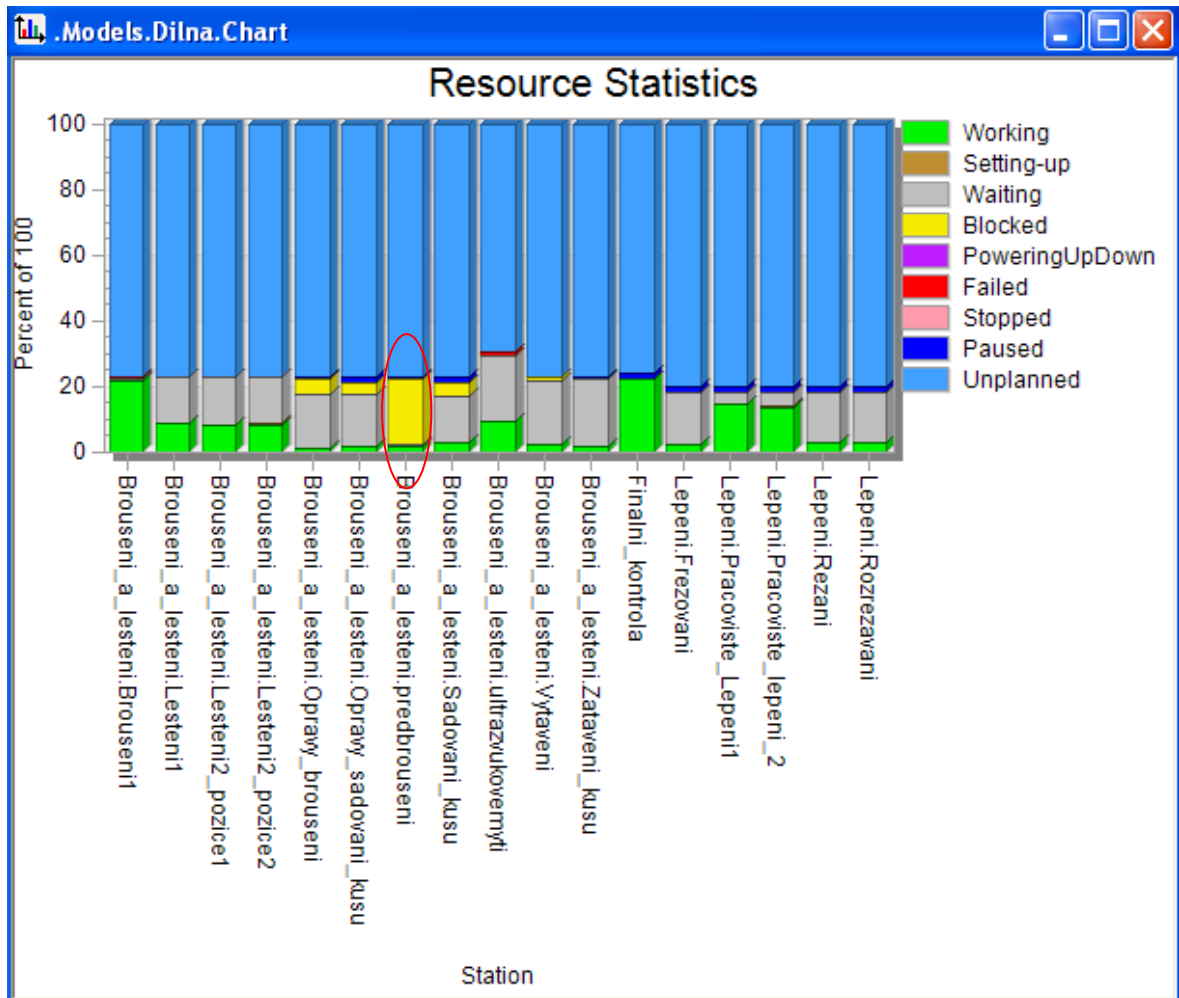
9.2.3 Verifikace základního modelu

Provedená simulace základního modelu vykazovala následující výsledky (viz. příloha 1 - 3):

- odpracováno bylo 157,5 pracovních hodin – tj. 21 pracovních dní
- stav odvedených výrobků po operaci Lepení 15 480 kusů, Broušení 15 996 kusů, po Finální kontrole 15 480 kusů
- počet zpracovaných oprav 2 240 kusů
- celkový stav rozpracované výroby v modelu 18 060 kusů, mezioperační zásoba před operací Lepení 0 kusů, Broušení 1 548 kusů, před Finální kontrolou 1290 kusů
- maximální počet přípravků v oběhu na operaci Broušení a leštění – 11 kusů
- mzdové náklady včetně odvodů SP a ZP – 19 407 Kč
- materiálové náklady vázané v rozpracované výrobě a mezioperačních zásobách – 238 392 Kč
- stav využití pracovníků – operátor Lepení1 – 96%, Lepení2 – 94%, Broušení a leštění – 42%, Finální kontrola – 100%
- maximální indikovaná průběžná doba výroby jedné entity 21 dní 3 hodiny a 54 minut

Využití zařízení zobrazuje obrázek 33. Protože je v modelu obsazena pouze jedna směna, nenaplánovaný čas dne, znázorněný pomocí modré barvy, tvoří nejvýraznější část grafu. Důležitý je však čas zbylý – plánovaný. Tak jako v reálném procesu, i zde se výrazně projevuje úzké místo v *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.Brouseni1“. Dostupný čas tohoto procesu je plně využitý, zatímco dostupný čas procesu předcházejícího *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ je téměř celý blokován, což je v grafu signalizováno žlutou barvou. Zablokování v simulačním modelu značí, že stroj nemůže poslat opracovaný polotovár dál, dokud se na následující operaci neuvolní místo.

S odchylkou 5% koresponduje výstup ze základního modelu s počtem reálně odvedených výrobků při průměrné měsíční poptávce. Odchylka modelu v rozpracovanosti je oproti zjištěnému stavu rozpracované výroby 14%, což je vzhledem ke statickému nástroji VSM akceptovatelný rozdíl.



Obrázek 33 Využitelnost zařízení – základní model (výstup z aplikace Plant Simulation)

9.3 Opatření na eliminaci úzkého místa – sim. experiment 1 - 6

Simulační model vykázal obdobný potenciál ve zlepšení jako výsledky předcházejících analýz. K eliminaci úzkého místa procesu přicházejí do úvahy tři varianty řešení:

- nákup nových přípravků s větším množstvím pozic
- nákup nového stroje – dvoupozčního brousícího zařízení
- repase stávajícího leštícího dvoupozčního stroje PM 300 na brousící, repase stávajícího brousícího stroje LEICO OPH 450 na leštící -> 2x leštící stroj LOH 450, 1x brousící dvoupozční stroj PM 300

Zhodnocení variant je potřeba provést s ohledem na objem výroby zjištěný v kapitole 7.4 – průměrnou měsíční poptávku ve výši 14 792 kusů (uvažované období 3/4 roku) a nejvyšší zaznamenanou poptávkovou špičku ve výši 20 874 ks (uvažované období 1/4 roku).

9.3.1 Varianta 1 - nákup přípravků s větším množstvím pozic

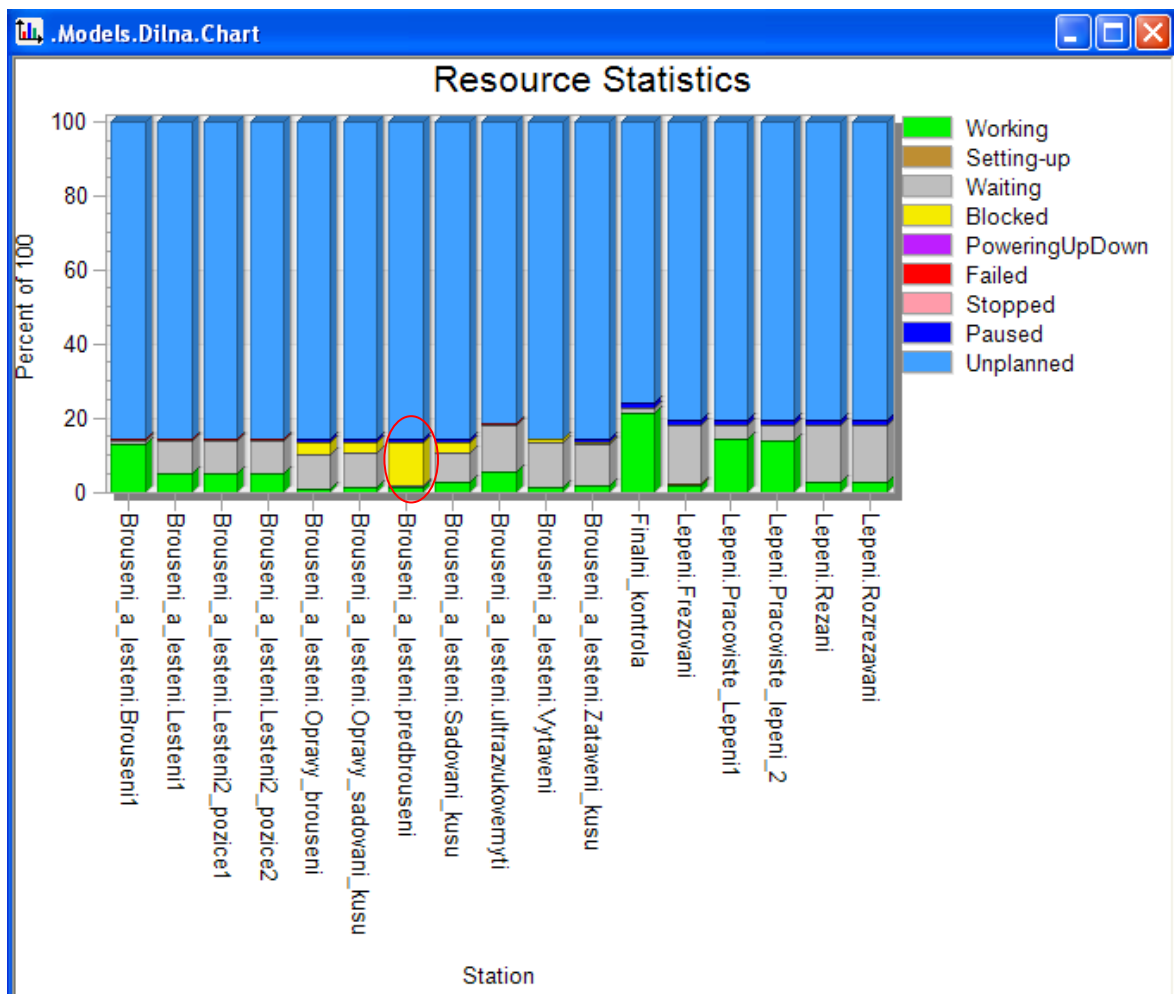
Větší množství pozic v přípravcích zajistí rychlejší průchod zakázky operací Broušení a leštění. Technickým omezením je funkční prostor zařízení a průměr brousícího a lešticího kotouče. Pro úspěšnou realizaci tohoto řešení je možné navýšit počet pozic v přípravcích maximálně o polovinu jejich stávajícího stavu – tzn. na 387 kusů.

Základní model si vyžádal změnu v nastavení objektů ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ (viz. příloha 4). Objekt *DismantleStation* nyní zajistil rozdělení dávky 1548 kusů na čtyři menší dávky po 387 kusech. U všech objektů *SingleProc*, *ParalellProc*, *Buffer* a *Drain* od tohoto místa dále, jsem pomocí funkce „Edit Display Panel“ změnil výši dávky na 387 kusů. U objektů *SingleProc* „Sadovani_kusu“, *ParalellProc* „Zataveni_kusu“ a *SingleProc* „Finalni_kontrola“ jsem rovněž přepočítal cyklové časy operátora. Vzhledem k vyšším investičním nákladům za nové přípravky jsem jejich počet v oběhu omezil snížením kapacity objektů *Buffer* na jednu dávku. Pro dosažení cílových hodnot s minimálními náklady jsem dále redukoval časy ve směnových kalendářích. Ve *Frame* „Dilna“ jsem dále vzhledem k výši dávky upravil metodu „Vypocet_rozpracovanosti“. Tabulka 6 uvádí hodnoty nejvýznamnějších parametrů po provedení simulace:

Tabulka 6 Výsledky simulace – varianta 1 (vlastní zprac.)

	Ø poptávka	popt. špička
Objem výroby - Frame "Lepeni" (ks)	15 480	21 672
Objem výroby - Frame "Brouseni_a_lesteni" (ks)	14 319	23 994
Objem výroby - Frame "Dilna" (ks)	14 706	23 994
Frame "Brouseni_a_lesteni" - počet oprav (%)	11,3%	12,3%
operace Předbroušení - blokováno (%)	11,6%	19,0%
využití operátora Broušení (%)	96,0%	68,0%
využití operátora Lepení 1 (%)	96,0%	68,0%
využití operátora Lepení 2 (%)	94,0%	78,7%
využití operátora Finální kontroly (%)	97,0%	100,0%
stav rozpracované výroby na konci simulace (ks)	20 511	13 545
počet odvedených hodin operátora Broušení (ks)	97,5	157,5
maximální počet přípravků v oběhu (ks)	8	
materiálové náklady rozpracované výroby (Kč)	270 745 Kč	178 794 Kč
mzdové náklady operátora Broušení včetně odvodů SP,ZP (Kč)	12 000 Kč	19 407 Kč

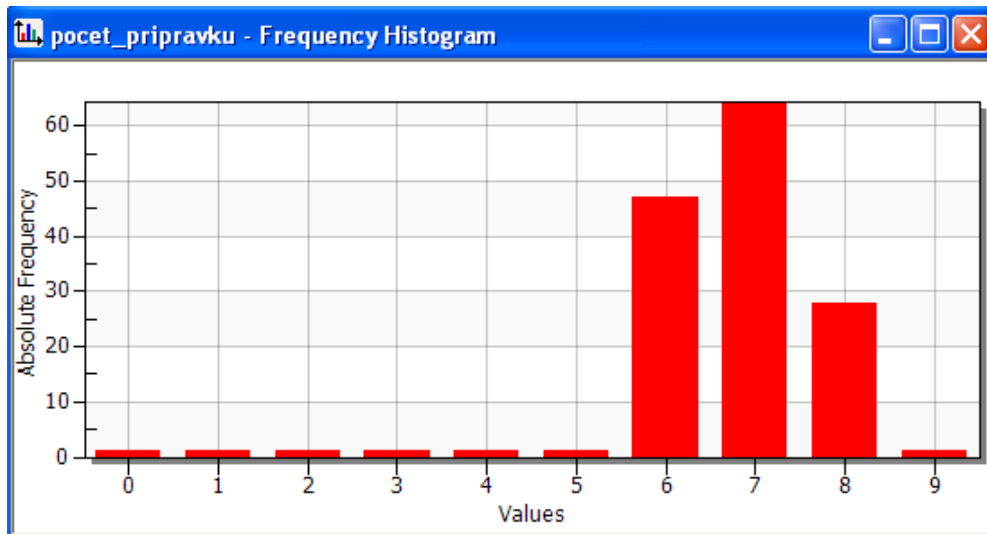
Při průměrné měsíční poptávce bylo na operaci Broušení nutno odpracovat pouze 97,5 hodin, aby byl expedován požadovaný objem výroby. To představuje úsporu 60 hodin oproti výsledku základního modelu. Vytížení operátora u této varianty vzrostlo na 96%, což je zlepšení o více jak 100%. Blokace *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ se snížila na 11,6%. Využití ostatních zařízení zobrazuje obrázek 34. Úzké místo procesu se při tomto nastavení i nadále projevuje v *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.Brouseni1“.



Obrázek 34 Využitelnost zařízení – varianta 1 při průměrné měsíční poptávce (výstup z aplikace Plant Simulation)

Při poptávkové špičce byl spotřebován veškerý čas operátora Broušení. Objem expedované výroby naplnil očekávání a přesáhnul požadovanou hranici. Simulace vykázala vytížení operátora na 68%. Blokace *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ se však snížila pouze o 1%. Úzké místo procesu se v tomto případě i nadále projevuje v *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.Brouseni1“. Obrázek 35 naznačuje, kolik nových přípravků bude potřeba zakoupit. Metoda „Vypocet_rozpracovanostiBL“ zaznamenala, že během simulace

bylo ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ v oběhu nejvíce devět přípravků. Nejčastěji však šest až osm přípravků.



Obrázek 35 Četnost využití přípravků (výstup z aplikace Plant Simulation)

9.3.2 Varianta 2 – nákup nového stroje

Nákup nového stroje vyrovná počet pozic z 1 brousící/3 leštící na 3 brousící/3 leštící. Tím je zajištěna synchronizace mezi těmito operacemi a vznik úzkého místa je eliminován.

Základní model si vyžádal změnu v počtu objektů ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ (viz. příloha 5). Do procesu jsem přidal dva nové objekty - *SingleProc* „Brouseni2_pozice1“ a *SingleProc* „Brouseni2_pozice2“. Tyto objekty jsem na vstupu propojil konektory s objektem *SingleProc* „Predbrouseni“ a na výstupu s objekty *SingleProc* „Lesteni1“, *SingleProc* „Lesteni2_pozice1“ a *SingleProc* „Lesteni2_pozice2“. Vzhledem k vyšším investičním nákladům za nové přípravky jsem jejich počet v oběhu omezil snížením kapacity objektů *Buffer* na jednu dávku. Toto opatření zajistilo maximální využití stávajícího počtu přípravků. Pro dosažení cílových hodnot s minimálními náklady jsem dále redukoval časy ve směnových kalendářích.

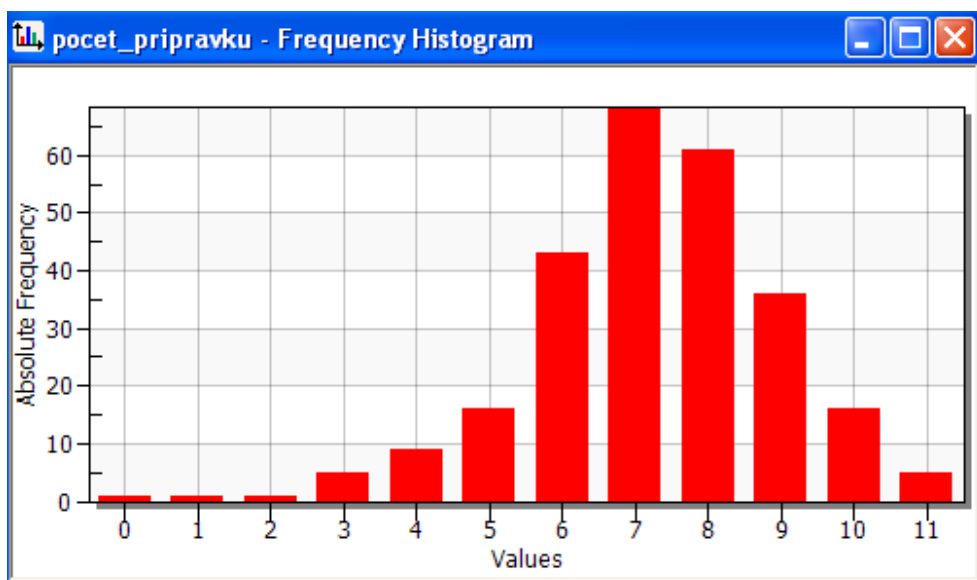
Výsledky simulace ukázaly, že při průměrné měsíční poptávce bylo na operaci Broušení nutno odpracovat pouze 97,5 hodin, aby byl expedován požadovaný objem výroby. To, stejně jako u varianty 1, představuje úsporu 60 hodin oproti výsledku základního modelu. Vytížení operátora u této varianty vzrostlo na 74%, což je viditelné zlepšení. Blokace *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ se snížila na pouhých 0,4%, čímž bylo úzké

místo procesu úplně odstraněno. Tabulka 7 uvádí hodnoty nejvýznamnějších parametrů po provedení simulace:

Tabulka 7 Výsledky simulace – varianta 2 (vlastní zprac.)

	Ø poptávka	popt. špička
Objem výroby - Frame "Lepeni" (ks)	15 480	21 672
Objem výroby - Frame "Brouseni_a_lesteni" (ks)	17 028	21 156
Objem výroby - Frame "Dilna" (ks)	14 964	20 898
Frame "Brouseni_a_lesteni" - počet oprav (%)	12,8%	12,2%
operace Předbroušení - blokováno (%)	0,4%	0,6%
využití operátora Broušení (%)	74,0%	86,0%
využití operátora Lepení 1 (%)	96,0%	68,0%
využití operátora Lepení 2 (%)	94,0%	78,7%
využití operátora Finální kontroly (%)	96,0%	96,0%
stav rozpracované výroby na konci simulace (ks)	18 576	13 158
počet odvedených hodin operátora Broušení (ks)	97,5	127,5
maximální počet přípravků v oběhu (ks)	11	
materiálové náklady rozpracované výroby (Kč)	245 203 Kč	173 685 Kč
mzdové náklady operátora Broušení včetně odvodů SP,ZP (Kč)	12 000 Kč	15 697 Kč

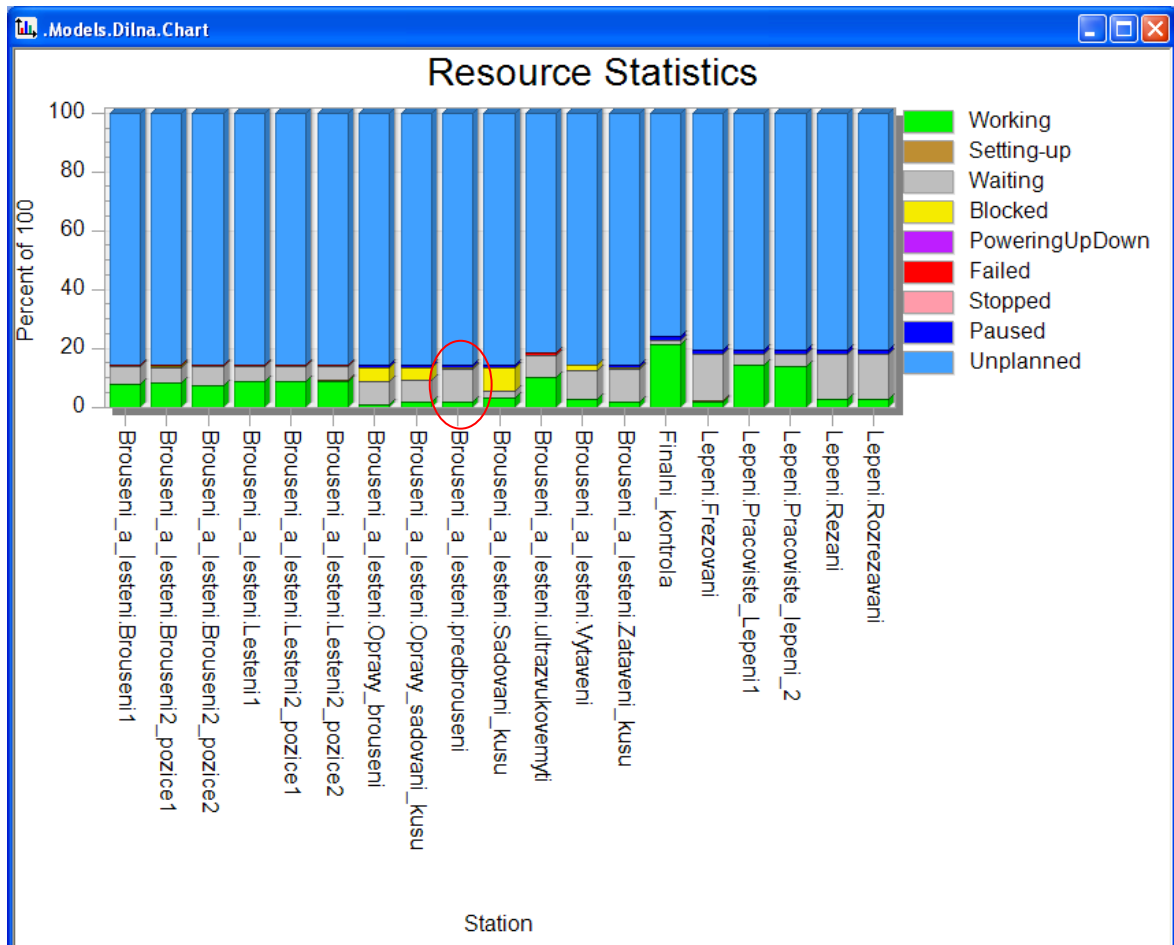
Obrázek 36 uvádí, že metoda „Vypocet_rozpracovanostiBL“ během simulace zaznamenala ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ v oběhu nejvíce 11 přípravků. To potvrdilo funkčnost nastavených omezení.



Obrázek 36 Četnost využití přípravků (výstup z aplikace Plant Simulation)

Na obrázku 37 je zobrazeno využití všech zařízení. Je vidět, že objekt *SingleProc* „Předbroušení“ nebyl blokováno a brusná a leštící zařízení byla během simulace využívána rov-

noměrně. Objekt *SingleProc* „Sadovani_kusu“ vykázal vyšší míru blokace, což bylo způsobeno omezeným množstvím přípravků.



Obrázek 37 Využitelnost zařízení – varianta 2 při průměrné měsíční poptávce (výstup z aplikace Plant Simulation)

Při poptávkové špičce bylo spotřebováno pouze 127,5 pracovních hodin, což představuje 17 směn. Objem expedované výroby i při tomto redukováném počtu směn naplnil očekávání a přesáhnul požadovanou hranici. Simulace vykázala vytížení operátora na 86%. Blokace *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ se tak jako v případě průměrné měsíční objednávky snížila na minimum.

9.3.3 Varianta 3 – repase stávajícího strojního zařízení

Reparse stávajícího leštícího dvoupozíčního stroje PM 300 na brousící a jednorázové přetykování stroje LEICO OPH 450 na leštící zajistí vyrovnání počtu pozic z 1 brousící/3 leštící na 2 brousící/2 leštící. Tím je zajištěna synchronizace mezi těmito operacemi a vznik úzkého místa je eliminován.

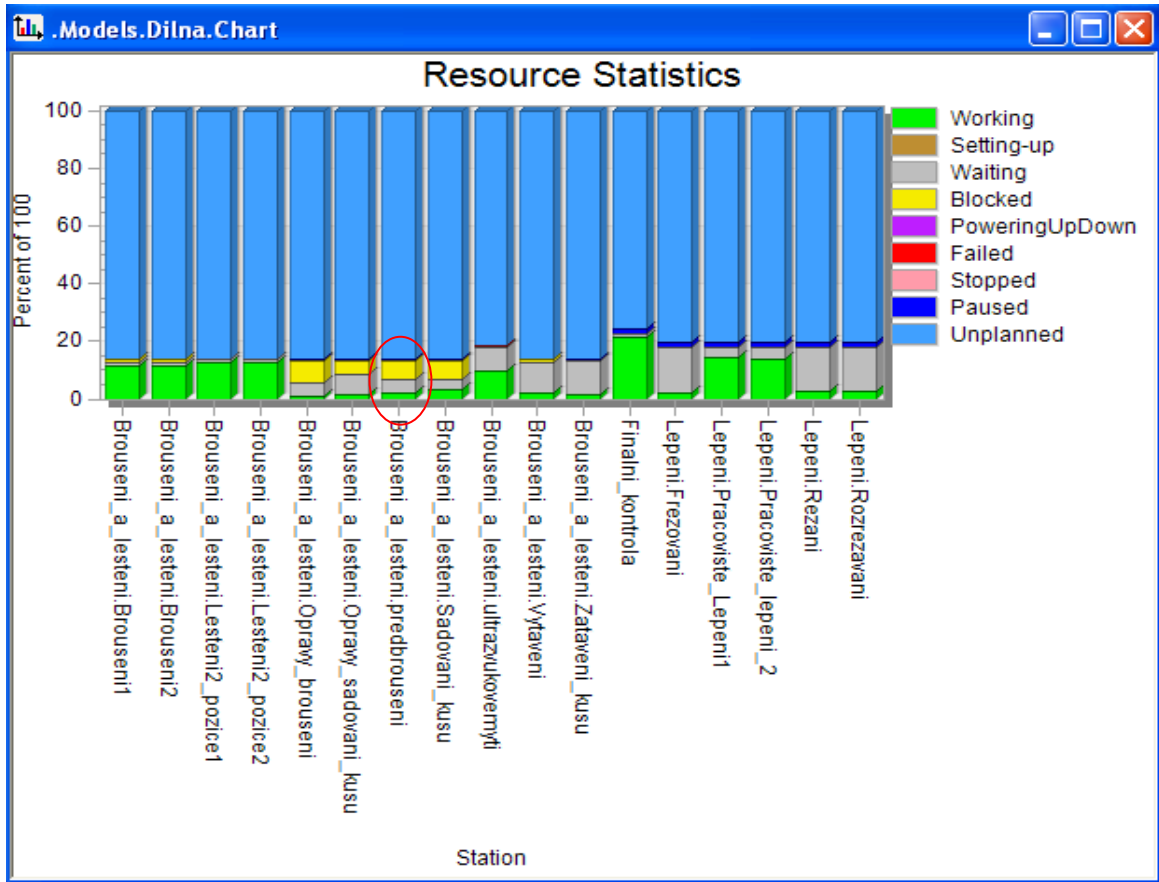
Základní model si vyžádal přenastavení objektů ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ (viz. příloha 6). Objekt *SingleProc* „Lesteni1“ se stal objektem *SingleProc* „Brouseni2“. Dále jsem upravil jeho procesní čas tak, aby byl stejný jako u *SingleProc* „Brouseni1“. Tento objekt jsem na vstupu propojil konektorem s objektem *SingleProc* „Predbrouseni“ a na výstupu s objekty *SingleProc* „Lesteni2_pozice1“, *SingleProc* „Lesteni2_pozice2“. Poté jsem navýšil počet přípravků v oběhu zvýšením kapacity objektu *Buffer* na šest dávek. Toto opatření zajistilo maximální využití pracovníka. Takto nastavený systém nebyl schopen vyprodukovat potřebný počet oprav, proto bylo nutné umožnit zpracování oprav i objektem *SingleProc* „Lesteni2_pozice1“. To jsem zajistil na vstupu propojením konektorem s objektem *SingleProc* „Opravy_brouseni“ a na výstupu s objektem *FlowControl*. Pro dosažení cílových hodnot s minimálními náklady jsem dále redukoval časy ve směnových kalendářích. Tabulka 8 uvádí hodnoty nejvýznamnějších parametrů po provedení simulace:

Tabulka 8 Výsledky simulace – varianta 3 (vlastní zprac.)

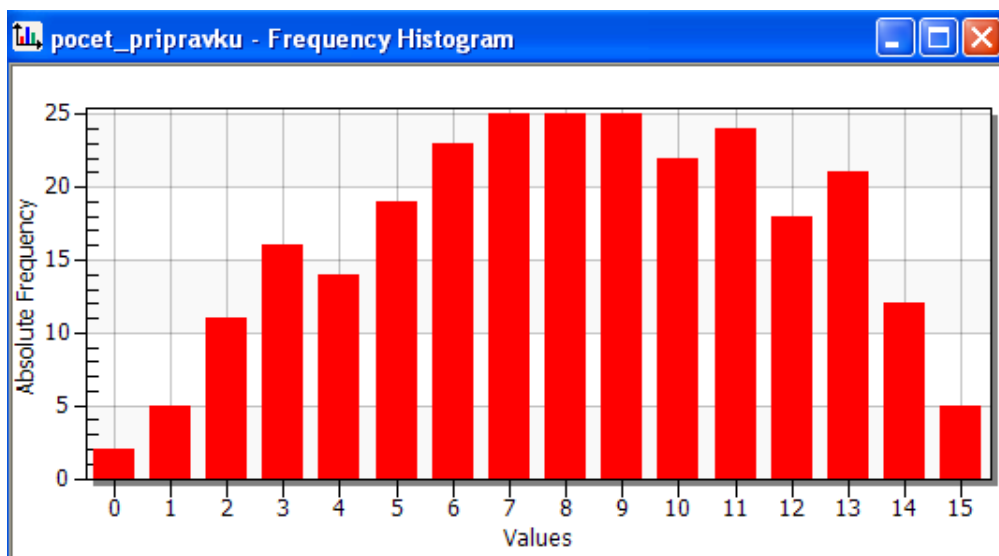
	Ø poptávka	popt. špička
Objem výroby - Frame "Lepeni" (ks)	15 480	21 672
Objem výroby - Frame "Brouseni_a_lesteni" (ks)	16 770	24 768
Objem výroby - Frame "Dilna" (ks)	14 964	23 736
Frame "Brouseni_a_lesteni" - počet oprav (%)	13,3%	13,1%
operace Předbroušení - blokováno (%)	6,4%	9,1%
využití operátora Broušení (%)	88,0%	84,0%
využití operátora Lepení 1 (%)	96,0%	68,0%
využití operátora Lepení 2 (%)	94,0%	78,7%
využití operátora Finální kontroly (%)	96,0%	99,0%
stav rozpracované výroby na konci simulace (ks)	19 350	10 836
počet odvedených hodin operátora Broušení (ks)	97,5	157,5
maximální počet přípravků v oběhu (ks)	15	
materiálové náklady rozpracované výroby (Kč)	255 420 Kč	143 035 Kč
mzdové náklady operátora Broušení včetně odvodů SP,ZP (Kč)	12 000 Kč	19 407 Kč

Při průměrné měsíční poptávce bylo na operaci Broušení nutno odpracovat pouze 97,5 hodin, aby byl expedován požadovaný objem výroby. Stejně jako u předchozích variant to představuje úsporu 60 hodin oproti výsledku základního modelu. Vytížení operátora u této varianty vzrostlo na 88%, což je zlepšení o více jak 100%. Blokace *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.predbrusovani“ se snížila na 6,4%. Využití ostatních zařízení zobrazuje obrázek 38. Ten indikuje, že brusná a lešticí zařízení byla během simulace rovnoměrně využívána. Výsledek simulace ukázal, že v oběhu bylo o čtyři přípravky více než tvoří stávající

stav (viz. obrázek 39). Navýšení počtu přípravků v oběhu zajistilo větší efektivitu práce operátora. Tyto přípravky by bylo nutné dokoupit.



Obrázek 38 Využitelnost zařízení – varianta 3 při průměrné měsíční poptávce (výstup z aplikace Plant Simulation)



Obrázek 39 Četnost využití přípravků (výstup z aplikace Plant Simulation)

Při poptávkové špičce bylo odpracováno 157,5 pracovních hodin. Objem expedované výroby přesáhnul požadovanou hranici. Díky většímu počtu přípravků v oběhu vykazala simulace vytižení operátora na úrovni 84%. Blokace *SingleProc* „Broušení_a_leštění.predbrusovani“ se snížila na 9,1%.

9.3.4 Zhodnocení variant

Příloha č. 7 shromažďuje všechny informace, které jsou důležité pro posouzení a výběr nejvhodnější varianty. Protože výsledky simulace u každé z variant prokázaly schopnost zpracovat stanovený objem výroby v obou sledovaných obdobích, zvolil jsem jako další kritérium pro rozhodování dobu návratnosti investovaných prostředků. Na základě provedených analýz jsem pro výpočet doby návratnosti počítal s tím, že průměrná měsíční poptávka bude tvořit $\frac{3}{4}$ roku a poptávková špička zbývající $\frac{1}{4}$ roku. V každém z těchto období jsem dle dosažených výsledků u provedené simulace vyčíslil úsporu mzdových nákladů operátora oproti stávajícímu stavu. Pro výpočet bylo nezbytné nastínit předběžné investiční náklady jednotlivých variant.

Varianta 1 počítá s pořízením osmi nových přípravků s navýšeným množstvím pozic. Přípravek se skládá z unášeče a základny, která je nezbytná k zafixování polotovaru. Po zafixování se následným procesem pohybuje pouze unášeč. Vzhledem k nutnosti čištění všech přípravků jsou pro efektivní práci potřeba minimálně čtyři kusy základny a osm kusů unášečů. Náklady na výrobu přípravků na jeden set jsou 30 000 Kč a na jeden unášeč 21 000 Kč. Celkem tedy 204 000 Kč.

Varianta 2 počítá s pořízením nového zařízení. K dosažení synchronizace, kdy se vyrovná počet pozic z 1 brousící/3 leštící na 3 brousící/3 leštící je potřeba buďto nové dvoupozíční zařízení PM300 nebo dvě nová zařízení Leico OPH 450. Levnější alternativa je zakoupení PM300, kterou lze pořídit za 310 000 Kč. K tomu je nutno dále připočítat dva nové brusné kotouče ve výši 15 000 Kč za kus. Náklady jsou celkem 340 000 Kč.

Varianta 3 je založena na synchronizaci, kdy se vyrovná počet pozic z 1 brousící/3 leštící na 2 brousící/2 leštící. Počítá s přetypováním stávajícího brusného zařízení Leico OPH na leštící zařízení č. 2 a s repasováním dvojpozíčního leštícího zařízení PM300 a jeho přetypováním na zařízení brousící. Přetypování si kromě času na důkladné vyčištění obou zařízení nevyžádá žádné další náklady. Repase PM300 ale vyžaduje instalaci dvou vysokofrekvenčních měničů nutných k plynulé regulaci otáček kotoučů a dále časovače k automatickému ukončení cyklu. Předběžné náklady činí 35 000 Kč. Dále je nutno

dokoupit jeden kus nového brusného kotouče za 15 000 Kč. Simulace rovněž vykazala nutnost pořízení čtyř nových unášečů, což si vyžádá dodatečné náklady ve výši 72 000 Kč. Celkem tedy 122 000 Kč.

Přehled úspor mzdových nákladů za jeden rok zobrazuje tabulka 9. Nejvyšší roční úsporu vykazala varianta 2, u které bylo omezení v *SingleProc* „Broušení1“ zcela eliminováno. Z hlediska doby návratnosti investice se však jako nejvýhodnější jeví varianta č. 3, která i jako jediná splňuje kritérium společnosti (návratnost < 2 roky, viz. bod 9).

Tabulka 9 Doba návratnosti investice (vlastní zprac.)

	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
	Ø poptávka	špička	Ø poptávka	špička	Ø poptávka	špička
počet odvedených hodin operátora Broušení (hod/měsíc)	97,5	157,5	97,5	127,5	97,5	157,5
mzdové náklady operátora Broušení včetně odvodů SP,ZP (Kč/měsíc)	12 000 Kč	19 407 Kč	12 000 Kč	15 697 Kč	12 000 Kč	19 407 Kč
předpokládaná investice (Kč)	204 000 Kč		340 000 Kč		122 000 Kč	
úspora mzdových nákladů oproti základnímu modelu (Kč/rok)	66 663 Kč	14 232 Kč	66 663 Kč	25 362 Kč	66 663 Kč	14 232 Kč
úspora mzdových nákladů celkem	80 895 Kč		92 025 Kč		80 895 Kč	
doba návratnosti (let)	2,5		3,7		1,5	

9.4 Zkrácení průběžné doby výroby zakázky – sim. experiment 7 - 11

Průběžnou dobu lze v tomto případě definovat jako čas, za který projde výrobek celým výrobním procesem od vychystání zakázky ze skladu až po expedici. Převáděno na model od objektu *Source* „Sklad_polotovaru“ po objekt *Drain* „Expedice“. Pro zkrácení průběžné doby výroby jsem se zaměřil na velikost výrobní dávky a synchronizaci linky.

9.4.1 Změna velikosti výrobní dávky

Pro výrobní dávku existuje v reálném procesu několik omezení. Prvním z nich je zmiňovaný počet pozic v brousicích / leštících přípravcích, na což je nutno brát ohled. Druhým omezením je čas přípravy lepidla na operaci Lepení, který je neměnný pro jakýkoliv počet kusů v dávce. To se negativně projeví s každým snížením velikosti dávky. Změnu velikosti dávky jsem v simulaci vztáhnul k průměrné měsíční poptávce. Aby bylo dosaženo údajů nezkreslených navýšením mezioperační zásoby před *Frame* „Broušení_a_lestení“ a rozdělením entity objektem *DismantleStation*, bylo účelné sledovat tok pouze ve *Frame* „Lepení“.

Změnu výrobní dávky jsem testoval u třech jejích velikostí – 1/2, 1/3 a 1/6 současného stavu 1548 kusů v dávce. Simulační model si vyžádal změnu v nastavení objektů. Pro kaž-

dou velikost dávky jsem u všech objektů *SingleProc*, *ParalellProc* a *Buffer* pomocí funkce „Edit Display Panel“ změnil její výši. Objekt *TableFile* „Generator_polotovaru“ si vyžádal změnu nastavení v počtu dávek, aby bylo zachováno původní množství. U objektů *SingleProc* „Pracoviste_lepeni1“, *SingleProc* „Pracoviste_lepeni2“, *SingleProc* „Frezovani“ a *SingleProc* „Rozrezavani“ jsem rovněž přepočítal cyklové časy operátora. Dále jsem přenastavil metodu, která zajišťuje jednorázové naplnění všech třech objektů *Buffer* tak, aby počet vygenerovaných entit po přepočtu korespondoval s původním stavem. Výstup z *Frame* „Lepeni“ jsem ukončil objektem *Drain*, který po provedení simulace vygeneroval statistický výstup.

V tabulce 10 je přehled nejdůležitějších výsledných hodnot. Z hlediska objemu odvedené výroby po operaci Lepení vykazala simulace její růst u dávky 774 kusů a 516 kusů. Při dávce 258 kusů se objem odvedené výroby snížil. Důvodem je výše zmiňovaný čas přípravy lepidla, který měl v modelu ve všech případech negativní dopad na produktivní čas operátorů. V příloze 8 je detailně zaznamenáno využití objektů *Worker* ve *Frame* „Lepeni“ po úpravě jednotlivých dávek. Při dávce 258 kusů se tento přípravný čas vyšplhal až na 17,9 %, což i při nejnižším dosaženém čase průběžné doby výroby není racionální důvod ke změně. Příloha 9 zobrazuje detailní výsledky jednotlivých variant velikostí výrobních dávek. Srovnávat lze buďto průměrné hodnoty, které jsou ale zkráceny jednorázovým naplněním objektů *Buffer* ihned po spuštění simulace nebo hodnoty maximální. Pro vyhodnocení mě zajímaly hodnoty maximální. Při snížení dávky na poloviční množství 774 kusů simulace zaznamenala zkrácení PDV na operaci lepení o více než čtyři dny, což je redukce o 1/3 původního času. Dávka 516 kusů, resp. 258 kusů PDV dále redukovala až na téměř 1/2 původní doby.

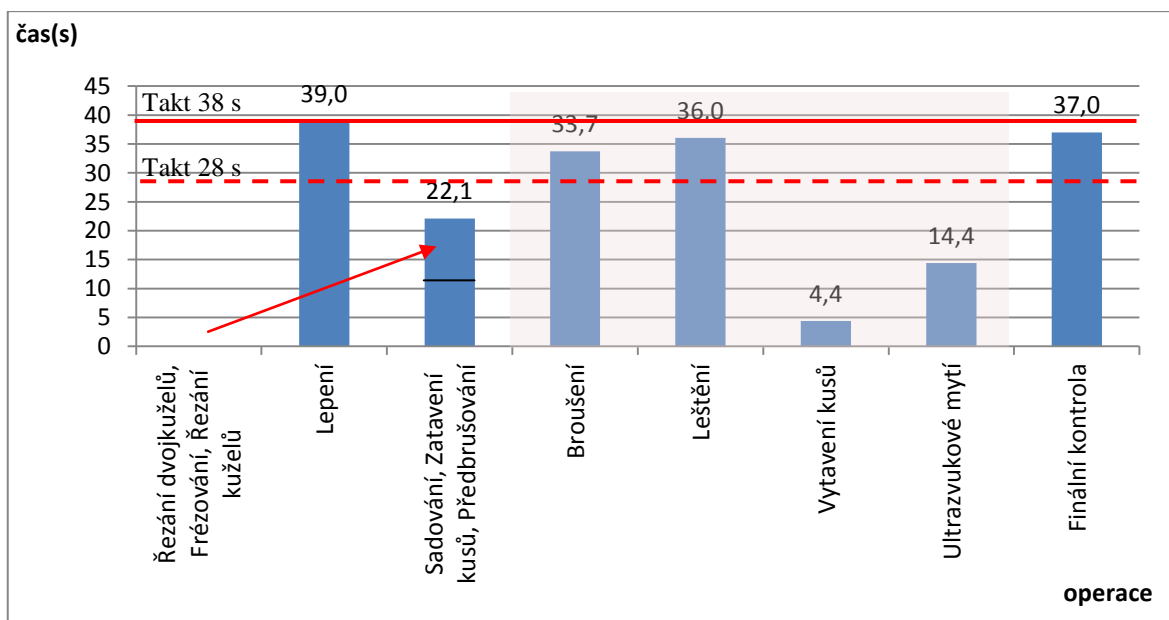
Tabulka 10 Výsledné hodnoty PDV operace Lepení (vlastní zprac.)

	dávka 1548 ks	dávka 774 ks	dávka 516 ks	dávka 258 ks
	Ø objednávka	Ø objednávka	Ø objednávka	Ø objednávka
Objem odvedené výroby - Frame "Lepeni" (ks)	15 480	16 254	17 028	14 964
Working Time (%)	98,3%	94,4%	92,4%	80,0%
Set-up time lepení (%)	0,8%	1,6%	6,4%	17,9%
Maximální průběžná doba výroby (dny)	12:19:10	8:01:52	7:01:39	6:20:55

Z hlediska PDV se při porovnání všech parametrů jeví jako optimální dávka 774 kusů. Simulace ve sledovaném období vykazala únosnou míru přípravného času lepení při zvýšeném objemu odvedené výroby a snížení PDV o přibližně 1/3 její původní hodnoty.

9.4.2 Vybalancování operací

Z analýz (bod 7.4.4 a 7.5) je zřejmé, že jednotlivé operace jsou z pohledu cyklových časů operátorů nevyvážené. Vybraná třetí varianta částečně řeší toto nevyvážení pomocí eliminace úzkého místa procesu, což vede ke zvýšení využitelnosti operátora Broušení a leštění. Z přílohy č. 7 lze vyčíst, že při této variantě a průměrné měsíční poptávce je operátor Broušení a leštění využíván pouze tři směny v týdnu, operátoři Lepení dohromady čtyři směny v týdnu a operátor Finální kontroly pět směn v týdnu. Z toho vyplývá, že i přes vysokou využitelnost operátorů by vybalancování linky u takto nastaveného modelu nebylo optimální. Řešením je přesun zodpovědností za operace Řezání dvoukuželů, Frézování a Řezání kuželů na operátora Broušení a leštění, jak je znázorněno na obrázku 40. Pro provedení simulace již budu počítat s upravenou dávkou ve velikosti 774 kusů.



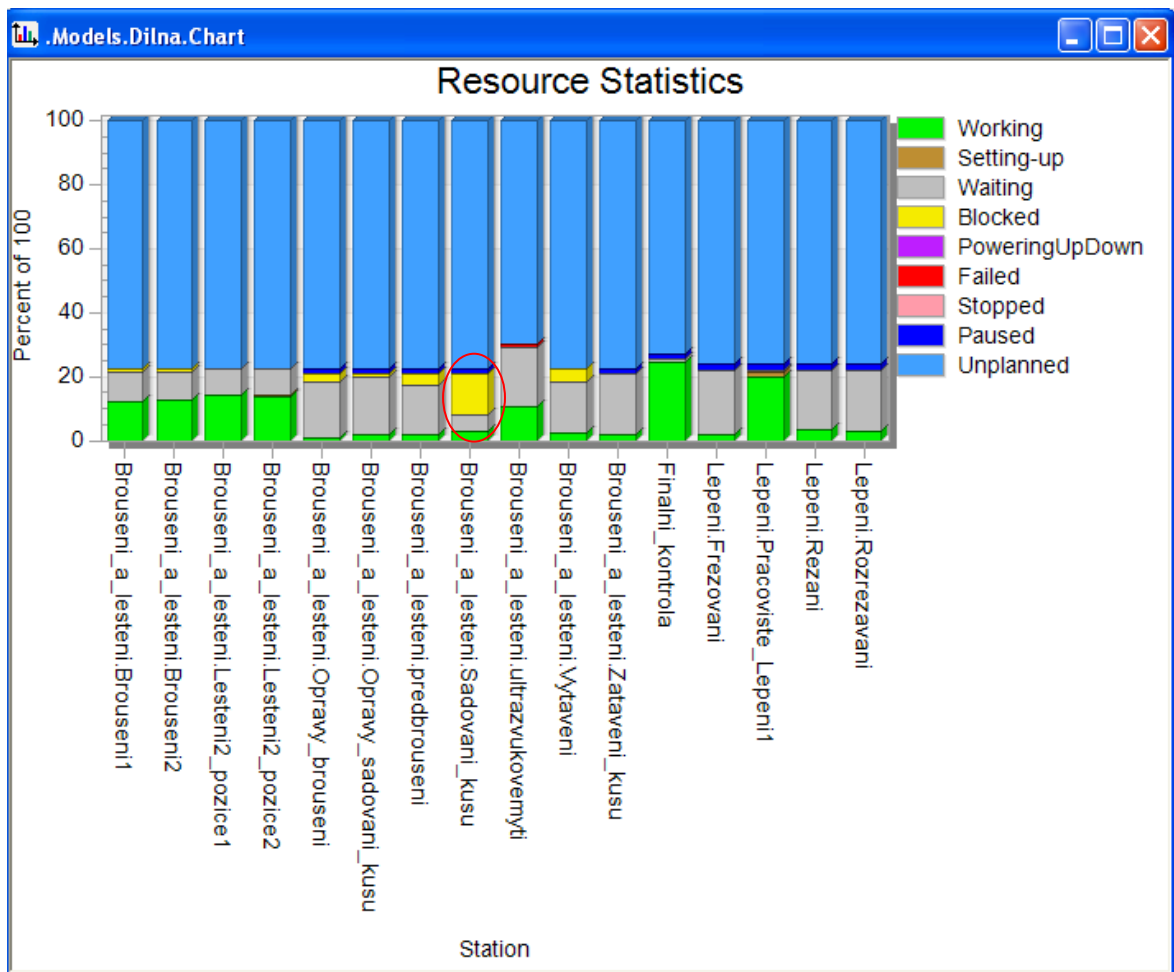
Obrázek 40 Vyvážení operací montážní linky – po úpravě (vlastní zprac.)

Simulační model si při průměrné měsíční poptávce vyžádal další změnu v nastavení objektů. Ve *Frame* „Lepení“ jsem u objektů *ParalellProc* „Rezani“, *SingleProc* „Frezovani“ a *SingleProc* „Rozrezavani“ přenastavil objekt *Broker Frame* „Lepeni“ na objekt *Broker Frame* „Brouseni_a_lesteni“. Dále jsem u těchto objektů přenastavil i atribut „ExitStrategie“. Tato změna zajistila, že tyto pracoviště obsluhoval operátor operace Broušení a leštění. Ve *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ jsem přenastavil všechny směnové kalendáře na každodenní jednosměnný provoz. U objektu *DismantleStation* jsem změnil rozdělení dávky 774 kusů na tři menší dávky po 258 kusech. Dále jsem přenastavil metodu, která zajišťuje

jednorázové naplnění všech objektu *Buffer* před *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ tak, aby počet vygenerovaných entit po přepočtu korespondoval s původním stavem.

Po této úpravě bylo možno upravit počet pracovníků operace Lepení ze dvou na jednoho. To jsem provedl v objektu *WorkerPool*. Poté již nebylo nezbytné mít dvě pracoviště pro proces lepení, proto jsem odstranil *SingleProc* „Pracoviste_lepeni2“. Toto opatření by způsobilo vznik front před tímto procesem. Proto bylo nutné přenastavit objekt *TableFile* „Generator_polotovaru“ na nižší počet dávek. Z důvodu zefektivnění operace Finální kontrola jsem uvolněného operátora lepení přiřadil do směnového kalendáře ve *Frame* „Dilna“. A to na jednu hodinu denně z důvodu výpomoci k lepení oprav.

Na obrázku 41 lze pozorovat změnu ve využitelnosti zařízení. Simulační model zaznamenal častější blokaci *SingleProc* „Brouseni_a_lesteni.Sadovani_kusu“, což bylo způsobeno využíváním pracovníka na dalších operacích.



Obrázek 41 Využitelnost zařízení – varianta 3 při průměrné měsíční poptávce po vybalancování montážní linky (výstup z aplikace Plant Simulation)

Požadovaná propustnost však byla dosažena. Tabulka 11 dále uvádí hodnoty nejvýznamnějších parametrů po provedení simulace. Model vykázal, že objem výroby ve všech *Frame* koresponduje s průměrnou měsíční poptávkou. Využití operátorů je na velmi vysoké úrovni. Součet odvedených hodin všech operátorů se v kumulaci za celý měsíc snížil o 16,5 hodin oproti stavu před vybalancováním linky. To během 3/4 roku provozu představuje úsporu 148,5 hodin.

Vybalancování operací v období poptávkové špičky si vyžádalo opačný postup. Po opětovném přidání objektu *SingleProc* „Pracoviste_lepeni2“ a zvýšení počtu pracovníků lepení v objektu *WorkerPool* na dva jsem postupně přenastavoval objekty *Broker* z *Frame* „Brouseni_a_lesteni“ na *Broker Frame* „Lepeni“ u dotčených objektů *SingleProc*. To zajistilo, že objekty obsluhovali pracovníci Lepení. Společně s nimi jsem změnil i atribut „ExitStrategie“. Tuto změnu jsem prováděl do té doby, než bylo dosaženo dostatečného objemu výroby při co nejvyšší míře využití pracovníků v obou *Frame*. Ukázalo se, že pro splnění této podmínky mohl pracovník Broušení a leštění obsluhovat pouze *ParalellProc* „Rezani“. Nakonec jsem upravil směnový kalendář ve *Frame* „Lepeni“, abych odstranil nadbytečná čekání pracovníků.

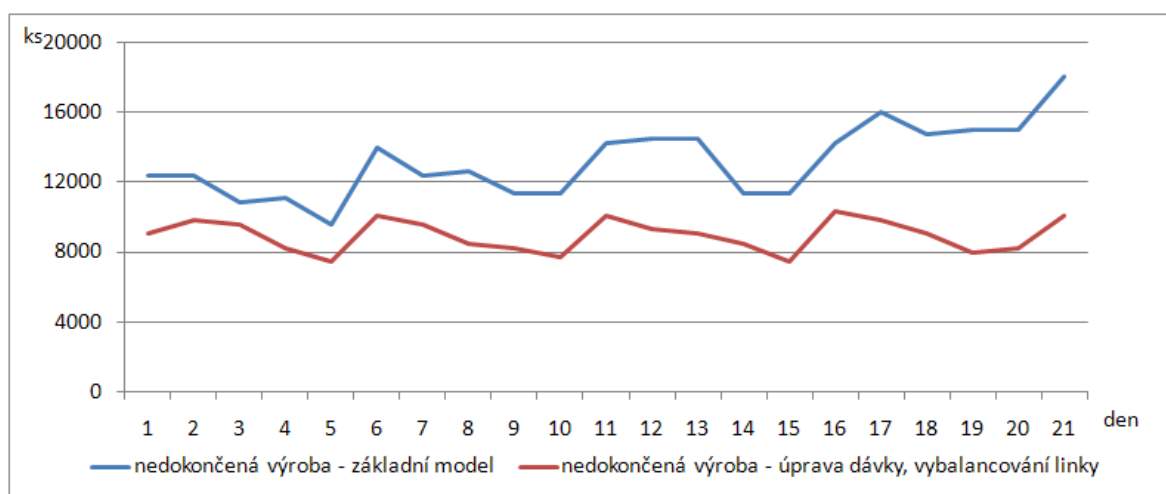
Tabulka 11 Výsledky simulace – vybalancování kapacit (vlastní zprac.)

	Ø poptávka	špička
Objem výroby - Frame "Lepeni" (ks)	14 706	20 898
Objem výroby - Frame "Brouseni_a_lesteni" (ks)	18 060	22 188
Objem výroby - Frame "Dilna" (ks)	16 770	22 962
Frame "Brouseni_a_lesteni" - počet oprav (%)	13,1%	13,3%
operace Předbroušení - blokováno (%)	3,8%	7,5%
využití operátora Broušení (%)	84,0%	91,2%
využití operátora Lepení 1 (%)	98,0%	77,7%
využití operátora Lepení 2 (%)	-	97,7%
využití operátora Finální kontroly (%)	96,0%	96,0%
počet odvedených hodin operátora Broušení (hod)	157,5	157,5
počet odvedených hodin operátorů Lepení 1 (hod)	157,5	136,5
počet odvedených hodin operátora Lepení 2 (hod)	-	157,5
počet odvedených hodin operátora Finální kontroly (hod)	178,5	220,5
stav rozpracované výroby na konci simulace (ks)	10 062	13 158
maximální počet přípravků v oběhu (ks)	14	15

V tabulce je vidět, že požadované hodnoty objemu výroby byly dosaženy ve všech *Frame*. Míra využití pracovníka Broušení se oproti původnímu stavu zvýšila o 7%. U operátorů

Lepení dokonce o 10 %, resp. 20 % při snížení počtu hodin o 21 hodin/měsíc. To během 1/4 roku provozu v období poptávkové špičky představuje o 63 odpracovaných hodin méně než před vybalancováním linky.

Stav nedokončené výroby před a po snížení velikosti dávky a vybalancováním operací vystihuje obrázek 42. Z obrázku lze vyčíst, že stav nedokončené výroby se dle základního modelu během nastaveného období pohyboval v intervalu od 9 546 kusů do 18 060 kusů. Po optimalizaci stav nedokončené výroby poklesl a držel se v intervalu od 7 482 kusů do 10 320 kusů. Průměrná hodnota stavu nedokončené výroby po ukončení směny dosahovala před optimalizací 13 170 kusů. Po optimalizaci poklesla na hodnotu 8 596 kusů.

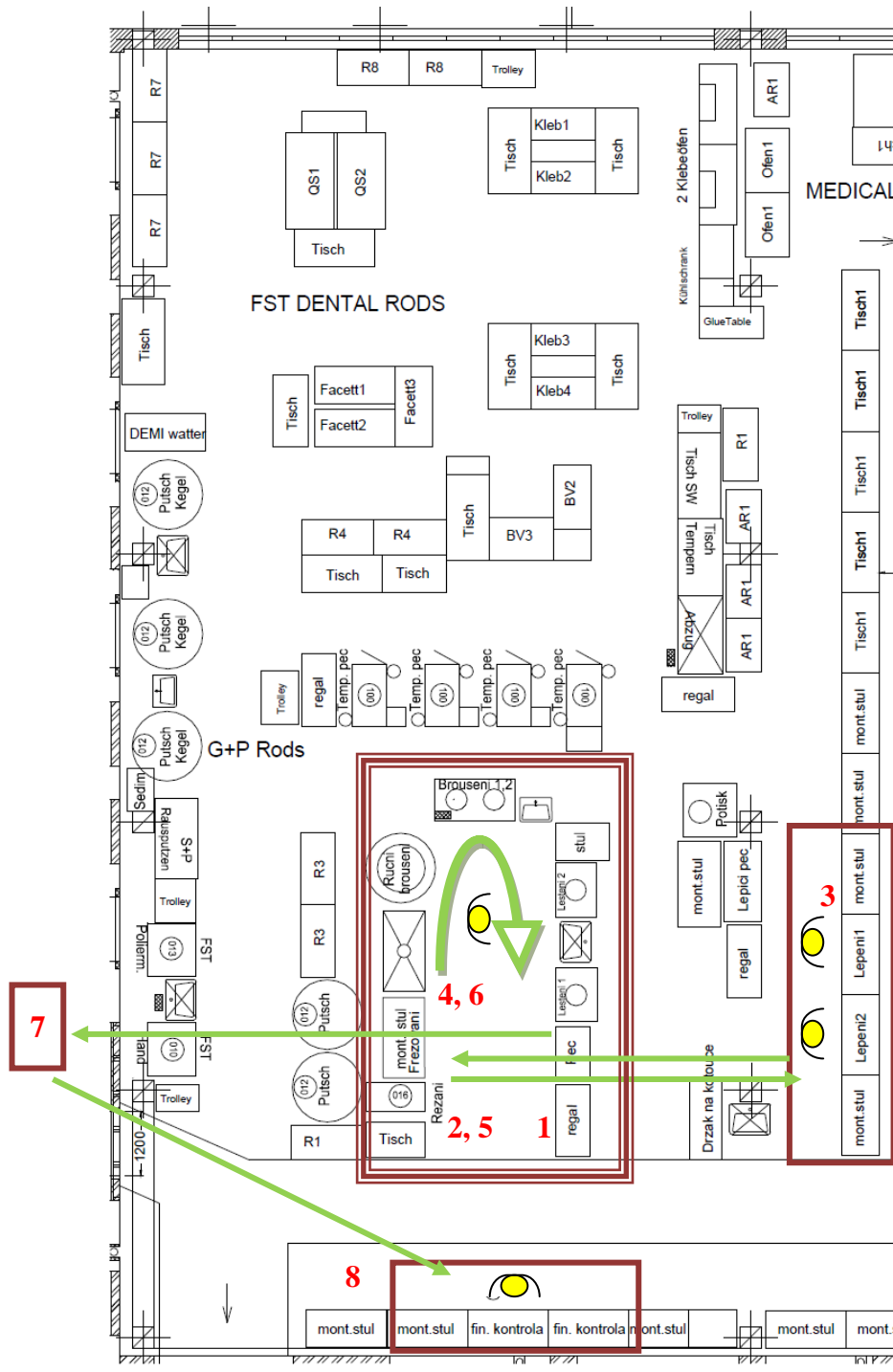


Obrázek 42 Stav rozpracované výroby při průměrné poptávce (vlastní zprac.)

Průběžnou dobu výroby v takto upraveném modelu zaznamenává příloha č. 10. Maximální průběžná doba výroby dosáhla v obou obdobích úrovně 13 dní a 20 hodin. Při porovnání s výsledkem základního modelu je po optimalizaci v období průměrné poptávky přibližně o 34 % kratší, v období poptávkové špičky pak vlivem přesčasových hodin kratší o 7 %.

9.5 Nový layout montážní linky

Analýza materiálového toku v bodě 7.3.4 ukázala na možný potenciál ve zlepšení rozmístění jednotlivých pracovišť montážní linky. Protože je montážní linka pro endoskopii umístěna v jedné hale s jinou procesně příbuznou linkou, jsou možnosti úprav do jisté míry limitovány. Celková koncepce tak neumožňuje zásadní úpravy, ale nebrání alespoň částečnému oddělení obou výrob. Ekonomickým řešením je ponechat výrobní buňku Broušení a leštění na stávajícím místě a vhodně přemístit pracoviště Lepení a Finální kontrola. Ty si vyžadují pouze přesun montážních stolů a horkovzdušné pece.



Obrázek 43 Upravený layout ve výrobě endoskopických kuželů (vlastní zprac.)

LEGENDA:

- | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 1) Příprava zakázek ze skladu | 2) Řezání dvoukuželů | 3) Lepení ferulí |
| 4) Frézování lepidla | 5) Řezání kuželů | 6) Broušení a leštění |
| 7) Ultrazvukové mytí | 8) Finální kontrola | |

Obrázek 43 znázorňuje návrh nového layoutu. Oproti stávajícímu stavu došlo ke zkrácení dopravních cest a napřimání materiálového toku. Pracoviště Lepení a Finální kontrola byla přesunuta blíže k operaci Broušení a leštění na místa, která byla z důvodu předcházejících transferů jiných výrob uvolněna. Tento přesun zlepšuje přehlednost o rozpracované výrobě a zajistí i vyšší úroveň komunikace mezi pracovišti.

Podstatnou změnou je umístění pily a frézovacího zařízení, která jsou v tomto návrhu z důvodu vybalancování pracovišť začleněna přímo do výrobní buňky Broušení a leštění. Umístění zařízení v této buňce je koncipováno na základě předpokládané realizace vybrané varianty č. 3. Montážní stůl, odtahová jednotka a předbrušovací stroj Putch byly ponechány na svých původních místech. V čele této „U“ buňky je umístěn dvoupoziční brousící stroj PM300, který plynule navazuje na předcházející sled operací v buňce. Jako další v řadě jsou po pravé straně rozmístěna dvě samostatná lešticí zařízení Leico OPH 450. Mezi zařízeními jsou umístěna umyvadla pro oplach přípravků. Na konci buňky je usazena vytahovací pec, před kterou je stojící regál pro rozpracovanou výrobu. Se změnou umístění ultrazvukové mycí linky není vzhledem k vyšším realizačním nákladům v této koncepci počítáno.

Vyčíslení délky dopravních cest stávajícího stavu a navrhovaného řešení vyjadřuje tabulka 12. Z tabulky je patrné, že navrhované řešení zkrátí dopravní cestu zakázky při výrobním procesu přibližně o 46 % oproti stávajícímu stavu.

Tabulka 12 Vyčíslení délky dopravních cest při výrobním procesu (vlastní zprac.)

Operace		Délka (m)	
Z	Do	Původní	Návrh
Připravená zakázka ze skladu	Řezání dvoukuželů	15	2
Řezání dvoukuželů	Lepení ferulí	15	8
Lepení ferulí	Frézování lepidla	10	8
Frézování lepidla	Řezání kuželů	8	2
Řezání kuželů	Broušení a leštění	8	0
Broušení a leštění	Ultrazvukové mytí	25	25
Ultrazvukové mytí	Finální kontrola	50	25
Celkem		131	70

10 ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ

Po provedení všech kroků simulace lze konstatovat, že použitý simulační software je ideálním nástrojem pro zvyšování výkonnosti výrobního systému. V projektové části jsem prováděl scénáře „co kdyby“ bez narušení stávajícího výrobního procesu. Výsledné charakteristiky simulačních experimentů jednotlivých variant, statistické přehledy i grafická vyhodnocení, které software umožňuje, přispěli velkou měrou k nalezení optimálního řešení. Při modelování systému jsem se do jisté míry dopustil zjednodušení. Ta byla způsobena jednak nedostatkem informací ze strany podniku, ale také rozmanitostí vyráběného produktu. Proto se jednalo o simulaci pouze jednoho typu výrobku v rámci analyzované rodiny výrobků. Výsledky simulace se tak v reálném procesu mohou mírně odlišovat.

10.1 Přínosy projektu

Cílem projektu bylo nalézt realizovatelné řešení vedoucí ke zvýšení účinnosti procesu montáže endoskopických kuželů v definovaných okruzích, které vzešly ze závěrů analytické části. S ohledem na tyto problematické okruhy jsem v mapě toku hodnot identifikoval možná zlepšení v oblasti operací a velikosti mezioperačních zásob.

Na základě výsledků tří uvažovaných variant simulačních experimentů jsem pro zlepšení průchodnosti zakázek úzkým místem navrhl repasování stávajícího dvoupozicičního leštícího zařízení PM 300 a jeho přetypování na zařízení brousící. Součástí návrhu je i přetypování stávajícího brousícího zařízení Leico OPH 450 na zařízení leštící. Tím bude zajištěna synchronizace, kdy se vyrovná počet pozic z jedné brousící/tří leštící na dvě brousící/dvě leštící. Tato změna přinese:

- eliminaci úzkého místa procesu
- zvýšení efektivity práce operátora Broušení a leštění
- zvýšení míry využití klíčových zařízení operace Broušení a leštění

Odstranění omezení výše popsaným způsobem přinese snížení blokace operace Předbrušování z celkových 19,1 % na 6,4 % v období průměrné poptávky a z 24,6 % na 9,1 % v období poptávkové špičky. Zvýšení průchodnosti úzkého místa, vzhledem k předpokládanému objemu výroby, sníží počet směn nutných k dosažení zpracování potřebného množství produktů. V období průměrné poptávky jde o 60 hodin/měsíc a v období poptávkové špičky o 30,5 hodin/měsíc. Následně bude mít realizace tohoto návrhu pozitivní vliv na míru využití pracovníka obsluhujícího zařízení operace Broušení a leštění a také na vy-

užití těchto zařízení. Míra využití operátora se dle modelu zvýší ze 42 % na 88 % v období průměrné poptávky a z 30 % na 84 % v období poptávkové špičky. Míra relativního využití broušícího zařízení za současných podmínek v obou obdobích osciluje kolem hodnoty 98 %. U leštících zařízení je to u každé ze tří možných pozic přibližně 36 %. Po navržené úpravě se díky synchronizaci hodnoty srovnají a míra relativního využití dvou pozic broušícího/leštících zařízení bude v období průměrné poptávky kolísat kolem hodnoty 92 %, v období poptávkové špičky pak 82 %, resp. 85 %.

Dalším návrhem byla optimalizace velikosti výrobní dávky a vybalancování operací. Velikost dávky jsem navrhl s ohledem na maximální využití kapacity stávajících přípravků. Ze tří variant jsem po provedení simulace vybral dávku o velikosti 774 kusů, která je polovičnická oproti současnému stavu. Poté jsem s takto upravenou dávkou testoval chování modelu po vybalancování cyklových časů operátorů. Výše popsané změny přinesou:

- zkrácení průběžné doby výroby
- snížení stavu nedokončené výroby
- dodatečné snížení počtu pracovních hodin nutných k dosažení požadovaného výkonu linky

Maximální průběžná doba výroby dosáhla v obou obdobích úrovně 13 dní a 20 hodin. Při porovnání s výsledkem základního modelu bude po optimalizaci v období průměrné poptávky přibližně o 34 % kratší, v období poptávkové špičky pak vlivem odpracovaných přesčasových hodin kratší o 7 %. Před optimalizací dosahovala po většinu roku denní průměrná hodnota nedokončené výroby 13 170 kusů. Po optimalizaci poklesl stav na průměrnou hodnotu 8 596 kusů. Vybalancování operací přinese v kumulaci za celou montážní linku snížení počtu pracovních hodin nutných k dosažení požadovaného výkonu linky. Během období s průměrnou měsíční poptávkou jde o 16,5 hodin za měsíc a v průběhu období s poptávkovou špičkou o 21 hodin za měsíc oproti stavu před vybalancováním linky. Současně se rovněž zvýší míra využití pracovníků operace Lepení a Broušení a leštění.

Posledním zlepšením je nový návrh layoutu montážní linky i výrobní buňky Broušení a leštění. Oproti stávajícímu stavu dojde ke zkrácení dopravních cest o 46 % a napřímení materiálového toku. Nové rozmístění pracovišť zlepší přehlednost o rozpracované výrobě a zajistí i vyšší úroveň komunikace mezi operacemi.

10.2 Finanční vyhodnocení

Hlavní přínos projektu spočívá v realizaci úpravy zařízení u vybrané třetí varianty. Ta si vyžádá náklady ve výši 122 000 Kč. Při uvažovaných osobních nákladech operátora ve výši 123 Kč/hodinu je roční úspora mzdových nákladů 80 895 Kč. Investované prostředky se společnosti vrátí za 1,5 roku (viz. 9.2.4).

Při využití návrhu na snížení velikosti dávky a dalších navrhovaných opatření dojde při kalkulované ceně vstupního materiálu 13,20 Kč za kus ke snížení průměrné hodnoty nedokončené výroby o 55 625 Kč. Jelikož je pronájem uživatelského klienta informačního systému SAP placen paušální částkou, nedojde při častější tvorbě objednávek k žádnému navýšení nákladů. Vybalancování operací a změna layoutu si vyžádají investiční náklady ve výši přibližně 10 000 Kč a to zejména za přeložky médií a nové napojení odtahu na páteř ventilace. Přínos tkví v dodatečné úspoře mzdových nákladů operátora ve výši 26 015 Kč za rok. Návratnost investice je zhruba pět měsíců.

ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zaměřil na optimalizaci montážní linky pro endoskopii ve společnosti Schott CR, s.r.o. Na základě provedené analýzy výrobního procesu a výsledků dynamické simulace jsem navrhl úpravy, které povedou ke zvýšení průtoku úzkým místem a urychlení průběžné doby výroby.

V teoretické části jsem představil základní principy teorie omezení a vymezil základní pojmy týkající se identifikace úzkých míst. Důležitou součástí bylo také charakterizování metody mapování hodnotových toků a nástrojů pro identifikaci a eliminaci plýtvání, které jsou v rámci této metody využívány. V poslední kapitole teoretické části jsem uvedl možnosti využití softwarových nástrojů pro tvorbu modelů výrobních systémů a popsal kroky vedoucí k provedení simulačního experimentu.

V úvodu praktické části diplomové práce jsem představil analyzovanou výrobní společnost, popsal její vnitřní strukturu a výrobní portfolio. Východiskem pro analýzu bylo zjištění, že výkon montážní linky je po čtvrtinu roku nedostačující a poptávkové špičky je nutno vykrývat přesčasovými hodinami. Následná analýza současného stavu procesů pomocí metody mapování hodnotových toků odhalila úzké místo procesu a další možné zdroje plýtvání, jejichž eliminace by mohla přispět k urychlení průběžné doby výroby. Rezervy se rovněž ukázaly v současném rozmístění pracovišť, které přispívá k plýtvání ve formě nadbytečných pohybů pracovníků a přesunu materiálu.

V projektové části jsem definoval problematická místa v mapě budoucího hodnotového toku a navrhl zlepšení v oblasti operací a velikosti mezioperačních zásob. Ověření navržených opatření jsem provedl za pomoci dynamické simulace výrobního systému simulačního softwaru Tecnomatix Plant Simulation. V první fázi jsem na základě shromážděných dat sestrojil a verifikoval simulační model. Po provedení simulačních experimentů a vyhodnocení doby návratnosti jsem ze tří variant vybral a doporučil eliminovat úzké místo pomocí repase stávajícího zařízení. Optimalizaci montážní linky jsem poté dokončil provedením dalších simulačních experimentů, ve kterých jsem nasimuloval změnu velikosti výrobní dávky a vybalancování pracovišť linky. V závěru projektové části jsem zhotovil plán nového rozmístění pracovišť, jehož cílem je zkrácení dopravních cest a napřímení materiálového toku.

Výsledek projektu podle mého názoru splnil stanovený cíl. Eliminace úzkého místa procesu spočívá v realizaci úpravy zařízení u vybrané varianty. Tato investice přinese roční

úsporu mzdových nákladů ve výši 80 895 Kč. Při využití dalších opatření, které tkví ve snížení velikosti dávky, vybalancování pracovišť a optimalizaci layoutu lze očekávat dodatečnou roční úsporu mzdových nákladů ve výši 26 015 Kč. Přínosem je rovněž snížení průměrné hodnoty nedokončené výroby o 55 625 Kč.

Věřím, že realizace vypracovaného projektu pomůže společnosti Schott CR, s.r.o. ke zlepšení stability tohoto výrobního procesu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] API, © 2005 – 2012a. Analýza a měření práce. *E-api.cz* [online]. [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://e-api.cz/page/68397.analyza-a-mereni-prace/>.
- [2] API, © 2005 – 2012b. Ukazatel OEE. *E-api.cz* [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://e-api.cz/page/68415.ukazatel-oe/>.
- [3] BOLEDOVIČ, L., 2007. IPA slovník: CEZ. In: *Ipaslovakia.sk* [online]. [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník/cez-oe/>.
- [4] ČSN EN ISO 13485, 2012. Zdravotnické prostředky – Systémy managementu jakosti – Požadavky pro účely předpisů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 130 s. Třídící znak 85 5001.
- [5] DANĚK, J., 2003. Simulace a optimalizace v plánování výroby. In: *Systemonline.cz* [online]. [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/simulace-a-optimalizace-v-planovani-vyroby.htm>.
- [6] DLABAČ J., 2011. Štíhlá výroba – používané metody a nástroje. In: *E-api.cz* [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://e-api.cz/article/70487.stihla-vyroba-8211-pouzivane-metody-a-nastroje/>.
- [7] DLOUHÝ, M. et al., 2007. *Simulace podnikových procesů*. 1. vyd. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [8] GOLDRATT. O Teorii omezení. *Goldratt.cz* [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.goldratt.cz/teorie-omezeni-toc/o-teorii-omezeni.html>.
- [9] HUBÁLOVSKÝ, Š., 2011. *Teorie systémů, modelování a simulace*. 1. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus. ISBN 978-80-7435-158-7.
- [10] Interní materiály SCHOTT CR, s.r.o.
- [11] KEŘKOVSKÝ, M., 2007. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 1. vyd. Praha: C.H. Beck. ISBN 80-7179-471-6.
- [12] KOŠTURIÁK, J. a Z. FROLÍK, 2006. *Štíhlý a inovativní podnik*. 1. vyd. Praha: Alfa Publishing. ISBN 80-86851-38-9.
- [13] KRIŠŤÁK, J., 2012. Teória obmedzení. In: *Ipaslovakia.sk* [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník/teoria-obmedzeni>.

- [14] KŘUPKA, J. a M. KAŠPAROVÁ, 2009. *Modelování v kostce pro Matlab a Simulink: distanční opora*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-162-7.
- [15] LIKER, J., K., 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-139231-9.
- [16] LINKÖPING UNIVERSITY, 2014. Value stream mapping. *LiU.se* [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: http://www.iei.liu.se/q/lean_varde/filarkiv/UD2/V%C3%A4rdefl%C3%B6desanalys/1.130542/VSM_Limerick.pdf.
- [17] MAŠÍN, I. a M. VYTLAČIL, 2000. *Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství. ISBN 80-902235-6-7.
- [18] MAŠÍN, I., 2003. *Mapování hodnotového toku ve výrobních procesech*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství. ISBN 80-902235-9-1.
- [19] MAŠÍN, I., 2004. *Výroba velkého sortimentu v malých sériích: Principy výrobních systémů pro 21. století*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství. ISBN 80-903533-0-4.
- [20] MAŠÍN, I., 2005. *Výkladový slovník průmyslového inženýrství a stíhlé výroby*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství. ISBN 80-903533-1-2.
- [21] *Obchodní rejstřík a Sběrka listin* [online databáze]. Praha: Ministerstvo spravedlnosti ČR, ©2012 - ©2014 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypisvypis?subjektId=isor%3a205052&typ=actual&klic=628tfv>.
- [22] PAVELKA M., 2009. Časové studie – nástroj průmyslového inženýrství. In: *E-api.cz* [online]. [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://e-api.cz/article/68428.casove-studie-8211-nastroj-prumysloveho-inzenyrstvi/>.
- [23] ROTHER M. a J. SHOOK, 2003. *Learning to see: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Cambridge: Lean Enterprise Inst. ISBN 0-9667843-0-8.
- [24] SCHOTT AG, ©2014a. SCHOTT ve Valašském Meziříčí. *Schott.com* [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: http://www.schott.com/czechia/czech/download/schott_valmez.pdf.
- [25] SCHOTT AG, ©2014b. About Lighting and Imaging. *Schott.com* [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.schott.com/lightingimaging/english/aboutlightingimaging.html>.

- [26] SCHOTT AG, ©2014c. About Lighting and Imaging. Technical Info. *Schott.com* [online]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://www.schott.com/lightingimaging/english/company/index.html?so=czechia&lang=czech>.
- [27] SCHOTT North America, ©2014. Healthcare. Endoscope tapers. *Schott.com* [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.us.schott.com/lightingimaging/english/products/healthcare/medicalillumination/endoscopetapers.html>.
- [28] TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ, 2000. *Řízení výroby*. 2. rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing. ISBN 80-7169-955-1.
- [29] TUČEK, D. a R. BOBÁK, 2006. *Výrobní systémy*. 2. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 80-7318-381-1.
- [30] VŠB - TU Ostrava, © 2014. Elektronická skripta VŠB předmětu Aplikace počítačů při řízení provozu: Modelování a simulace. *Vsb.cz* [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: http://fs1.vsb.cz/~sli95/appr/simul/sim_ram.htm.
- [31] VYTLAČIL, M., I. MAŠÍN I. a M. STANĚK, 1997. *Podnik světové třídy*. 1.vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství. ISBN 80-902235-1-6.
- [32] ZÁLEŠÁK, J., 2012. *Analýza výrobního procesu ve společnosti Schott Lighting and Imaging, s.r.o.* Zlín: Bakalářské práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CEZ	Celková efektivnost zařízení.
DBR	Drum-Buffer-Rope.
IS	Informační systém
ISO	Systém managementu jakosti
MRP II	Manufacturing Resource Planning
OEE	Overall Equipment Effectiveness.
PI	Průmyslové inženýrství.
SMED	Single Minute Exchange of Die.
TOC	Theory of Constraints.
VA	Value Added.
VSM	Value Stream Mapping.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Tři úrovně studia hodnotových toků	17
Obrázek 2 Základní ikony pro mapování toku hodnot	19
Obrázek 3 Příklad výsledné mapy hodnotového toku – současný stav	20
Obrázek 4 Osm druhů plýtvání ve výrobních procesech	21
Obrázek 5 Klasifikace ABC	24
Obrázek 6 Techniky přímého měření	25
Obrázek 7 Metodika výpočtu CEZ	26
Obrázek 8 Balancování cyklových časů operátorů	27
Obrázek 9 Globální zastoupení koncernu SCHOTT	37
Obrázek 10 Historie tržeb a EBIT divize Lighting and Imaging	39
Obrázek 11 Obchodní jednotka Lighting and Imaging	39
Obrázek 12 Výrobky segmentu Doprava	40
Obrázek 13 Výrobky segmentu Osvětlení	41
Obrázek 14 Výrobky segmentu Mikroskopie	41
Obrázek 15 Výrobky segmentu Medicína	42
Obrázek 16 Procesní struktura divize Lighting and Imaging	42
Obrázek 17 Typický finální produkt SCHOTT – endoskopický kužel v kovovém pouzdře	43
Obrázek 18 Způsoby umístění vláknového kuželu v endoskopickém přístroji	43
Obrázek 19 ABC analýza produkce	44
Obrázek 20 Měsíční objem produkce v jednotlivých měsících za fiskální roky 2011-2013	45
Obrázek 21 Produktivita práce ve fiskálním roce 2013	46
Obrázek 22 Vstupní materiál	47
Obrázek 23 Schéma technologického postupu výroby	49
Obrázek 24 Materiálový tok ve výrobě endoskopických kuželů	51
Obrázek 25 Náběh směny na pracovištích	56
Obrázek 26 Časový snímek dne na operaci Lepení 1	57
Obrázek 27 Časový snímek dne na operaci Lepení 2	58
Obrázek 28 Časový snímek dne na operaci Broušení a leštění	59
Obrázek 29 Časový snímek dne na operaci Finální kontrola	59
Obrázek 30 Mapa hodnotového toku – současný stav	61

Obrázek 31 Vyvážení operací montážní linky – současný stav	62
Obrázek 32 Mapa hodnotového toku – budoucí stav - definování problémových míst	67
Obrázek 33 Využitelnost zařízení – základní model	73
Obrázek 34 Využitelnost zařízení – varianta 1 při průměrné měsíční poptávce	75
Obrázek 35 Četnost využití přípravků	76
Obrázek 36 Četnost využití přípravků	77
Obrázek 37 Využitelnost zařízení – varianta 2 při průměrné měsíční poptávce	78
Obrázek 38 Využitelnost zařízení – varianta 3 při průměrné měsíční poptávce	80
Obrázek 39 Četnost využití přípravků	80
Obrázek 40 Vyvážení operací montážní linky – po úpravě	84
Obrázek 41 Využitelnost zařízení – varianta 3 při průměrné měsíční poptávce po vybalancování montážní linky.....	85
Obrázek 42 Stav rozpracované výroby při průměrné poptávce	87
Obrázek 43 Upravený layout ve výrobě endoskopických kuželů	88

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Strojní vybavení montážní linky	47
Tabulka 2 Procesní data operací	53
Tabulka 3 Skladová zásoba materiálu vysoceobrátkových výrobků	54
Tabulka 4 Výpočet OEE klíčových zařízení procesu	55
Tabulka 5 Časový harmonogram projektu	66
Tabulka 6 Výsledky simulace – varianta 1	74
Tabulka 7 Výsledky simulace – varianta 2	77
Tabulka 8 Výsledky simulace – varianta 3	79
Tabulka 9 Doba návratnosti investice	82
Tabulka 10 Výsledné hodnoty PDV operace Lepení	83
Tabulka 11 Výsledky simulace – vybalancování kapacit	86
Tabulka 12 Vyčíslení délky dopravních cest při výrobním procesu	89

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1 – ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL - FRAME DÍLNA

PŘÍLOHA P2 – ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL - FRAME LEPENÍ

PŘÍLOHA P3 – ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL - FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ

PŘÍLOHA P4 – VARIANTA 1 NOVÉ PŘÍPRAVKY - FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ
– PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ POPTÁVKA

PŘÍLOHA P5 – VARIANTA 2 NOVÉ ZAŘÍZENÍ - FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ –
PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ POPTÁVKA

PŘÍLOHA P6 – VARIANTA 3 REPASE ZAŘÍZENÍ - FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ
– PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ POPTÁVKA

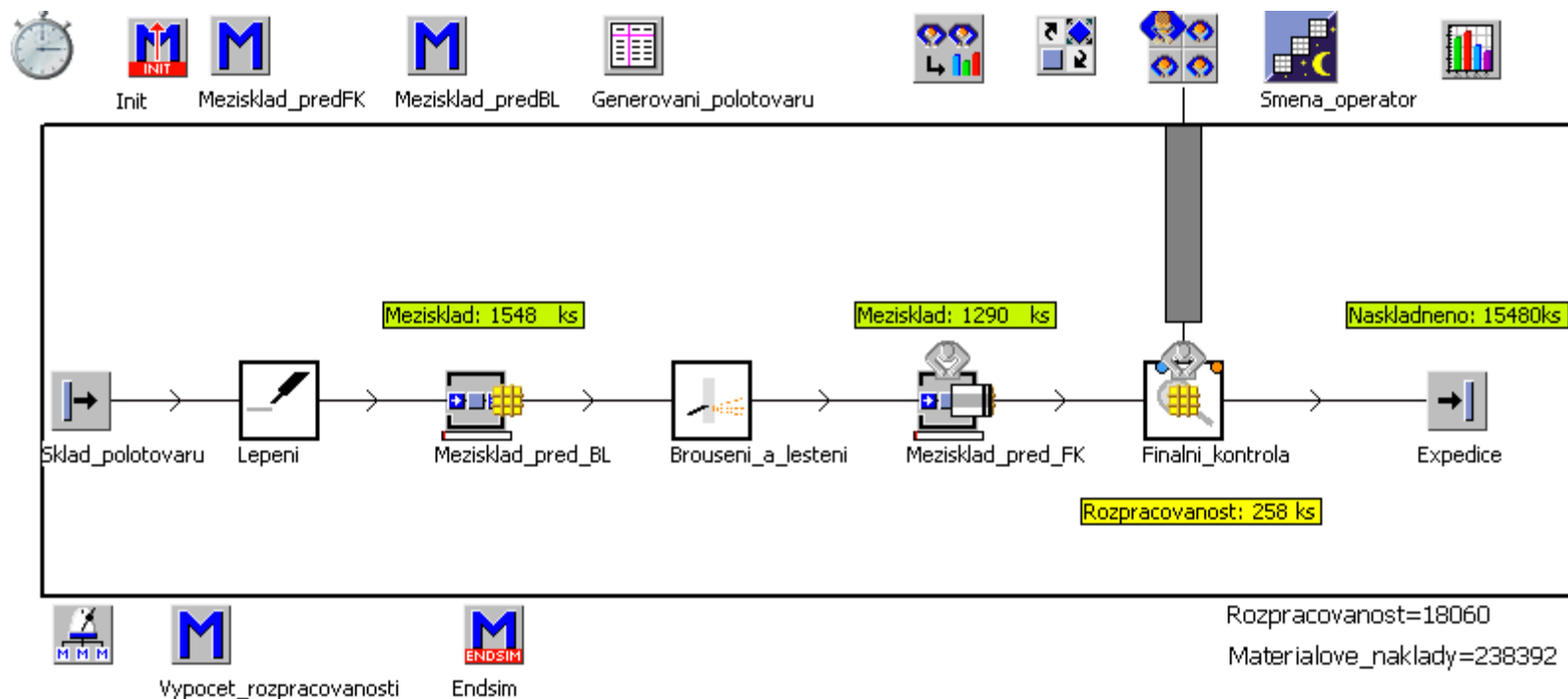
PŘÍLOHA P7 – ZHODNOCENÍ VARIANT

PŘÍLOHA P8 – ÚPRAVA VELIKOSTI DÁVKY - FRAME LEPENÍ – VYUŽITÍ OPE-
RÁTORŮ

PŘÍLOHA P9 – ÚPRAVA VELIKOSTI DÁVKY - FRAME LEPENÍ – PRŮBĚŽNÁ DO-
BA VÝROBY

PŘÍLOHA P10 – PRŮBĚŽNÁ DOBA VÝROBY PO ÚPRAVĚ DÁVKY A VYBALAN-
COVÁNÍ KAPACIT

PŘÍLOHA P I: ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL – FRAME DÍLNA



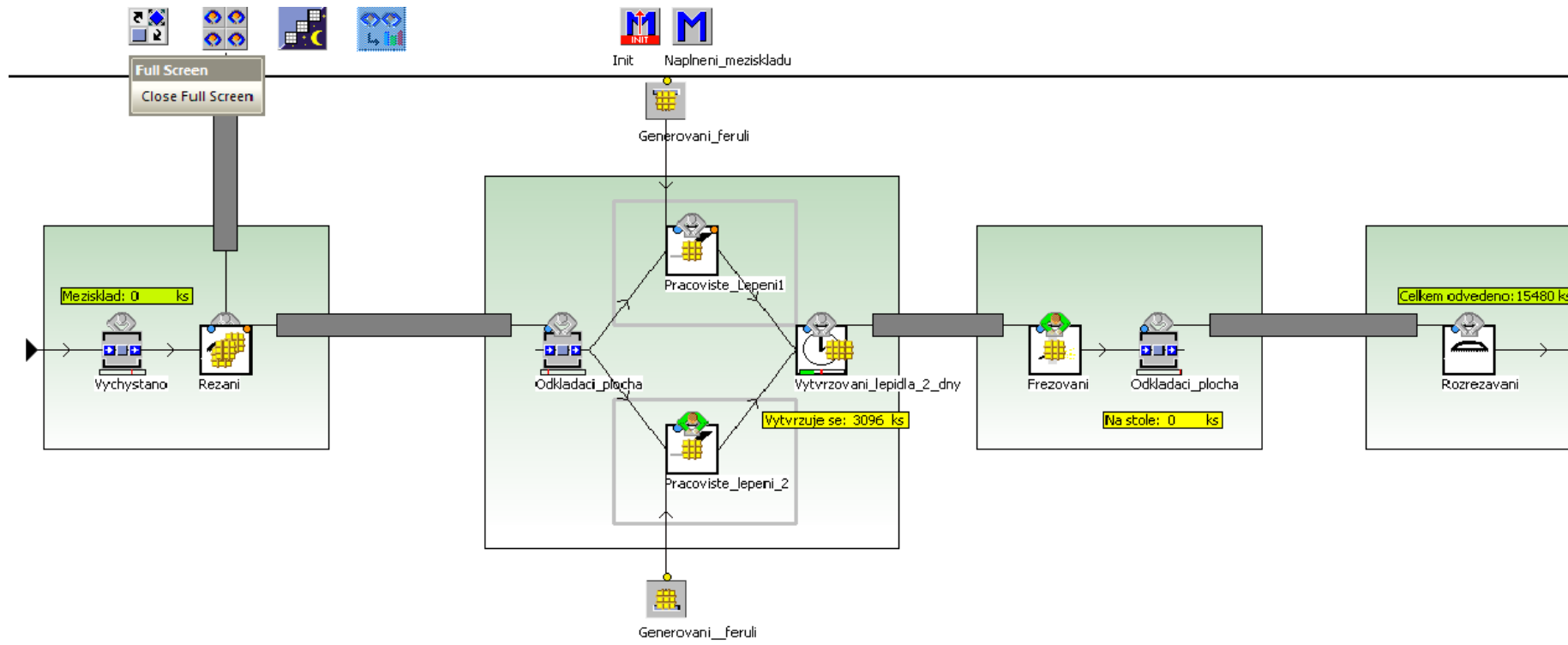
Období průměrné poptávky

Expedice	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	7:16:58:31.4323	4:03:57:54.1263	2:53:45.2188	21:03:54:38.7425	11:26:26.3564	16:40:19.7389	2:33:50.7692	2:18:53:56.7573	60	0.086206897	2.0689655

Období poptávkové špičky

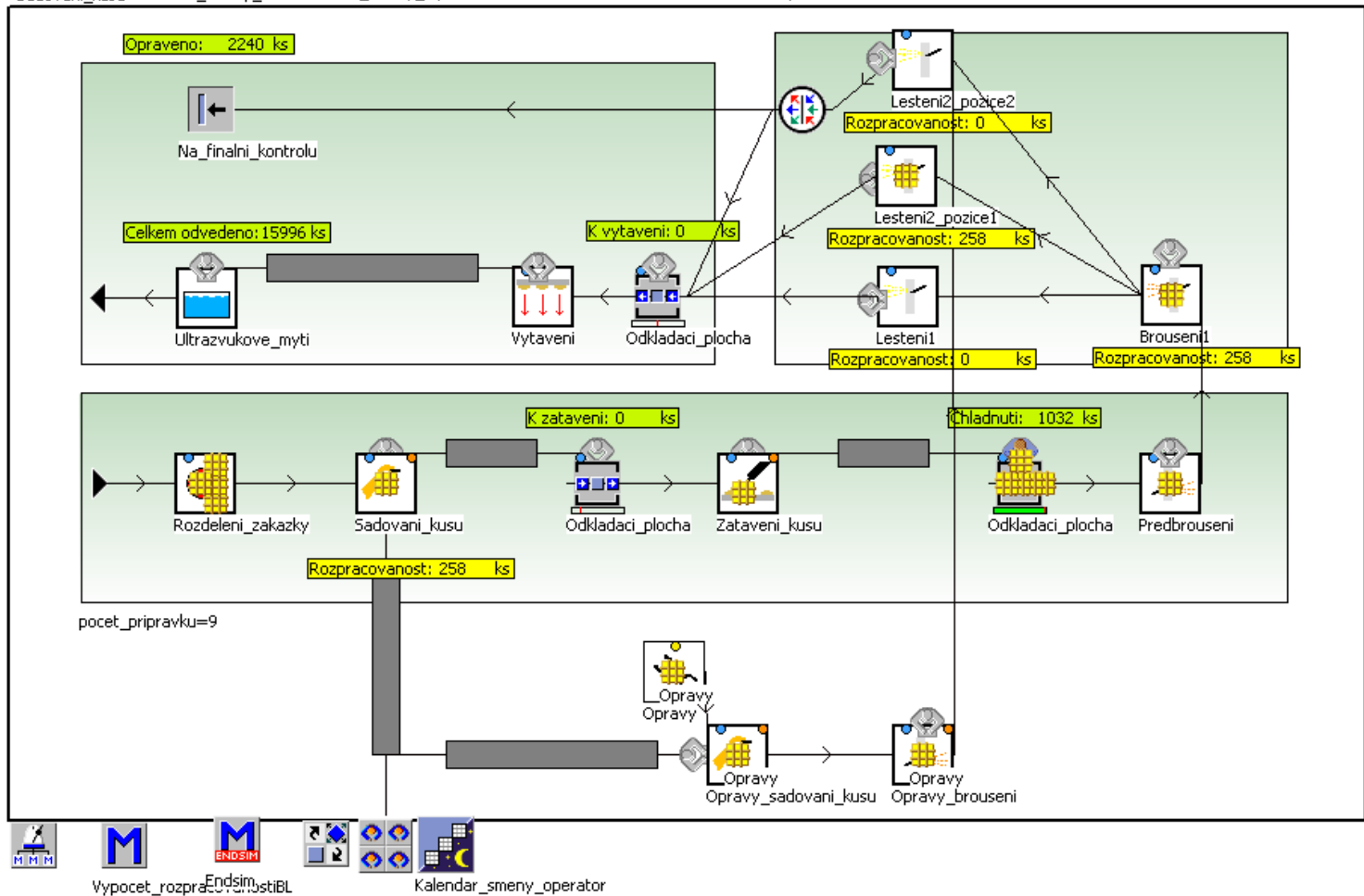
Expedice	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	5:06:41:35.0022	3:04:18:20.5325	2:53:45.2188	14:22:33:58.6274	8:16:49.5774	13:37:35.5476	2:33:50.7692	2:15:48:56.7573	83	0.11925287	2.862069

PŘÍLOHA P II: ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL – FRAME LEPENÍ

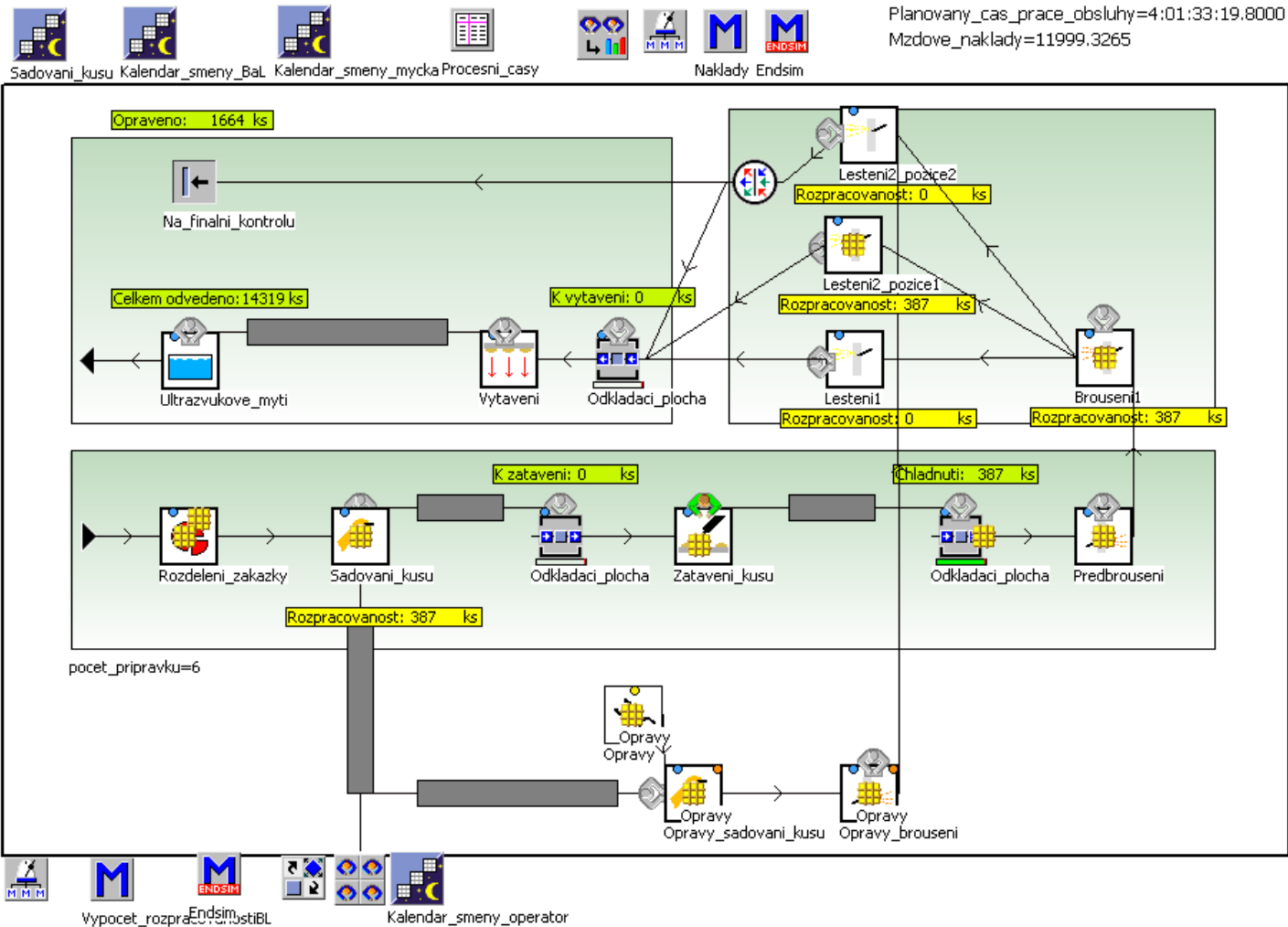


PŘÍLOHA P III: ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ MODEL – FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ

Planovany_cas_prace_obsluhy=6:13:46:49.8000
Mzdove_naklady=19407.0015

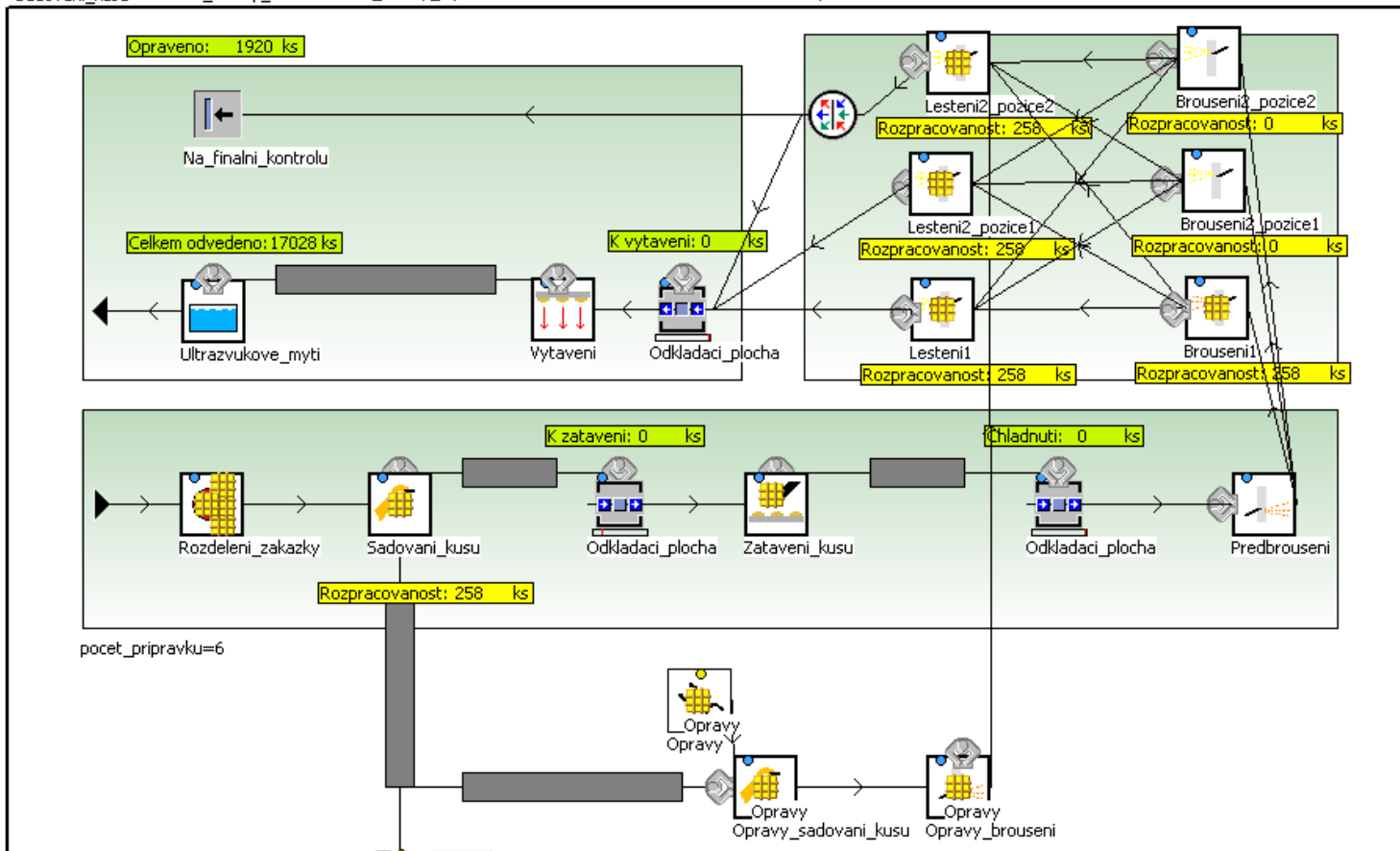


PŘÍLOHA P IV: VARIANTA 1 NOVÉ PŘÍPRAVKY – FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ, Ø MĚS. POPTÁVKA



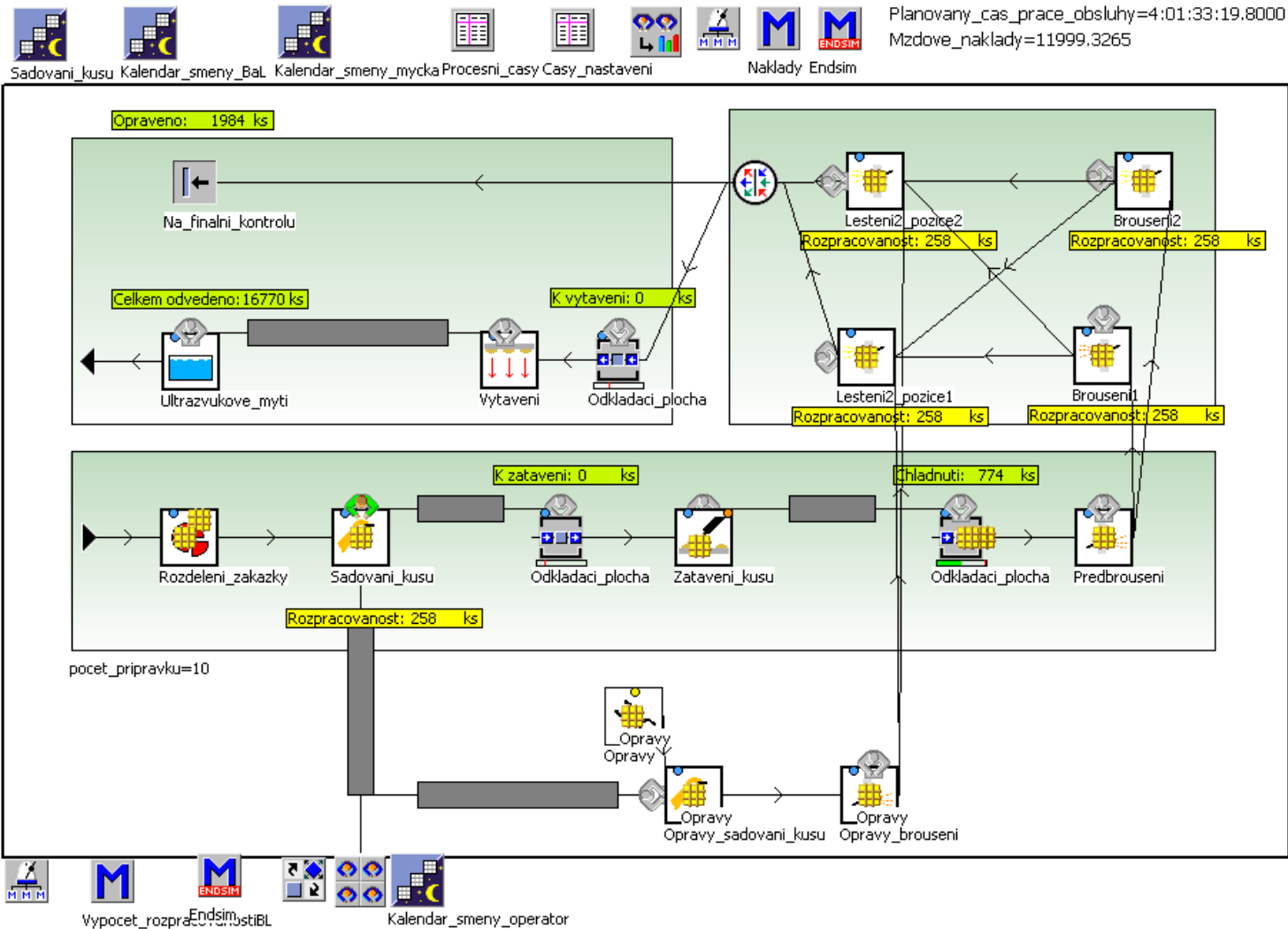
PŘÍLOHA P V: VARIANTA 2 NOVÉ ZAŘÍZENÍ – FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ, Ø MĚS. POPTÁVKA

Planovany_cas_prace_obsluhy=4:01:33:19.8000
 Mzdove_naklady=11999.3265



Vypocet_rozpra
 Endsim
 Kalendar_smeny_operator

PŘÍLOHA P VI: VARIANTA 3 REPASE ZAŘÍZENÍ – FRAME BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ, Ø MĚS. POPTÁVKA

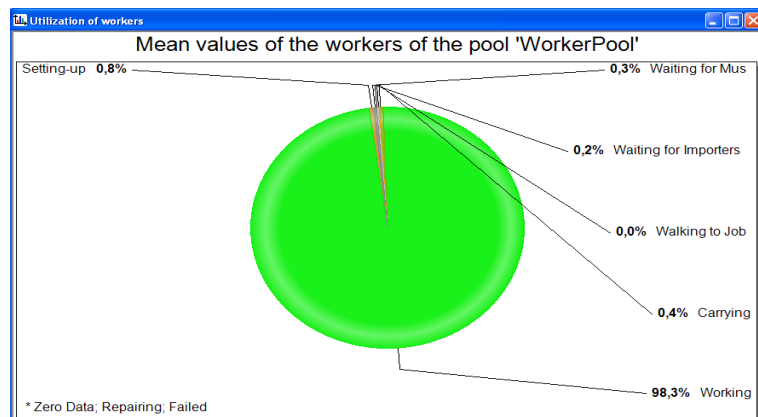


PŘÍLOHA P VII: ZHODNOCENÍ VARIANT

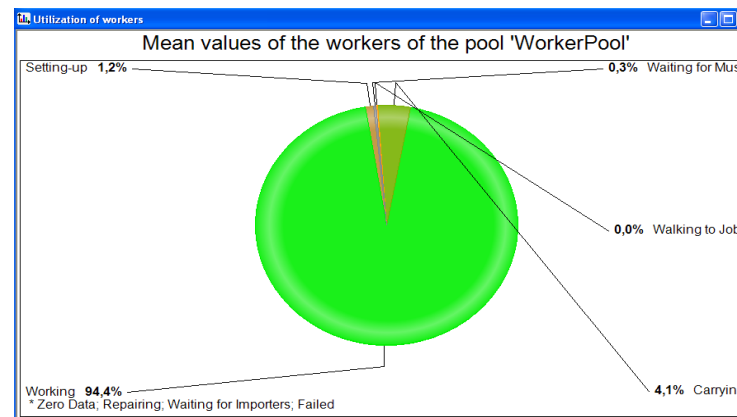
	Základní model		Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
	Ø objednávka	špička	Ø objednávka	špička	Ø objednávka	špička	Ø objednávka	špička
Objem výroby - Frame "Lepení" (ks)	15 480	21 672	15 480	21 672	15 480	21 672	15 480	21 672
Objem výroby - Frame "Brousení_a_lestění" (ks)	15 996	20 898	14 319	23 994	17 028	21 156	16 770	24 768
Objem výroby - Frame "Dílna" (ks)	15 480	21 414	14 706	23 994	14 964	20 898	14 964	23 736
Frame "Brousení_a_lestění" - počet oprav (%)	14,5%	13,0%	11,3%	12,3%	12,8%	12,2%	13,3%	13,1%
operace Předbroušení - blokováno (%)	19,1%	24,6%	11,6%	19,0%	0,4%	0,6%	6,4%	9,1%
využití operátora Broušení (%)	42,0%	30,0%	96,0%	68,0%	74,0%	86,0%	88,0%	84,0%
využití operátora Lepení 1 (%)	96,0%	68,0%	96,0%	68,0%	96,0%	68,0%	96,0%	68,0%
využití operátora Lepení 2 (%)	94,0%	78,7%	94,0%	78,7%	94,0%	78,7%	94,0%	78,7%
využití operátora Finální kontroly (%)	100,0%	98,0%	97,0%	100,0%	96,0%	96,0%	96,0%	99,0%
počet odvedených hodin operátora Broušení (hod)	157,5	188	97,5	157,5	97,5	127,5	97,5	157,5
počet odvedených hodin operátorů Lepení 1 (hod)	97,5	157,5	97,5	157,5	97,5	157,5	97,5	157,5
počet odvedených hodin operátora Lepení 2 (hod)	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5	157,5
počet odvedených hodin operátora Finální kontroly (hod)	157,5	220,5	157,5	241,5	157,5	220,5	157,5	241,5
stav rozpracované výroby na konci simulace (ks)	18 060	13 416	20 511	13 545	18 576	13 158	19 350	10 836
maximální počet přípravků v oběhu (ks)	11		8		11		15	
Brousení1 "Relative occupation" (%)	97,32%	98,59%	95,05%	97,45%	57,10%	47,28%	x	x
Brousení2_pozice1 "Relative occupation" (%)	x	x	x	x	60,62%	42,98%	92,84%	82,54%
Brousení2_pozice2 "Relative occupation" (%)	x	x	x	x	54,71%	45,50%	91,16%	81,67%
Lestění1 "Relative occupation" (%)	36,09%	36,66%	37,16%	37,27%	61,40%	57,81%	x	x
Lestění2_pozice1 "Relative occupation" (%)	36,84%	36,63%	36,07%	37,18%	62,81%	58,77%	93,14%	85,68%
Lestění2_pozice2 "Relative occupation" (%)	36,09%	36,75%	35,37%	37,25%	61,70%	58,65%	92,01%	84,85%
materiálové náklady rozpracované výroby (Kč)	238 392 Kč	177 091 Kč	270 745 Kč	178 794 Kč	245 203 Kč	173 685 Kč	255 420 Kč	143 035 Kč
mzdové náklady operátora Broušení včetně odvodů SP,ZP (Kč)	19 407 Kč	24 151 Kč	12 000 Kč	19 407 Kč	12 000 Kč	15 697 Kč	12 000 Kč	19 407 Kč
předpokladaná investice (Kč)	x		204 000 Kč		340 000 Kč		122 000 Kč	
doba návratnosti (let)	x		2,6		3,7		1,6	

PŘÍLOHA P VIII: ÚPRAVA VELIKOSTI DÁVKY – FRAME LEPENÍ – VYUŽITÍ OPERÁTORŮ

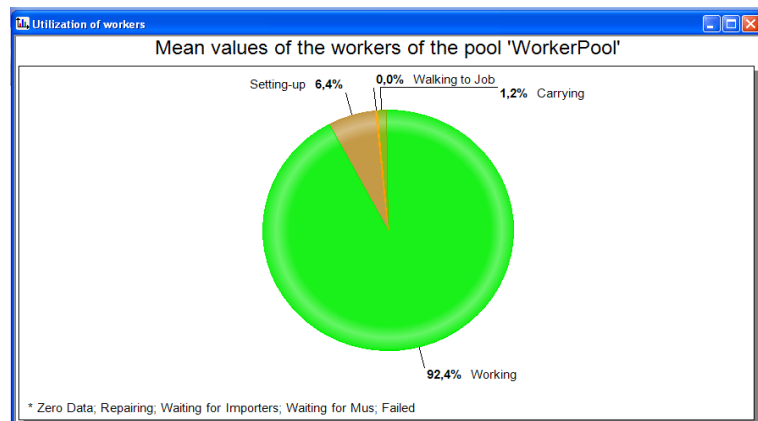
Současná dávka 1548 kusů



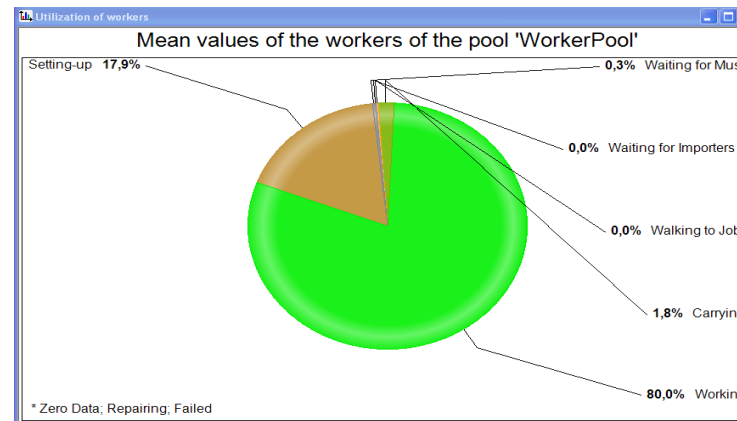
Dávka 774 kusů



Dávka 516 kusů



Dávka 258 kusů



PŘÍLOHA P IX: ÚPRAVA VELIKOSTI DÁVKY – FRAME LEPENÍ – PRŮBĚŽNÁ DOBA VÝROBY

Drain	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	8:10:19:53.6527	4:06:04:12.0010	2:00:08.9820	12:19:10:41.9162	2:16:17:55.9814	2:13:36:46.5844	1:55:00.0000	6:00:20:08.9820	10	0.014367816	0.34482759

Drain	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	8.19%	0.14%	0.15%	0.00%	0.00%	41.11%	49.59%	0.29%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	8.13%	0.00%	0.84%	0.00%	0.00%	41.15%	50.11%

Dávka 1548 kusů

Drain	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	5:10:51:33.1423	2:09:08:19.5800	1:02:38.9820	8:01:52:50.9581	1:09:55:37.0210	1:18:32:15.9453	57:30.0000	4:20:10:11.9760	21	0.030172414	0.72413793

Drain	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	6.56%	0.21%	0.30%	0.00%	0.00%	30.89%	37.96%	1.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.43%	9.53%	0.00%	1.18%	0.00%	0.00%	49.90%	60.61%

Dávka 774 kusů

Drain	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	5:00:30:37.9967	2:02:05:15.6792	43:24.4910	7:01:33:49.9401	21:12:18.6040	1:14:57:40.0855	38:20.0000	5:00:11:47.4850	33	0.047413793	1.137931

Drain	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	4.82%	0.23%	0.33%	0.00%	0.00%	23.39%	28.77%	0.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.41%	9.99%	0.00%	0.73%	0.00%	0.00%	60.10%	70.82%

Dávka 516 kusů

Drain	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	4:02:03:28.9763	1:22:06:01.8121	24:25.4910	6:20:55:20.3293	11:54:24.9394	1:03:09:36.3099	24:21.0000	3:22:33:21.3174	58	0.083333333	2

Drain	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	3.05%	0.43%	0.27%	0.00%	0.00%	17.09%	20.84%	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.44%	11.36%	0.00%	0.78%	0.00%	0.00%	66.57%	78.72%

Dávka 258 kusů

PŘÍLOHA PX: PDV PO ÚPRAVĚ VELIKOSTI DÁVKY A VYBALANCOVÁNÍ KAPACIT

Období průměrné poptávky

Expedice	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	6:17:21:30.7170	3:10:34:47.7680	2:53:45.2188	13:20:51:13.8876	10:33:42.9942	15:52:19.9324	2:33:50.7692	2:17:48:56.7573	65	0.093390805	2.2413793

Expedice	Production						Transport						Storage								
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	7.53%	0.05%	4.72%	0.00%	0.10%	39.11%	51.52%	0.07%	0.00%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.32%	24.68%	0.00%	10.58%	0.00%	0.00%	12.90%	48.15%

Období poptávkové špičky

Expedice	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Endoskopy	5:11:46:18.3983	3:08:58:03.8929	2:53:45.2188	13:20:20:44.3482	7:43:04.9691	13:00:55.1458	2:33:50.7692	2:14:48:56.7573	89	0.12787356	3.0689655

Expedice	Production						Transport						Storage								
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Endoskopy	9.05%	0.08%	5.24%	0.00%	0.13%	44.68%	59.18%	0.16%	0.00%	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.43%	14.50%	0.00%	9.15%	0.00%	0.00%	16.75%	40.40%