

Návrh výrobního procesu montáže teleskopů a ostřikovačů světel automobilů

Design of production process of telescopes and car headlight
washers

Bc. Ivo Kotásek



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Ivo KOTÁSEK
Osobní číslo: A09477
Studijní program: N 3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Informační technologie

Téma práce: Návrh výrobního procesu montáže teleskopů
a ostřikovačů světel automobilů

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s výrobním procesem montáže teleskopů a ostřikovačů světel automobilů ve firmě TNS Servis s.r.o. Z reálného provozu sesbírejte, popřípadě experimentálně získejte data pro sestavení modelu tohoto výrobního procesu.
3. Na základě získaných dat navrhnete schéma a strukturu modelu stávajícího provozu. Sestavte tento model a provedte jeho simulaci. Pro modelování a simulaci využijte programového prostředí Witness. Analyzujte současný stav výroby.
4. Na základě konzultace s pracovníky firmy navrhnete vhodná řešení, která povedou ke snížení výrobního času, zmenšení výrobní plochy a minimalizaci rozpracované výroby. Navrhnete cílové funkce a plán simulačních experimentů. Tyto experimenty pak realizujete na navrženém modelu. Popište jednotlivé simulační experimenty a provedte analýzu a vyhodnocení výsledků těchto experimentů.
5. Na základě výsledků doporučte úpravy na zefektivnění provozu. Upozorněte na rezervy a úzká místa systému.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. DENNIS, Pascal; SHOOK, John. Lean production simplified : a plain language guide to the worlds most powerful production system. New York: Productivity Press, 2002. 170 s. ISBN 1563272628.
2. Firemní dokumentace.
3. Hušek, R., Lauber, J.: Simulační modely. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987.
4. KOŠTURIÁK, Ján; FROLÍK, Zbyněk. Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. 237 s. ISBN 80-86851-38-9.
5. NEUSCHL, Štefan. Modelovanie a simulácia. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. 423 s.
6. Nikkan Kogyo Shimibun; Poka-yoke: improving product quality by preventing defects New York: Productivity Press, 2002. 208 s. ISBN:0-915299-31-3.
7. WITNESS : Business Simulation Software System, Manufacturing and Production [online]. c2008 [cit. 2011-01-07].
8. ZÍTEK, Pavel. Simulace dynamických systémů. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 418 s. ISBN 80-03-00330-X.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Bronislav Chramcov, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2011


Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2011

Ve Zlíně dne 24. února 2011


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce si klade za cíl využít znalosti z oblasti simulace systémů a navrhnout optimalizaci výrobního procesu a dosáhnout vyšší produktivity, než je tomu doposud. V teoretické části je popsána oblast základních principů štíhlé výroby a simulace. Je také představeno simulační prostředí Witness společnosti Lanner Group Ltd. Ve praktické části je výrobní proces podroben analýze a jsou diagnostikovány zásadní problémy, které mají dopad na celkový chod výrobního procesu. Jsou provedeny simulační experimenty, jejichž výstupem je celková racionalizace výrobního procesu a navýšení produkce.

Klíčová slova: štíhlý podnik, štíhlá výroba, simulace, Witness, JIT, Poka-Yoke

ABSTRACT

This diploma thesis aims to use knowledge of system simulation and design optimization process and achieve higher productivity than is currently the case. The theoretical part describes the fundamental principles of lean manufacturing and simulation. It also presented by simulation environment of Witness, Lanner Group, Ltd.. In the practice part is production process analyzed and diagnosed the major problems that affect the overall operation of the manufacturing process. Simulation experiments are realize, whose outcome is an overall rationalization of the production process and increase production.

Keywords: lean company, manufacturing, simulation, Witness, JIT, Poka-Yoke

Děkuji vedoucímu mojí diplomové práce Ing. Bc. Bronislavu Chramcovovi, Ph.D., za jeho cenné rady a připomínky. Taktéž bych chtěl poděkovat společnosti TNS Servis, s.r.o. za možnost zpracovat diplomovou práci. Děkuji taktéž Ing. Zdeňkovi Vaněčkovi (rozvoj) a Davidu Šichnárkovi (technik – útvar technické přípravy výroby) za cenné informace a pomoc při řešení optimalizace výroby.

„Neexistuje způsob jak vytvořit nové bohatství jen snižováním nákladů a zbavováním se lidí. Firma musí přejít od odtučňování a anorexie společnosti k budování svalové hmoty – zbavit se tuku a nechat si narůst svaly.“

Kjell Nordström a Jonas Ridderstråle: Funky business, Grada, 2005

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST	10
1	CO JE TO ŠTÍHLÝ PODNIK?	11
1.1	ŠTÍHLÁ VÝROBA	13
1.1.1	Historie štíhlé výroby	14
1.2	ŠTÍHLÝ LAYOUT A VÝROBNÍ BUŇKY	15
1.2.1	Hlavní parametry štíhlého layoutu	16
1.2.2	Zásady tvorby layoutu ve výrobní buňce.....	16
1.2.3	Postup implementace	18
1.2.4	Typické přínosy	18
2	NÁSTROJE.....	19
2.1	SIMULACE	19
2.1.1	Definování problému.....	19
2.1.1.1	Pozorování a popis systému.....	19
2.1.1.2	Definice problému	19
2.1.2	Tvorba modelu a jeho testování	20
2.1.2.1	Ověření správnosti modelu – validace.....	21
2.1.3	Experimentování	22
2.1.3.1	Návrh simulačního experimentu	22
2.1.3.2	Analýza výstupů simulace	23
2.1.4	Dokončení projektu	23
2.2	SIMULAČNÍ PROSTŘEDÍ WITNESS.....	24
2.2.1	Witness Simulation Software.....	24
2.2.2	Základní stavební prvky	25
2.2.3	Obecná stavba modelu	26
2.2.4	Práce s modelem.....	27
2.2.5	Simulace	28
2.3	„PRÁVĚ VČAS“ (JUST-IN-TIME).....	28
2.3.1	Doba taktu	29
2.3.2	Zavedení výrobního toku.....	29
2.4	POKA-YOKE.....	30
II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
3	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI TNS SERVIS, S.R.O.	33
3.1	TNS SERVIS, S.R.O.	33
3.2	HISTORIE SPOLEČNOSTI TNS SERVIS, S.R.O.	34
4	POPIS VÝROBNÍ LINKY	35
4.1	POZOROVÁNÍ PŮVODNÍ VÝROBNÍ LINKY	35
4.1.1	Layout – HALA 3.....	36
4.1.2	Komponenty teleskopu HYUNDAI XM.....	38
4.1.3	Blokové schéma procesu	39
4.1.4	Pracoviště č. 100 – nasazení hadice do pružiny	40

4.1.5	Pracoviště č. 105 – Montáž víčka a membrány na píst	40
4.1.6	Pracoviště č. 115 – Mazání přípojky a zavěšení pružiny + O-kroužek	41
4.1.7	Pracoviště č. 121 – Kompletace teleskopu	41
4.1.8	Pracoviště č. 121 – Zajištění pružiny	42
4.1.9	Pracoviště č. 126 – Test teleskopu	42
4.1.10	Manipulační práce mezi jednotlivými pracovišti	43
5	ANALÝZA VÝROBNÍCH ČINNOSTÍ PROCESU.....	44
5.1	NÁMĚR HODNOT TNS SERVIS, S.R.O.	44
5.2	NÁMĚR VLASTNÍCH HODNOT	44
6	SESTAVENÍ MODELU V PROSTŘEDÍ WITNESS.....	49
6.1	POSTUP VYTVÁŘENÍ MODELU V PROSTŘEDÍ WITNESS	50
6.1.1	Reprezentace činností výrobní linky	50
6.1.2	Vstupní a výstupní pravidla.....	51
6.1.3	Elementy cílových funkcí.....	60
7	SIMULACE PŮVODNÍHO STAVU VÝROBNÍ LINKY A JEHO VALIDACE.....	61
7.1	ANALÝZY PRACOVNÍHO VYTÍŽENÍ PRACOVNÍKŮ.....	61
8	EXPERIMENTY	64
8.1	EXPERIMENT Č. 1 – ZMĚNA LAYOUTU VÝROBNÍ LINKY	64
8.2	EXPERIMENT Č. 2 – PŘIDÁNÍ DALŠÍHO PRACOVNÍKA.....	65
8.3	EXPERIMENT Č. 3 – ZDVOJNÁSOBENÍ PRACOVNÍŠTĚ Č. 121	68
8.4	EXPERIMENT Č. 4 – NOVÉ ROZVRŽENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	69
8.5	EXPERIMENT Č. 5 – BUDOUCÍ MOŽNÉ ROZVRŽENÍ LAYOUTU.....	73
9	PŘEDSTAVENÍ VÝSLEDKŮ SIMULAČNÍ STUDIE	75
9.1	PREZENTACE VÝSLEDKŮ.....	76
	ZÁVĚR	78
	CONCLUSION	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	80
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

Efektivní řízení změn je klíčovým faktorem úspěchu. Podniky a jejich dodavatelé jsou pod stálým tlakem na zkrácení dodacích lhůt při současném snižování nákladů. Většina společností reagovaly zavedením JIT a štíhlé výroby, které vyžadují neustálé zlepšování pro optimalizaci účinnosti a splňovat stále přísnější stanovené cíle. Na druhé straně útočí požadavky spotřebitelů na větší rozmanitost výrobků a služeb, což přidává na složitosti nejen ve výrobě a distribuci, ale celému systému.

V 90 letech minulého století nastala revoluce v automobilovém průmyslu v západním světě. Velkým impulsem byly objevy japonských metod, které přivedly tamní automobilové podniky k takovým výsledkům, že byli schopni vyrobit automobil rychleji, kvalitněji a levněji než většina západní konkurence. Dnes se opět setkáváme s další fází zeštíhlování výroby, kdy automobilky tlačí na své dodavatele k takovému zeštíhlení, jakého nedosahují ony samy. Metody si postupem času našly cestu i do dalších odvětví jako je lékařství, finančnictví, doprava, logistika, veřejné zprávy a dalších.

Každá společnost musí být schopna inovace. Inovace znamená přeměnu znalostí na nové výrobky a služby. Není to jednorázová činnost ale celoživotní proces firmy, která chce žít dlouhý a zdravý život.

Společnost TNS Servis, s.r.o. toho není výjimkou a úspěch nutí firmu realizovat komplexní změny za co nejkratší časový úsek, což velmi zvyšuje riziko výskytu chyby. Zejména v časech, kdy se dostává automobilový trh z velké krize je potřeba si znovu utrhnout pevné místo nad konkurencí.

Cílem této diplomové práce je optimalizovat výrobní proces a cíleně navýšit výrobu. Jako první se zaměřím na skutečné poznání stavu – analýza. Budu se zde zaměřovat na technologický postup výroby a dodržovat přitom zásady štíhlé výroby. Výsledky počáteční analýzy budou základním stavebním kamenem pro další postup. Bude nutné si definovat a správně diagnostikovat problémy, se kterými se výrobní linka potýká a v následných simulačních studiích a experimentech v prostředí programu Witness navrhnout správnou terapii, která povede k navýšení efektivity práce. Důležitým výstupem bude odstranění plýtvání a vybalancovat proces k absolutnímu maximu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CO JE TO ŠTÍHLÝ PODNIK?

Štíhlost podniku znamená dělat jen takové činnosti, které jsou potřebné a nejsou zbytečné, čili vše dělat rychleji než konkurence, hned na poprvé a vydat co nejmíň peněz na náklady spojené s výrobou. Šetřením však ještě nikdo nezbohatl, štíhlost je o zvyšování výkonnosti firmy tím, že na dané ploše dokážeme vyprodukovat víc než konkurenti, že s daným počtem lidí a zařízení vyrobíme vyšší přidanou hodnotu než druzí, že v daném čase vyřídíme víc objednávek, že na jednotlivé podnikové procesy a činnosti spotřebujeme méně času. Tedy vše dělat s minimálním počtem různých činností a navyšovat tak efektivitu práce přesně tak jak to chce zákazník a vydělat více peněz za méně času. [4]

„Štíhlá výroba je paradigma a způsob myšlení o výrobě. Je to filozofie, která zkracuje průběžný čas eliminací plýtvání, aby byly včas dodávány výrobky vysoké kvality při nízkých nákladech.“

Mike Rother (autor a propagátor managementu toku hodnot)

Štíhlá výroba není jenom redukování nákladů, jde především o maximalizaci přidané hodnoty výrobku pro zákazníka. Je to cesta k tomu, abychom vyráběli víc, měli menší náklady, dobře využili výrobního prostoru a dostupných zdrojů. Je také potřeba úzce propojit vývoj výrobků a technickou přípravu výroby, logistiku a administrativu. Některé podniky mají tyto procesy, jakou jsou například vývoj a výroba výrobku oddělené. Přitom štíhlost se vytváří už v předvýrobních etapách a velká část štíhlého podniku je velmi ovlivněna logistickým řetězcem nebo administrativními procesy. [4]

Štíhlá výroba je filozofie, která usiluje o zkrácení času mezi zákazníkem a dodavatelem eliminací plýtvání v řetězci mezi nimi.

Ve filozofii štíhlého podniku je také klíčový pojem plýtvání, což je všechno, co navyšuje náklady a čas na zhotovení výrobku nebo služby aniž by se zvyšovala jejich hodnota. Typickými situacemi plýtvání ve výrobě může být například pozorování chodu stroje, počítání dílů, čekání na materiál, zmetky a jejich odstraňování, poruchy, nošení součástí, hromadění zásob, hledání nástrojů nebo nadvýroba a zbytečná manipulace. [4]

O tom co je přidaná hodnota rozhoduje zákazník. On definuje v jaké kvalitě, v jakém množství, termínu a ceně je ochotný koupit danou službu anebo produkt. Je mnoho podniků, které umějí splnit požadavky svých zákazníků, štlhlé podniky to však dokážou při minimálním plýtvání. A tak se ke spokojenosti zákazníka přidává také spokojenost akcionářů, kteří tak dosahují vyšší ziskovosti, a spokojení zaměstnanci, kteří po vynaložení menšího úsilí mají vyšší výkon, a tím i vyšší výdělek. [4]

Štlhlý podnik ale není definován pouze souborem určitých postupů a metod k odstranění plýtvání. Podnik tvoří především lidé, jejich postoje k práci, znalosti a motivace.

Mnoho firem se soustředí hlavně na zavádění prvků štlhlé výroby. Výroba se sice značně podílí na výsledné hodnotě produktu, ale o tom, jak rychle a efektivně peníze vyděláme rozhodují také další firemní oblasti. [4]



Obrázek 1: Firemní oblasti

Já se v této práci zaměřuji především na zeštlhlení výroby, proto budu dále ubírat pouze tímto směrem.

1.1 Štíhlá výroba

Prvky štíhlé výroby vedou k minimalizaci následujících forem plýtvání, které se vyskytují v určité míře v každém výrobním systému: [4]

- **Nadvýroba** – vyrábí se příliš mnoho nebo brzo.
- **Nadbytečná práce** – pracovní úkony mimo specifikovanou náplň práce.
- **Zbytečný pohyb**
- **Zásoby** – převyšující minimum pro dokončení úkolu.
- **Čekání** – na součástky, dokončení cyklu nebo informace.
- **Opravování** – odstranění zmetků.
- **Doprava** – nadbytečná manipulace.
- **Nevyužité schopnosti pracovníků** – největší plýtvání v podniku.

Štíhlé pracoviště je základem štíhlé výroby. Záleží jak máme pracoviště navržené, od toho se pak odvíjí pohyby pracovníků, které musejí denně vykonávat pro plnění pracovních úkolů. Z toho pak plyne spotřeba času, výrobní kapacita a další parametry výroby.

Ke štíhlému pracovišti patří i **zásady 5S** (Seiri, Seiton, Seiso, Seketsu, Shitsuke): [4]

- **Definování potřebných pomůcek a zařízení na pracovišti.**
- **Odstranění všeho zbytečného z pracoviště.**
- **Přesné definování místa pro uložení potřebných položek na pracovišti.**
- **Udržování čistoty a pořádku na pracovišti.**
- **Dodržování disciplíny, pořádku a rozvoj myšlení a kultury 5S.**

Vizualizace je důležitým prvkem všech podnikových procesů. Můžeme tak sledovat, jakou rychlostí probíhají jednotlivé procesy, co je standardním průběhem a co výjimkou, jaká je kvalita, efektivita a produktivita na pracovišti.

Týmová práce je základem pro fungování štíhlého podniku, protože plýtvání v podniku je způsobeno především špatnou komunikací a spoluprací mezi zaměstnanci. Součástí týmové práce a zeštíhlování podniku je neustále zlepšování a rozvíjení metod a postupů pro výrobu, což můžeme nazvat podle japonského slova **kaizen**. Lidé mají kromě svalů také mozek a měli by přemýšlet o tom co dělají a měli by vidět problémy, dokázali své poznatky o nich předat dále a aktivně se účastnili při jejich odstranění. [4]

Procesy kvality a standardizovaná práce jsou základy každé výroby (nejen štíhlé). Kvalita musí být zabudována v každém procesu, stejně jako zjištění abnormality a reakce na ni. Tam, kde nejsou procesy pod kontrolou, kde předepsané parametry kvality nebo času vykazují nestabilitu a široký rozptyl, pak nemohou fungovat ani další prvky štíhlé výroby. Kvalita není několikanásobná kontrola ani hrubé směrnice kvality. Kvalita u zdroje znamená okamžité zjištění chyby, okamžité reagování, hledání a odstraňování příčiny vzniku chyby. [4]

Synchronizace procesů a vyvážené toky ve výrobě jsou důležitými aspekty při navrhování zeštíhlení výroby. Vyrábíme jen to, co zákazník opravdu požaduje a to v požadované kvalitě, množství a čase. [4]

Podle pánů Jána Košturiaka a Zbyňka Frolíka jsou předpoklady pro plynulý tok ve výrobě především:

- Stabilní procesy z hlediska kvality, spolehlivosti a času.
- Vyvážené capacity.
- Dobře fungující okolí výroby (logistiky, technická příprava výroby, administrativa).
- Výroba v malých dávkách.

1.1.1 Historie štíhlé výroby

V roce 1890 začal jako první Frederick W. Taylor vědecky zkoumat management, jehož odborná práce vedla k formalizaci studií o času, pohybu a stanovení obecných standardů. Na to pak později pak navázal Frank Gilbreth s myšlenkou rozdělení práce na elementární časové úseky.

Právě v této době se objevují první zmínky o odstranění zbytečných časových prodlev a studiu pohybu. V roce 1910 pak vynalezl Henry Ford systém montážní linky pro svůj standardizovaný model T. Na něj pak navázal Alfred P. Sloan z GM který vylepšil Fordův systém a to uvedením konceptu různorodých montážních linek.

Po druhé světové válce v Japonsku vytvořili Taiichi Ohno a Shingeo Shingo výrobní systém pro společnost Toyota s názvem Toyota production system, který se stal základem štíhlé výroby. Základem výrobního systému Toyoty se staly dva pilíře: JIT (just-in-time) neboli výroba/dodávky právě včas a JIDOKA (autonomation) neboli automatizace s lidskou inteligencí. Právě "včas" znamená, že se v procesu toku potřebné díly dostanou na montážní linku přesně v tom čase, jak jsou potřebné, a jen v tom množství, které je třeba. Myšlenka byla převzata z amerických automobilových závodů (Ford), kde byla poprvé aplikována. Práce Taiichiho Ohnoho byla doplněna v padesátých a šedesátých letech výsledky Shigea Shinga (1909-1990) v oblasti redukce nastavovacích časů (SMED), která umožnila vyrábět v mnohem menších dávkách. [15]

V roce 1990 byly tyto koncepty shrnuty Jamesem Womackem (profesor na Massachusetts Institute of Technology) a jeho kolegové podrobnou studií tohoto systému. Od roku 1984 do roku 1989 vedli pětiletý projekt financovaný velkými společnostmi automobilového průmyslu a Americkými a Evropskými vládami.

Výsledky svého průzkumu publikovali v legendární knize "The machine that changed the world: The story of lean production" [Stroj, který změnil svět: příběh štíhlé výroby], 1990. Byl tak vytvořen Lean Manufacturing (štíhlá výroba). Tou dobou se již do západního světa dostávají Japonské zkušenosti a odborné znalosti. Úspěchy dosažené společnostmi, aplikujícími tyto principy a techniky, jsou nezpochybnitelné. [15]

1.2 Štíhlý layout a výrobní buňky

Nesprávně navržený layout je příčinou plýtvání v mnoha podnicích, mohou vznikat zbytečně dlouhé materiálové toky, množství manipulačních, skladovacích a kontrolních činností, nepřehledné procesy a složité řízení logistiky a výroby. Štíhlý layout a výrobní buňky jsou řešením uvedených problémů. Štíhlý layout zároveň přináší úsporu ploch, přičemž na uvolněných plochách je možné umístit další výrobní programy. [4]

1.2.1 Hlavní parametry štíhlého layoutu

- Přímý materiálový tok.
- Minimalizace přepravních vzdáleností mezi operacemi.
- Minimální plochy na zásobníky a mezisklady. Přímočaré a krátké trasy.
- Minimální průběžné časy.
- Sklady v místě potřeby, vizuální kontrola počtu dílů v přepravce nebo na skladovací ploše.
- Odstranění dvojnásobné manipulace.
- FIFO a tahový systém.
- Buňkové uspořádání a segmentace.
- Flexibilita s ohledem na variabilitu produktů, výrobní množství a změny výrobního layoutu (mobilní zařízení – kolečka, vzduchové polštáře).
- Nízké náklady na instalaci.

Důležitou vlastností výrobních buněk je jejich flexibilita. Tím že jsou mezi jednotlivými zařízeními minimální vzdálenosti operátor neztrácí čas při přecházení a manipulaci s výrobky. Projektování výrobních buněk je poměrně náročný proces, který vyžaduje mnoho času a někdy i investice (přesuny strojů, změny layoutu). Smysl má tento projekt tehdy, jestliže se jedná o dlouhodobý obchodní vztah se zákazníky, kteří vyžadují vysokou flexibilitu a nízké náklady. Výrobní buňky jsou cestou k radikálnímu zvýšení pružnosti a produktivity současně. Vytváření výrobních buněk je obvykle propojené s projekty 5S, vizualizace a budování týmové práce v podniku. Výsledkem takového projektu je synchronizace procesů s požadavky zákazníků a dosažení toku jednoho kusu. [4]

1.2.2 Zásady tvorby layoutu ve výrobní buňce

- Výstup jedné operace je vstupem druhé operace.
- Těsné uspořádání strojů s možností více strojové obsluhy.

- Počáteční a koncový bod operátora jsou blízko sebe.
- Vyvážený materiálový tok s jednoduchou manipulací na další operaci.
- Plynulý materiálový tok bez zásobníků, palet a kontejnerů.
- Malé přepravky a manipulační zařízení.
- Nářadí, pomůcky a dodavatelé jsou umístěni co nejbližší, přípravky jsou rozděleny na jednotlivá zařízení.
- Žádné překážky pohybu operátora v prostoru buňky.
- Polotovary a vstupující součástky jsou skladovány blízko místa spotřeby a jsou snadno dosažitelné operátorem.
- Mezisklady jsou umístěny blízko buněk, které zásobují.

Důležitým prvkem výrobní buňky je samotné výrobní zařízení. Hlavní charakteristiky stroje jsou: [4]

- Zařízení je autonomní
- Neprodukuje chyby – zabudované principy poka yoke.
- Je časově vybalancované v taktu – minimalizace ztrátových časů.
- Vyhovuje návaznosti procesů.
- Nízké nároky na prostor.
- Snadno udržovatelné.
- Ergonomické – nezatěžuje negativně člověka.
- Náklady na zařízení jsou nízké.

Kromě uvedených principů je nejdůležitější součástí výrobní buňky výrobní tým, který v dané buňce pracuje. Je proto důležité vytvořit při projektování buněk podmínky nejen pro pohyb operátora v prostoru buňky, ale i podmínky pro dobrou komunikaci pracovníků, vizualizaci a řešení problémů přímo ve výrobním procesu. [4]

1.2.3 Postup implementace

- Sestavení týmu, definování cílů projektu, projektový plán.
- Procesní analýza – součástky, výrobní postupy.
- Seskupování součástek – segmentace.
- Určení rychlosti taktu, požadavek zákazníka.
- Mapování výrobních kroků.
- Výběr zařízení a přepočet jejich kapacitního vytížení.
- Layout buňky.
- Výběr pracovníků a analýza jejich vytížení.
- Návrh toku materiálu.
- Organizace pracoviště -5S, ergonomie.
- Implementace.
- Standardizace.

1.2.4 Typické přínosy

Mnohé přínosy výrobních buněk jsou uvedeny výše. Statistické údaje z aplikace štíhlého layoutu a výrobních buněk ukazují následující přínosy. [4]

- Zkrácení průběžné doby výroby až o 89%.
- Zkrácení času dodávky výrobku na trh až o 93%.
- Zlepšení přesnosti dodávky až o 30%.
- Snížení rozpracované výroby až o 83%.
- Zvýšení produktivity práce až o 100%.
- Snížení nákladů na zabezpečení kvality až o 66%.
- Redukce potřeby ploch až o 25%.

2 NÁSTROJE

2.1 Simulace

Simulace systémů se využívá při zkoumání i projektování objektu, při výuce a v jiných případech sdělování poznatků a hypotéz. Zkoumáme systémy na vymezených objektech a také jejich dynamiku v čase. Systém můžeme vymezit jak na existujícím objektu, na objektu projektovaném i na objekt nepřímo souvisejícím s realitou. Hlavním principem simulace je vyvození soudu o systému na základě experimentu s jeho modelem.[10]

Simulační projekt lze rozdělit do čtyř základních částí [10]:

- Definování problému
- Tvorba modelu a jeho testování
- Experimentování
- Dokončení projektu

2.1.1 Definování problému

2.1.1.1 Pozorování a popis systému

Základem pro sestavení jakéhokoliv modelu je jednoznačný a úplný popis zkoumaného objektu (jevu) z hlediska kterého se chce objekt zkoumat. Je potřeba jasně formulovat zadání úkolu a ujasnit si, jakým cílům bude model sloužit. Dobré seznámení se strukturou, funkcionalitou a procesy, které v modelovaném systému probíhají, je nutností, protože se z nich vychází při stavbě modelu [12].

2.1.1.2 Definice problému

Problém je možné formulovat v následujících etapách [12]:

- **Vlastní definice problému.**
 - rozpoznání existence problému
 - stanovení cíle řešení
 - určení konkrétních otázek na které je potřeba odpovědět

- stanovení rozsahu problému (ohraničení)
- rozdělení na parciální problémy
- **Návrh metodiky řešení problému.** V této části se popisuje předpokládaná metodika a postup práce, která je nutná pro dosažení cíle řešení problému. Tato část by pak měla obsahovat[10]:
 - určení priorit řešení problémů a dílčích cílů
 - návrh základní metody řešení problému jako i alternativních metod
 - odhad požadavků na pracovní síly, strojní čas, harmonogram prací a odhad nákladů řešení.

2.1.2 Tvorba modelu a jeho testování

V této etapě projektu jde o návrh simulujícího systému a jeho realizaci pomocí vhodného simulátoru. Návrh modelu může, ale nemusí, vycházet z matematického popisu aktuální představy o simulovaném problému. Za simulační model se považuje model, který při napodobování dynamiky simulovaného systému zachovává uspořádání posloupnosti časových změn [13].

Každý model je zjednodušeným obrazem reality, měl by být pouze tak složitý, jak je nezbytně nutné s ohledem na stanovený cíl [3]. Proces transformace znalosti situace, získané ve fázi pozorování systému a definice problému, do formy modelu obsahuje několik klíčových bodů [3, 10]:

Specifikaci účelu vytvářeného modelu, kterým může být[10]:

zhodnocení – určuje jak navrhované změny (samotný systém) vyhovují stanoveným kritériím v absolutním smyslu,

porovnání – srovnání efektů variantních pravidel činnosti systému,

citlivostní analýza – určení faktorů podstatně ovlivňujících studovaný systém,

optimalizace – určení takové kombinace úrovní faktorů, které povedou k extrémní hodnotě určitého kritéria.

Důkladná formulace cíle je nezbytná pro další etapy prací, které s ním musí být v souladu. Obsah etap se liší podle toho, jaký cíl je sledovaný.

Popis prostředků a funkcí systému, vztahy v systému, chování a vlastnosti. Pro stanovení cíle modelovaného systému je důležité identifikovat jeho komponenty, stanovit zda má být součástí modelovaného systému nebo má patřit do podstatného okolí. Na jedné straně jde o to vytvořit co nejjednodušší model po výpočetní stránce a na straně druhé je snaha vystihnout co nejvěrnější popis reality. Často je třeba brát v úvahu i nepozorovatelné proměnné (nemohou být přímo změřeny), které mohou hrát důležitou úlohu při determinaci aktivity systému. Tato koncepce je shodná s pochopením systému jako černé skříňky. [10]

Zjednodušení systému. Tvorbu validních a zároveň nejjednodušších modelů lze chápat jako proces přidávání dalších komponent a proměnných do příliš jednoduchých modelů, nebo naopak jako proces zjednodušení validních, ale příliš složitých modelů. Ideálně věrný model systému se pak nazývá základním modelem – je věrný ve všech myslitelných experimentálních rámcích, plně vysvětluje chování studovaného systému. Mezi nejdůležitější postupy simplifikace základního modelu vedoucí k modelu pracovnímu patří [10]:

- vynechání některých komponent, proměnných, vazeb,
- náhrada deterministických vztahů a vazeb náhodnými veličinami,
- agregace komponent a proměnných.

2.1.2.1 Ověření správnosti modelu – validace

Ve vztahu **systém – model** je důležitým hlediskem otázka validity modelu, tj. jak dobře model reprezentuje reálný systém. Validita modelu je posuzována dosaženou mírou shody mezi daty získanými na reálném systému s daty generovanými modelem. Podle dosažené validity může být model [3]:

- **replikativně validní** – reprodukuje data z reálného systému.
- **prediktivně validní** – model poskytuje data předtím, než je poskytuje reálný systém.

- **strukturně validní** – model je schopný nejenom reprodukovat pozorovaná data, ale také věrně odráží způsob činnosti reálného systému.

2.1.3 Experimentování

Po tom, co je simulační model verifikovaný a validovaný, může být aplikován na řešení studovaného problému, který spočívá v provedení simulačního experimentu a analýze získaných výsledků. Model, na kterém nebyl proveden simulační experiment a jeho výsledky nebyly detailně popsány, není příliš užitečný. Simulační experiment odhaluje množství charakteristik a informací o chování zkoumaného objektu, které pak mohou minimalizovat náklady a úsilí při realizaci systému v reálném životě [3, 12, 14].

2.1.3.1 Návrh simulačního experimentu

Každý simulační experiment musí být předem takticky a strategicky naplánovaný, protože informace ze simulačních modelů získáváme prostřednictvím vyhodnocených experimentů. Systém musí být pozorován při specifické kombinaci podmínek a prostředí, kdy by měla být pozorována citlivost proměnných [3,14].

Základním úkolem, který je potřeba řešit je vyloučení nežádoucích vlivů, které by mohly ovlivnit výsledky simulace. Jde zejména o vliv [3,12]:

- Počátečních podmínek.
- Rozptylů náhodných proměnných (vliv různých posloupností náhodných čísel).
- Náběhových období.

Vliv náhodných faktorů na výsledky je možné redukovat tím, že se pro srovnávané varianty modelu použije stejná posloupnost náhodných čísel. Technicky je tato možnost snadno realizovatelná použitím stejného generátoru náhodných čísel při zachování stejných počátečních podmínek. [10]

2.1.3.2 Analýza výstupů simulace

Produktem simulačního experimentu je soubor číselných hodnot náhodných veličin, které je potřeba nějakým způsobem zpracovat do požadovaných charakteristik. Pro vyhodnocování se používají metody matematické statistiky. Výsledky simulačních experimentů mají často tvar bodových odhadů středních hodnot zkoumaných veličin (průměrné náklady, průměr dob strávených v systému, průměrné využití zařízení, průměrné prostoje, ...). Více informací dávají intervalové odhady, které poskytují představu o rozmezí, ve kterém se zkoumaná veličina bude pohybovat s předem zvolenou pravděpodobností. Stanovení odhadů intervalů spolehlivosti naráží v simulační problematice na závažné problémy, mezi které patří zejména autokorelace výsledků [3, 12].

2.1.4 Dokončení projektu

Úspěšnost simulačních modelů nezávisí pouze na správné formulaci výzkumného cíle, definování systému na realitě, konstrukci modelu, plánování a analýze výsledků, ale do značné míry také na závěrečných fázích simulačního projektu [3] (dohotovění dokumentace a prezentace výsledků projektu).

V této etapě prací vystupuje do popředí problém komunikace mezi tvůrci a potencionálními uživateli modelu. Tvůrci modelu musí umět „prodat“ své myšlenky a závěry těm, kteří by je mohli využívat. To znamená, že tvůrci modelu by měli být schopni kromě jazyka matematického, statistického či programátorského (termíny algoritmů, stochastických a dynamických vlastností modelů, simulačních jazyků, ...) ovládat i jazyk uživatelské praxe (umět mluvit i o věcné stránce procesů, organizačních a řídicích pravidlech, ...) [3].

Vytvoření dokumentace simulačního modelu je zárukou důvěryhodnosti týmu provádějícího simulaci. Výsledky ze simulačních studií by měli být prezentovány v takové formě, aby je mohl uživatel snadno aplikovat na zkoumaný problém, protože jeho zájem je orientován přímo na něj a ne na model. [10]

2.2 Simulační prostředí Witness

2.2.1 Witness Simulation Software



Obrázek 2: Logo společnosti Lanner Group Ltd.[16]

Program Witness vytvořený britskou společností Lanner Group Ltd. je výkonný software pro návrh, simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů. Využívá se hlavně v oblasti interaktivní simulace systémů diskrétních událostí, které jsou postaveny na organizaci fyzických a logických elementů v závislosti na čase. Software je využíván velmi úspěšnými světovými společnostmi pro zvýšení jejich produktivity.[10,16]

Witness je používán ve všech odvětvích průmyslu a služeb[10,16]:

Automobilový průmysl, Výrobní průmysl, Organizace jaderných zařízení, Farmaceutický průmysl, Výroba potravin a nápojů, Zdravotní péče a organizace nemocničních zařízení, Logistika, Těžařský průmysl, Obrana a vzdušný prostor, Finanční služby, Letecký průmysl, ...

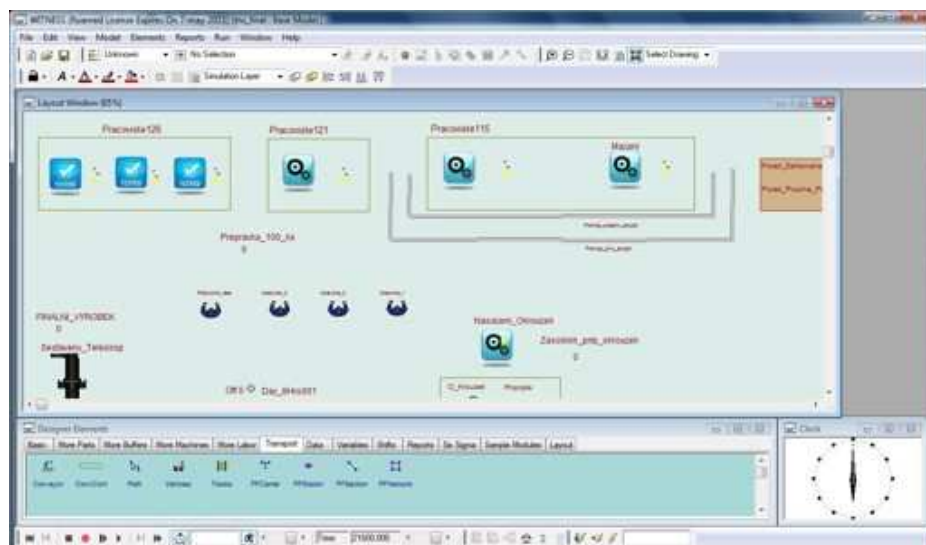
Mezi významné světové uživatele prostředí Witness můžeme zařadit společnosti BAE SYSTEMS, Rolls Royce, Ford, IBM, Nissan, Britvic, Michelin, Airbus, Lucent, Cummins, Flextronics a INCO. [10,16]

Významné přínosy produktu Witness [10,16]:

- Rychlejší zavádění změn a snižování dodacích lhůt
- Vyšší propustnost odstraněním překážek
- Zvýšení kapacity prostřednictvím lepšího využití zdrojů
- Nižší provozní náklady a nižší kapitálové výdaje
- Sestavení a testování modelu po malých úsecích, které značně zjednodušují stavbu modelu, poskytujících možnost identifikace logických chyb a vytvoření modelu spolehlivěji popisujícího reálnou situaci
- Možnost změny modelu v průběhu simulace

Mezi nehmotné přínosy pak můžeme zařadit [10,16]:

- Důvěra a menší riziko při rozhodování
- Lepší komunikace
- Týmová integrace
- Rychlejší rozhodování v investiční politice v závislosti na navrhovaných změnách
- Hodnocení alternativních návrhů



Obrázek 3: Simulační prostředí Witness

2.2.2 Základní stavební prvky

Diskrétní (fyzické) [10]

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| ▪ Díl, součást, osoba | entity – part |
| ▪ Fronta, zásobník | queue – buffer |
| ▪ Činnost, stroj | aktivita – machine |
| ▪ Zdroj obsluhy | resource, labor |
| ▪ Pásový dopravník | conveyor |
| ▪ Dráha | track |
| ▪ Vozík | vehicle |

Logické [10]

- | | |
|--------------------------|--------------|
| ▪ Atribut | attribute |
| ▪ Proměnná (uživatelská) | variable |
| ▪ Rozdělení | distribution |
| ▪ Funkce (uživatelská) | function |
| ▪ Směna | shift |

Grafické [10]

- | | |
|-----------------|------------|
| ▪ Časový graf | timeseries |
| ▪ Koláčový graf | pie chart |
| ▪ Histogram | histogram |

[9]

2.2.3 Obecná stavba modelu

Simulační model je v programu WITNESS tvořen třemi základními kroky. Po zaznamenání plného jména modelu, jeho zkratky a jména tvůrce se začíná každý element (viz. níže) modelovat v následujících krocích [10]:

1. **DEFINE** – umožňuje nadefinovat jména a množství (je-li známo) elementů, které chceme v modelu použít. Určením typu prvku se přiřazuje jednotlivým reálným prvkům jejich simulační obraz, který v obecné terminologii odpovídá svou formou a dostupnými funkcemi daným prvkům.

Příkladem je pomocný stůl v šicí dílně, na kterém se provádějí pomocné operace skládání a balení výrobků. Tento pasivní prvek, na kterém je práce vykonávána, je nutno ve WITNESSu zobrazit jako stroj, který za pomoci pracovníka podle nadefinovaných údajů (vstupní a výstupní pravidla, typ stroje, atd.) zpracovává díl. Po nadefinování potřebných údajů můžeme začít určovat obrazovou formu a popis elementů. [10]

2. **DISPLAY** – definovanému prvku nebo jevu přiřadí jeho obrazovou podobu. Na obrazovce je možné zobrazit jméno prvku v požadované barvě a velikosti, ikonu vybranou z knihovny ikon nebo vytvořenou v editoru ikon. Barva ikony může být fixní nebo proměnná, ta pak zobrazuje stav prvku v průběhu simulace. Barvy zobrazující stavy ve kterých se daný prvek nachází jsou popsány v manuálu, popřípadě mohou být zobrazeny formou klíče přímo na obrazovce. Práce v tomto módu je modifikována podle typu elementu. Pro každý typ elementu jsou v rozbalovacím menu okna Display nadefinované konkrétní položky (volby), pomocí kterých navolíme optimální obrazovou podobu daného prvku. [10]
3. **DETAIL** – nejdůležitějším krokem v průběhu definování našeho modelu je detailní popis parametrů elementu a jeho chování v simulaci. U každého fyzického i logického elementu je k dispozici přehledné menu, které formou oken zobrazuje všechny dostupné vlastnosti a funkce prvku. Fyzické elementy dále obsahují ve svých oknech volbu logických elementů, které mají vliv na jejich činnost. [10]

Dalším stavebním kamenem simulačního modelu v programovém vybavení WITNESS jsou možnosti modifikace jeho spuštění, nastavení přesných podmínek začátku, průběhu a konce simulace podle uvažovaných kritérií. Např. definice několika fází běhu modelu (ranní a odpolední směny) s proměnnými vstupními parametry, ale globálním zpracováním informací. [10]

Informace o jednotlivých prvcích a jejich chování během simulace jako i celkový obraz modelované situace je možné získat ve formě textových informací případně grafického zobrazení. [10]

2.2.4 Práce s modelem

Modely v programu WITNESS dynamicky zobrazují pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Zároveň jsou zaznamenávány všechny události, které v systému nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku procesu a má k dispozici i údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému podle zvolených kritérií. Model vytvořený ve Witness-u používá kombinaci dílů, lidí, strojů a jiných simulačních elementů za účelem simulace zkoumaných operací. [10]

2.2.5 Simulace

Princip simulace je jednoduchý – místo toho, abychom sledovali dynamické chování nějakého procesu (objektu), který nás zajímá a jeho reakce na provedené organizační a technické změny, sledujeme chování jeho modelu. [10]

Takovým modelovaným objektem může být například výrobní linka, systém hromadné obsluhy, sklad velkoobchodu, tok informací v pobočce banky apod. Tento způsob práce přináší mnohé výhody – můžeme např. vytvářet modely ještě neexistujících systémů a navrhnout tak hned napoprvé systém, který svým chováním přesně odpovídá našim představám. Simulační čas může běžet mnohem rychleji než reálný, a tak je možné rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaného řešení problému. [10]

2.3 „Právě včas“ (Just-in-time)

Aby dokázal výrobní podnik dosáhnout úspěchu v oblasti kvality, nákladů a dodávek (QCD) a dosáhnout spokojenosti zákazníků i své vlastní, musí v něm spolehlivě fungovat tři základní systémy: (1) absolutní kontrola kvality (total quality control – TQC) neboli absolutní řízení kvality (total quality management – TQM), (2) absolutní údržba výrobních prostředků (total productive maintenance – TPM) a (3) systém výroby „právě včas“ (just-in-time – JIT). Systém JIT vznikl pod vedením Taiichi Ohna. [11]

Každý z výše uvedených tří základních systémů pro dosažení QCD má jiné cíle: hlavním cílem TQC je celková kvalita, zatímco TPM se zaměřuje na kvalitu výrobních zařízení. JIT se zabývá další prioritou managementu – konkrétně náklady a dodávkami. Vrcholový management musí nejdříve pevně zavést systémy TQC a TPM a až poté může uvažovat o zavedení systému JIT. Mnozí lidé systém JIT správně nerozumí. Jedním z nejčastějších nedorozumění je, když podnik očekává od svých dodavatelů dodávky právě včas. Ale aby mohl podnik profitovat z přesně načasovaných dodávek, musí nejdříve dosáhnout nejvyšší možné efektivity ve svých vlastních procesech. JIT je revolučním způsobem, jak snížit náklady a zároveň splnit potřeby zákazníků v oblasti dodávek. [11]

2.3.1 Doba taktu

Doba taktu je celková výrobní doba rozdělená počtem vyrobených jednotek, které zákazník požaduje. U masově vyráběných položek je toto číslo vyjádřeno ve vteřinách. U pomaleji vznikajících položek se může jednat o minuty či dokonce hodiny, mluvíme-li třeba o stavbě lodi. Jestliže výrobní linka A produkuje 80 výrobků za den a pracovníci pracují osm hodin, doba taktu se počítá následovně:

$$(8 \text{ hodin} \times 60 \text{ minut}) / 80 = 6 \text{ minut}$$

Znamená to, že každý proces v rámci výrobní linky A dokončí svou práci každých šest minut, hotový výrobek opouští výrobní linku každých šest minut a na konci pracovní doby bude vytvořeno 80 výrobků.

Doba taktu je teoretické číslo, které nám říká, kolik času je potřeba na výrobu jednoho výrobku v každém procesu. [11]

2.3.2 Zavedení výrobního toku

V rámci regulované výroby (pull production) by měly být všechny procesy rozvrženy tak, aby vyráběný kus (obrobek) procházel jednotlivými fázemi výrobního procesu přesně v takovém pořadí, v jakém po sobě tyto fáze přirozeně následují. Jelikož některá výrobní zařízení jsou příliš velká a těžká nebo se využívají k různým účelům, není vždy možné či praktické seřadit jednotlivá zařízení v přesném pořadí. Nicméně izolované stroje by měly být přemístěny a v co největší míře začleněny do hlavní výrobní či montážní linky. [11]

Jakmile je takováto linka vytvořena, dalším krokem je zahájit kusovou výrobu, v jejímž rámci prochází jednotlivými fázemi výroby vždy pouze jeden vyráběný kus. Zkracuje to dobu výroby a znemožňuje hromadění zásob mezi jednotlivými fázemi. [11]

Nicméně před zahájením kusové výroby na výrobní lince je nejdříve potřeba vyřešit takové problémy, jako je kvalita, prostoje a absence zaměstnanců. Bez jejich vyřešení kusová výroba nemůže být zahájena, protože vždy, když se objeví jakýkoli problém, je nutné zastavit kompletní linku. Problémy, jimž doposud nebyla věnována přílišná pozornost, se náhle podstatně zviditelní. Jakmile se linka zastaví, podnik přichází o peníze. Přesně

z tohoto důvodu je identifikace a řešení problému nutnou podmínkou zavedení kusové výroby. [11]

Kromě zkrácení doby výroby a omezení zbytečných zásob pomáhá kusová výroba dělníkům také okamžitě identifikovat problémy s kvalitou, protože jakýkoli problém z předchozí fáze výroby je odhalen ve fázi následující. Kusová výroba rovněž umožňuje kontrolu kvality u 100 procent výrobků, jelikož každý kus projde rukama každého pracovníka na lince. [11]

Další pozitivní vlastností kusové výroby je skutečnost, že nevyžaduje rozsáhlá zařízení. Jeden stroj musí být velký jenom tak, aby zvládl zpracování jediného kusu v rámci doby jednoho taktu. Na druhé straně konvenční sériová výroba vyžaduje velké stroje, jimiž najednou prochází celá série výrobků. [11]

2.4 POKA-YOKE

Poka-yoke je japonský termín, který znamená „fail-safing“ neboli „chybnou-korekturu“. Poka-yoke je mechanismus štíhlé výroby, který pomáhá vyhnout se provozním chybám na zařízení v podniku. Jeho účelem je odstranit vady výrobního procesu za účelem prevence, opravuje nebo upozorňuje na lidské chyby, které se mohou objevit. [6]

Koncepci poprvé formuloval Shigeo Shingo. Původně popsal mechanismus názvem Baka-yoke což znamenalo „idiot-proofing“. Proto byl název změněn na mírnější Poka-yoke. [6]

Poka-yoke odkazuje na nějaké omezení nebo špatné tvarování výrobku a navrhuje způsob, jak vykonat činnost pouze jediným možným stylem. Tím se přímo v procesu vyloučí možnost vykonat něco špatně. [6]

Poka-yoke mohou být implementovány na každém kroku výrobního procesu, kde se něco může pokazit, nebo se může vyskytnout chyba. Například pracovník, který drží kousky pro zpracování jsou upraveny tak, aby umožňovali sestavení ve správné orientaci, nebo zapomocí digitálních ukazatelů může pracovník sledovat počet vyrobených kusů, aby zajistily, že pracovník produkuje správný počet výrobků. [6]

Shigeo Shingo udává tři typy poka-yoke pro detekci a prevenci chyb v systému sériové výroby [6]:

- Metoda Fixní hodnoty upozorňuje operátora na činnosti, které ještě nebyly provedeny.
- Kontaktní metoda pro identifikaci vady výrobku při testování tvaru, velikosti, barvy nebo jiného fyzického atributu.
- Metoda Pohyb-krok určuje, zda byly dodrženy všechny předepsané kroky výrobního postupu.

Provozovatel je buď upozorněn, když nastane chyba, nebo poka-yoke zařízení zabrání tomu, aby chyba prošla výrobním procesem.

Shingo argumentoval, že chyby jsou nevyhnutelné v jakémkoliv výrobním procesu, ale pokud je poka-yoke vhodně provedeno, pak můžou být chyby zachyceny velmi rychle a zabrání se tak vadám na výrobcích. Tím, že jsou odstraněny chyby u zdroje se snižují náklady na výrobu. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI TNS SERVIS, S.R.O.

3.1 TNS SERVIS, s.r.o.



Obrázek 4: Logo společnosti TNS Servis, s.r.o.[2]

Založeno v roce 1991

Výrobní plocha: 7 000 m²

Počet zaměstnanců: 209

Obor činnosti: Montážní a elektromontážní práce

Firma má zaveden systém jakosti podle ISO TS 16949 a je certifikovaná na životní prostředí dle ISO 14001. [17]

Současnými zákazníky jsou především společnosti z automobilového průmyslu pro které společnost zajišťuje: [17]

- Montáž ostřikovačů světel pro automobily.
- Výroba držáků uhlíků pro malé elektromotory v automobilech (pro střešní okna, el. zavírání oken, ABS, nastavování sedadel, atd.)
- Montáž zadních plastových stěračů pro osobní automobily.
- Osazování desek plošných spojů technologií SMT.

3.2 Historie společnosti TNS SERVIS, s.r.o.

Společnost TNS SERVIS, s.r.o. byla založena v roce 1991 jako soukromá firma šesti společníky. Firma se z počátku zaměřila na servisní činnost v oboru kancelářské a výpočetní techniky, kterou později rozšířila o prodej výpočetní techniky, spotřebního materiálu a instalaci sítí. V roce 1992 se rozšiřuje portfolio činnosti firmy o instalace bezpečnostních a tepelně odrazových fólií pro banky a obchody. Ke konci roku 1994 byla navázána spolupráce s belgickou firmou Bosch Tleen, což mělo za následek zřízení nového pracoviště ve Vizovicích, kde byla zahájena kompletace plastových komponentů pro vstřikovací systémy světlometů, které vyrábí firma Bosch. Tato spolupráce ovšem vyžadovala celkovou restrukturalizaci firmy, jejímž cílem bylo utlumit aktivity v oblasti servisu výpočetní techniky a více se orientovat na výrobu. Tímto krokem se firma posunula z původní obchodně servisní na výrobní organizaci převážně pro automobilový průmysl, čemuž se věnuje doposud.

Koncem roku 1997 byla vybudováno nové pracoviště jako reakce na velmi dobré výsledky v oblasti kvality výrobků, díky kterým došlo k velkému nárůstu výroby držáků uhlíků pro zákazníka Bosch Bühl.

Mezi současné zákazníky patří nadnárodní společnosti jako Robert Bosch, Automotive Lightning, Magna, Škoda Auto, Mercedes Benz a další jako například SME, Satrema a Ampra. Většina produkce je exportována do zemí jako Německo, Rakousko, Maďarsko, Belgie, Mexiko a Brazílie.

V roce 2007 byl odkoupen majoritní podíl společnosti TNS SERVIS, s.r.o. Česko – Irskou skupinou Kilcullen Kapital Partners. Do tohoto roku byli akcionáři čtyři členové managementu společnosti, holandský fond GIMV Czech and Slovak SME Fund N.V.

Společnost je držitelem certifikátu ISO/TS 16949:2002 a ČSN EN ISO 14001:2005. [2, 17]

4 POPIS VÝROBNÍ LINKY

Cílem popisu výrobní linky je pochopení fungování výrobního procesu teleskopu HYUNDAI XM číslo dílu 1307030553, nalézt kritická místa systému, využít vybrané metody a simulační postupy, a ty pak správně aplikovat při optimalizaci pracoviště. Jednotlivé metody povedou k určení místa, kde se nejvíce plýtvá a vzniká neefektivní práce.

Na začátku bylo potřeba správně pochopit celý proces montáže teleskopu, seznámit se s činnostmi používaných zařízení a provést analýzu činnosti obsluhujících pracovníků. Proto bylo důležité pohlížet na proces jak na celek, tak s pohledu dílčích činností.

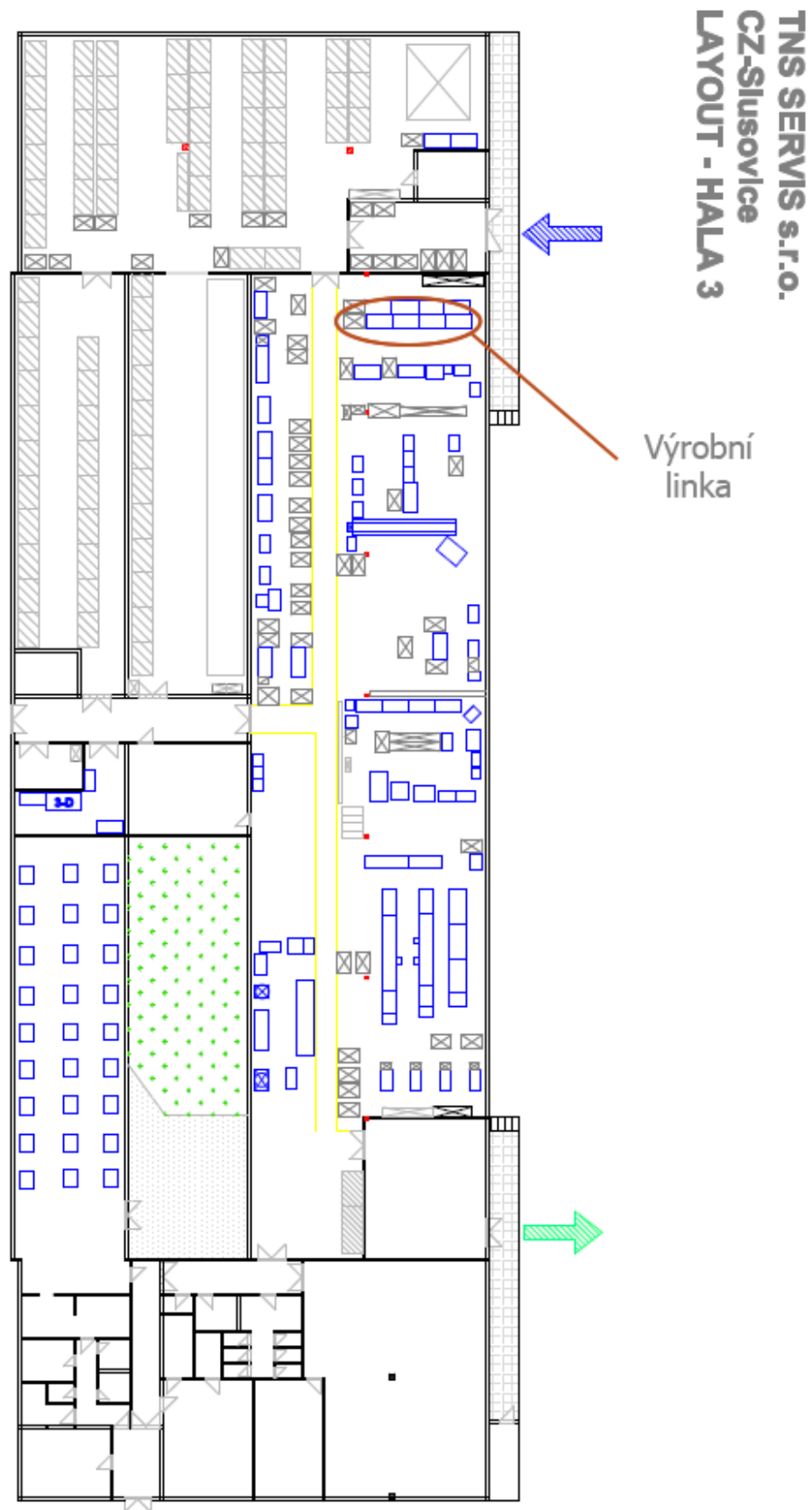
Pro reálný a ucelený pohled na systém a odhalení kritických míst jsem použil přímé metody měření na pracovišti a vytvořil si tak obrázek o délce trvání jednotlivých úkonů. Zároveň jsem sledoval posloupnosti montážních úkonů a dílčí postup práce v jednotlivých pracovních buňkách. Identifikoval jsem tak činnosti, které přidávají a nepřidávají hodnotu výsledného produktu.

Po zmapování systému jsem celý proces převedl do simulačního prostředí programu Witness společnosti Lanner Group Ltd. Tím jsem získal výchozí stádium pro další zkoumání systému a návrh optimalizačních prvků výrobní linky. Snažil jsem se nalézt a odstranit především kritická místa výroby a všímat si rozložení layoutu výrobních buněk.

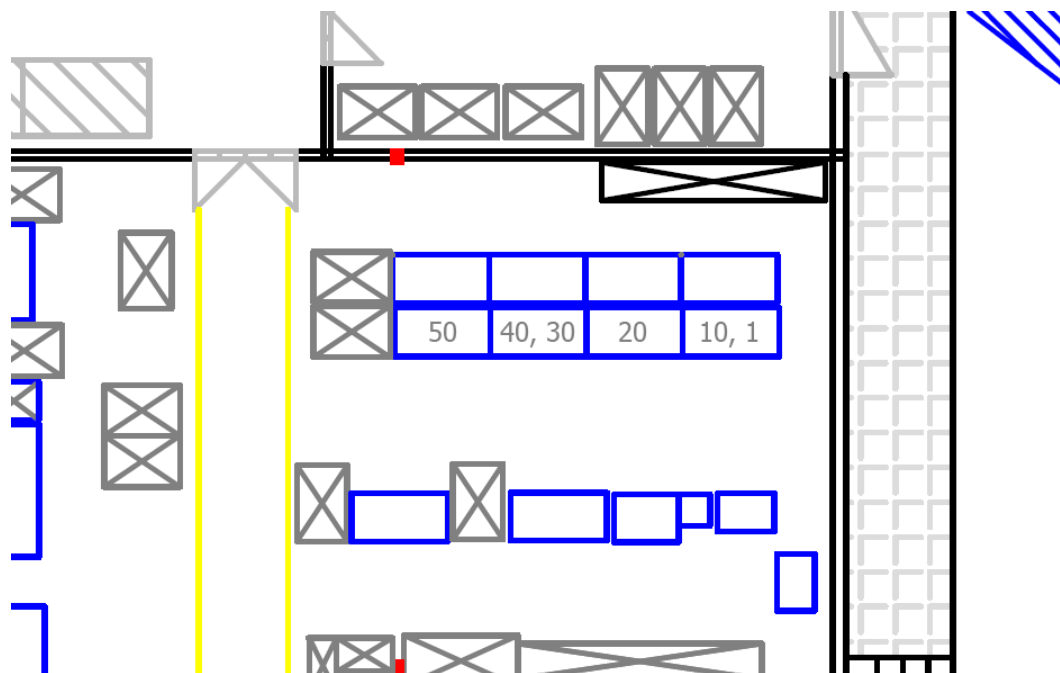
4.1 Pozorování původní výrobní linky

Původní výrobní linka se skládala celkem z pěti pracovních buněk a tří zaměstnanců výroby. Layout haly č. 3, kde se nachází výrobní linka je zobrazen na obrázku 6, detail výrobní linky pak na obrázku 7. Názvy výrobních buněk, názvy operací a počet pracovníků obsluhujících jednotlivá pracoviště jsou zobrazeny v tabulce 1.

4.1.1 Layout – HALA 3



Obrázek 5: Layout – Hala č. 3 a pozice výrobní linky[2]



Obrázek 6: Detail výrobní linky[2]

Počet lidí	Operace	Název	Pracoviště
1	1	Nasazení hadice do pružiny	100
1	10	Montáž víčka a membrány na píst	105
1	20	Mazání přípojky a zavěšení pružiny + O-kroužek	115
1	30	Kompletace teleskopu	121
1	40	Zajištění pružiny	121
1	50	Test teleskopu	126

Tabulka 1: Systém výrobní linky[2]

4.1.2 Komponenty teleskopu HYUNDAI XM

Dodavatelé veškerých komponentů pro montáž teleskopu jsou vždy předepsáni a uvolnění zákazníkem. V následující tabulce uvádím přehled komponentů teleskopu a jejich dodavatele:

Název dílu	Identifikační číslo	ks	Dodavatel
Hadice silikonová	1300712052	1	SICO GmbH
Pružina	1304610009	1	Schwerdtle-FEDERN GmbH
Víčko	1300250005	1	Zollner Elektronik AG
Membrána	1300508071	1	SICO GmbH
Píst	1303239010	1	Zollner Elektronik AG
O-Kroužek	1300210093	1	Dichtungstechnik Wallstabe & Schneider GmbH & Co. KG
Přípojka	1300750008	1	Zollner Elektronik AG
Válec plastový	1300390132	1	Zollner Elektronik AG
Mazadlo	9000000004	-	Klüber Lubrication CZ, s.r.o.

Tabulka 2: Seznam použitých komponentů a jejich dodavatelů[2]

Tabulka udává počet kusů použitých pro každý vyrobený teleskop HYUNDAI XM. Komponenty dodávané externími firmami jsou pro činnost výrobní linky vždy v dostatečném počtu kusů. Je zde již splněn systém JIT (Just-in-time neboli „právě včas“), nemusíme se tedy dále zabývat optimalizací tohoto procesu. Na obrázku 5 můžeme vidět jednotlivé komponenty.



Obrázek 7: Komponenty dodávané kooperací

4.1.3 Blokové schéma procesu

	OPERACE	POPIS
1	1	Nasazení hadice do pružiny
10	10	Montáž membrány a víčka
20	20	Mazání přípojky + O-kroužek / zavěšení pružiny
30	30	Kompletace teleskopu
40	40	Zajištění pružiny v teleskopu
50	50	Test teleskopu

Tabulka 3: Posloupnost pracovních činností [2]

Základní charakteristika procesu je taková, že jeden pracovník je pouze na testeru a zbývající dva obsluhují předcházející montážní úkony. Blokové schéma v tabulce 3

zobrazuje technologický postup montáže teleskopu. V dalších kapitolách budou popsány jednotlivé činnosti z pohledu každého pracoviště.

4.1.4 Pracoviště č. 100 – nasazení hadice do pružiny

Název dílu	Identifikační číslo	ks
Hadice silikonová	1300712052	1
Pružina	1304610009	1

Tabulka 4: Kusovník operace nasazení hadice do pružiny[2]

Popis činnosti:

Pěnovou silikonovou hadici (1300712052) nasunout po celé délce do pružiny (1304610009). Kontrola správnosti nasazení hadice do pružiny a díly musejí být bez poškození. [2]

4.1.5 Pracoviště č. 105 – Montáž víčka a membrány na píst

Název dílu	Identifikační číslo	ks
Víčko	1300250005	1
Membrána	1300508071	1
Píst	1303239010	1

Tabulka 5: Kusovník operace montáž víčka a membrány na píst[2]

Popis činnosti:

Na píst (1303239010) nasunout gumovou membránu (1300508071). Pomocí ručního přípravku dotlačit membránu až na doraz pístu. Na píst s membránou nasadit plastové víčko (1300250005). Píst s membránou a nasazeným víčkem vložit do pojezdové úchytky (1303239010) pneumatického lisu. Zatlačit vozíček na doraz lisu. Stiskem dvouručního ovládání zalisovat víčko na píst. Hotovou sestavu odložit do odkládacího stojanu. Kontrola úplného dotlačení membrány na píst, víčko po zalisování bez prasklin a poškození a jednotlivé díly bez poškození. [2]

4.1.6 Pracoviště č. 115 – Mazání přípojky a zavěšení pružiny + O-kroužek

Název dílu	Identifikační číslo	ks
O-Kroužek	1300210093	1
Přípojka	1300750008	1

Tabulka 6: Kusovník operace mazání přípojky a zavěšení pružiny + O-kroužek[2]

Popis činnosti:

Na přípojku (1300750008) nasadit na O-kroužek (1300210093). Hranu přípojky pootočit na molitanové podušce tak, aby čelní hrana přípojky byla opatřena tenkou vrstvičkou mazacího přípravku (SYNTHESO GLEP1). Pružinu s nasazenou silikonovou hadicí zaháknout ve spodním otvoru přípojky. Zavěšenou pružinu zajistit pomocí aretačního trnu.

Sestavu odložit do odkládacího stojanu. Podle potřeby průběžně nanést a rozetřít pomocí stěrky mazivo SYNTHESO GLEP1 na molitanovou podušku. Kontrola správného nasazení hadice do pružiny, nanesení maziva na hranu přípojky a správné zaháknutí a zajištění pružiny v přípojce. [2]

4.1.7 Pracoviště č. 121 – Kompletace teleskopu

Název dílu	Identifikační číslo	ks
Válec plastový	1300390132	1

Tabulka 7: Kusovník operace kompletace teleskopu[2]

Popis činnosti:

Do spodní pojezdové úchytky (3-2510) v pneumatickém lisu vložit plastový válec (1300390132). Popis na plastovém válci orientovat směrem k sobě. Z odkládacího stojanu odebrat píst s nasazenou membránou, nalisovaným víčkem a usadit do plastového válce. Nasazení provést tak, aby profil na pístu zapadl do výřezu ve válci. Membránu dotlačit pomocí silonového přípravku. Z odkládacího stojanu odebrat přípojku s nasazenou a zajištěnou pružinou a nasadit na sestavu pístu a válce. Spodní pojezdovou úchytku se všemi komponenty zatlačit na doraz pneumatického lisu s horním přípravkem (3-2505). Stiskem dvouručního ovládání provést slisování dílů – kompletaci teleskopu. Přípojku teleskopu pootočit k dorazu úchytky = provedení kontroly mazání hrany přípojky. Z pojezdové úchytky odebrat hotový teleskop. Postup montáže je znázorněn v obrázkové

příloze TP. Pověřená osoba provede měření délky teleskopu ($127,1 \pm 1$) a zapíše do kontrolního listu - 3 kusy na začátku směny a 3 kusy na konci směny. Kontrola správného zalisování – ve výřezech válce nesmí být vidět membrána, žádné díly bez poškození a žádné praskliny po zalisování. [2]

4.1.8 Pracoviště č. 121 – Zajištění pružiny

Popis činnosti:

Provést zajištění zavěšení pružiny na píst teleskopu montážním přípravkem-háčkem. Nastrčit háček do pístu a zaháknout volný konec pružiny, lehce povytáhnout a pootočit. Konec pružiny musí být zaháknout přes dělicí přepážku v pístu. Z přívodu přípojky vytáhnout montážní přípravek – zajišťovací trn. Hotový výrobek odložit do přepravky. Kapacita přepravky je 100 ks, poté vypsát materiálovou průvodku a vložit k výrobkům. Kontrola správného zajištění pružiny v pístu. [2]

4.1.9 Pracoviště č. 126 – Test teleskopu

Popis činnosti :

Před začátkem testování prověřit, zda je u zkušební pozice nastaven zkušební program č. 27. Před začátkem každé výrobní série provést kontrolu správné funkce testovacího zařízení pomocí označených etalonů O.K. x n.O.K. Kontrola se provádí u všech testovacích pozic, kde bude prováděno zkoušení. Provedení tohoto přezkoušení je zaznamenáno do formuláře „PŘEHLED O NASTAVENÍ A SEŘÍZENÍ“. Do pístu teleskopu vložit záslepku a otočením zajistit její uchycení v teleskopu. Do přípojky vložit prodlužování - kontrolní trn pružiny. Teleskop vložit do úchytky v testeru teleskopů 3-2520. Sklopit aretační klapku. Stiskem tlačítka u dané pozice testeru probíhá automaticky cyklus testu.

Testovací cyklus je ukončen rozsvícením signálních světel

- Zelené světlo – výrobek je v pořádku a je automaticky označen i.O. značkou tepelného razítka
- Červené světlo – výrobek není v pořádku, nesplňuje požadavky

Výrobky, které nejsou v pořádku odložit do červené krabičky. V případě nadměrného znečištění tepelného razítka provést jeho očištění pomocí kartáčku. Průběžně kontrolovat kvalitu těsnících O-kroužků (povrch, opotřebení) na záslepce – v případě poškození zajistit jejich výměnu – provádí pověřená osoba. Kontrola značky tepelného razítka. [2]

4.1.10 Manipulační práce mezi jednotlivými pracovišti

Mezi pracovišti č. 105, č. 115 a č. 121 se nachází 4 odkládací stojany, do kterých odkládají pracovníci hotové podsestavy – 10 zalisovaných sestav víčka, pístu a membrány a 10 sestav O-kroužku, přípojky a pružiny s nasazenou silikonovou hadicí. Na stojan je tedy umístováno 20 kusů výrobků mezi pracovišti č. 105 a č. 115 a po naplnění je stojan manuálně přenesen k pracovišti č. 121. Pracovník na pracovišti č. 121 pak ze stojanu odebírá od každé podsestavy jeden kus a provádí montáž do výsledné podoby. Po vyprázdnění je stojan přenesen zpátky mezi pracoviště č. 105 a č. 115. Na pracovišti č. 105 se také nachází jeden stojan pro odložení 20 zalisovaných sestav víčka, pístu a membrány, se kterým není manipulováno.

Mezi manipulační práce je zahrnuto také průběžné doplňování komponentů na pracoviště ze zásobníků vzdálených 2,5 – 3,5 metru.

5 ANALÝZA VÝROBNÍCH ČINNOSTÍ PROCESU

5.1 Náměr hodnot TNS Servis, s.r.o.

Pro první pozorování linky a vytvoření prvních výchozích simulačních studií byly k dispozici naměřené hodnoty jednotlivých činností procesu (Příloha) od společnosti TNS Servis, s.r.o. Hodnoty byly použity ve výchozím, druhém a třetím experimentu. Výsledky náměru shrnuje tabulka 3. V tabulce jsou uvedeny jednotlivé pracovní činnosti a k nim minimální, maximální a rozdílová hodnota.

Pracoviště	100	105		115		121	Test
	Nasazení silikonové hadice do pružiny	Nasazení pístu do stojanu, nasazení membrány a dotlačení přípravkem	Lisování pístu s membránou a víčkem, odložení do stojanu	Mazání přípojky na podušce (2ks zároveň)	Nasazení pružiny, zajištění trnem, navlečení O-kroužku, odložení do stojanu	Kompletace teleskopu, zajištění pružiny, odložení do bedny	Test teleskopu (test na 3 testovacích pozicích)
Operace							
MIN	4,5	3,6	10	1,2	10	14	13
DIF	0,6	0	3	0,2	3	22	4
MAX	5,1	3,6	13	1,4	13	36	17

Tabulka 8: Naměřené hodnoty původní výrobní linky[2]

Maximální hodnota na pracovišti č. 121 znázorňuje chybu na pracovišti. Nebyla proto použita v simulačním modelu.

Z důvodu malého množství statistických hodnot bylo ve výchozím modelu použito rovnoměrné rozdělení.

5.2 Náměr vlastních hodnot

Po provedení výchozích simulačních studií byl proveden také vlastní náměr hodnot (příloha), který byl použit ve čtvrtém a pátém experimentu simulační studie. Měření jednotlivých pracovních činností je zobrazeno v tabulce 4.

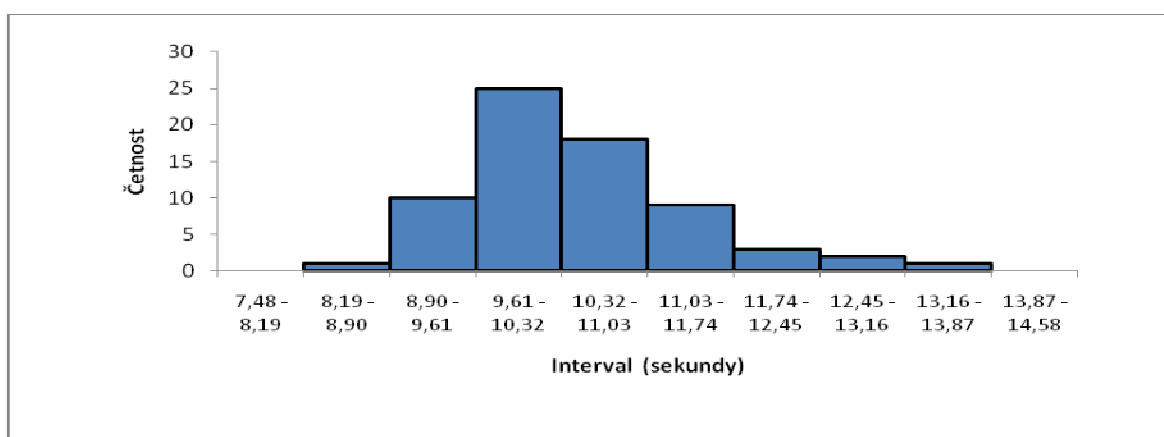
Činnost	105			115				121
	Hotová sestava + válec	Píst, membrána a víčko	Jednorázová kompletace	O-kroužek	Mazání 2 kusy zároveň	Kompletace(už nasazený okroužek a namazaná přípojka)	Kompletace(nenasazený okroužek a nenamazaná přípojka)	Celkem
MIN	3,7	4,3	8,2	1,9	1,5	5,3	7,9	11,3
DIF	2,5	2,8	5	1,1	0,81	8,8	10,9	5,6
MAX	6,2	7,1	13,2	3	2,31	14,1	18,8	16,9

Tabulka 9: Vlastní naměřené hodnoty pracovních činností

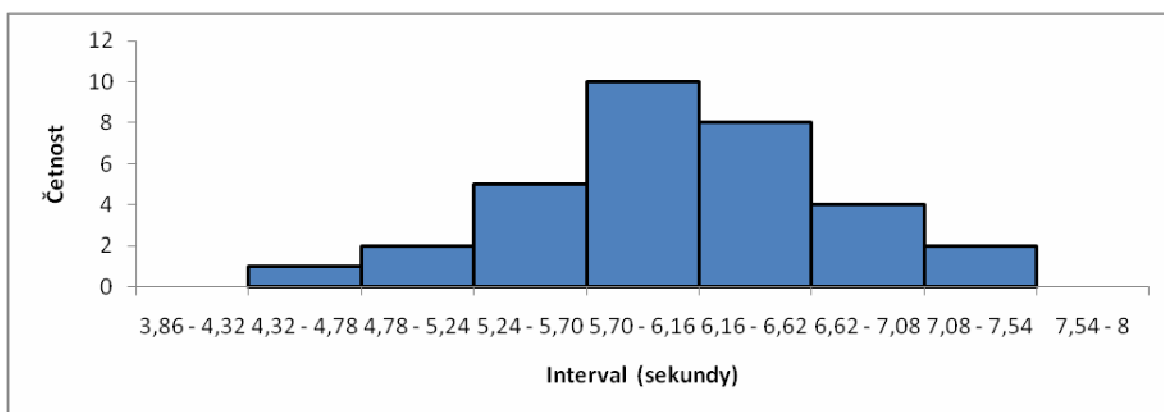
Měření bylo uskutečněno pouze pro pracoviště č. 105, 115 a 121. Pracoviště 100 bylo v tu dobu ve stavu nečinnosti, jelikož nasazení hadice do pružiny bylo provedeno externími spolupracovníky v rámci výpomoci. Po konzultaci se zaměstnanci firmy byly do navazujících simulací použity hodnoty pracoviště č. 100 z tabulky 3. Hodnoty pracoviště č. 121 byly použity taktéž z tabulky 3. Důvodem byla neměnnost pracovního procesu a tím i naměřených hodnot.

Z naměřených hodnot byly vytvořeny histogramy četností hodnot. Jako pravidlo pro volbu počtu intervalů bylo uplatněno Sturgesovo pravidlo podle vzorce 1.

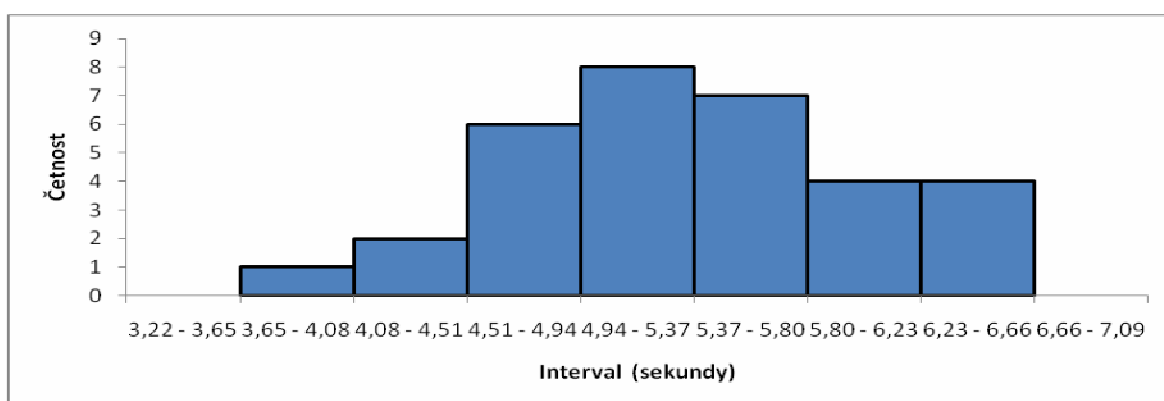
$$k = 1 + 3,33 * \log_{10} n \quad (1)$$



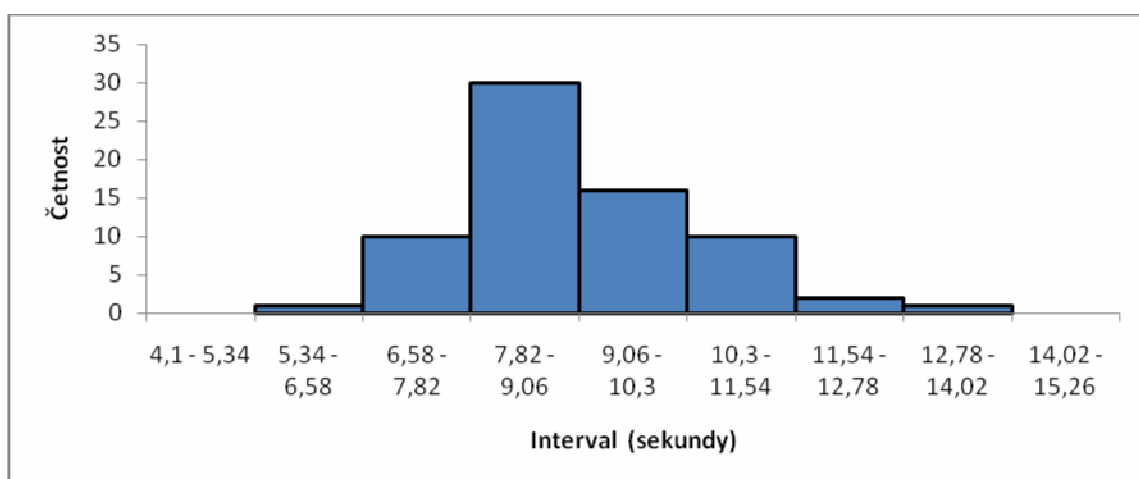
Obrázek 8: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 105



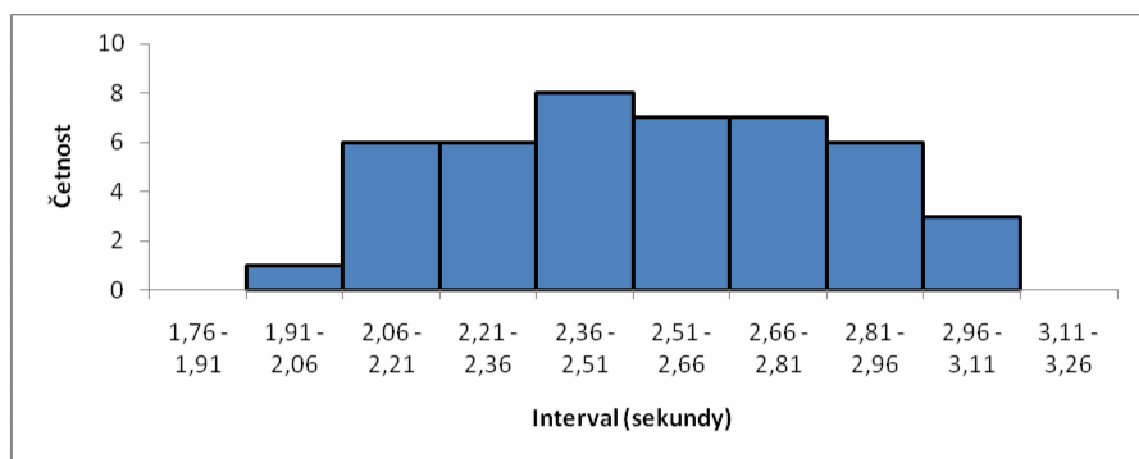
Obrázek 9: Histogram doby sestavení zalisované sestavy bez válce
pracoviště č. 105



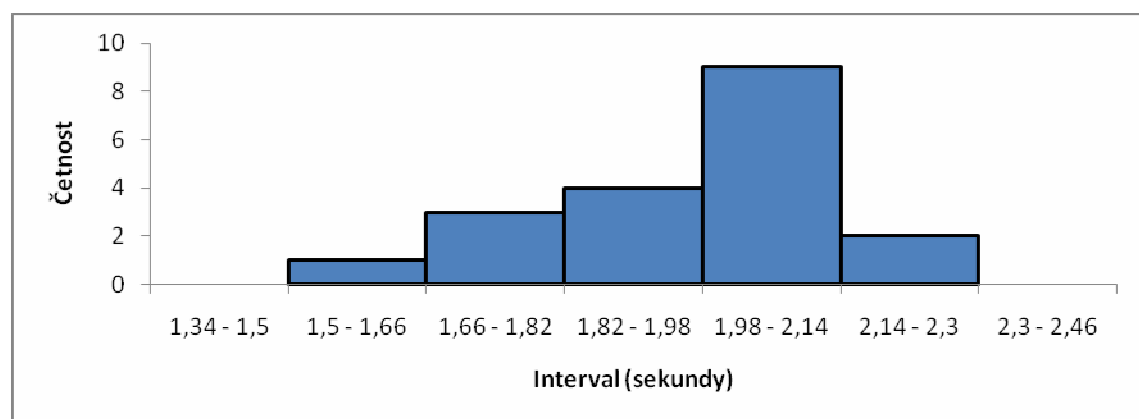
Obrázek 10: Histogram doby sestavení zalisované sestavy s válcem pracoviště č.



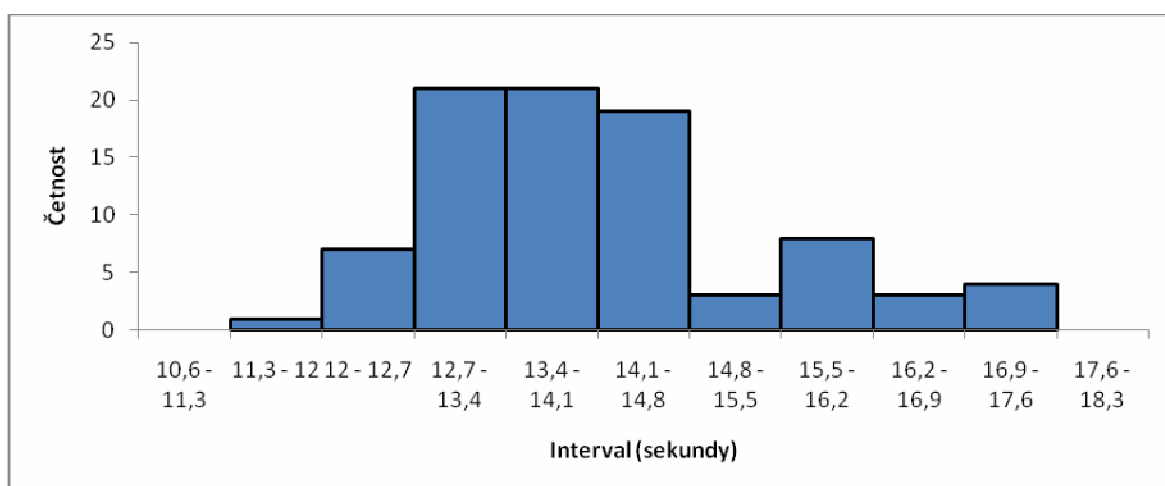
Obrázek 11: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 115



Obrázek 12: Histogram doby nasazení O-kroužku pracoviště č. 115



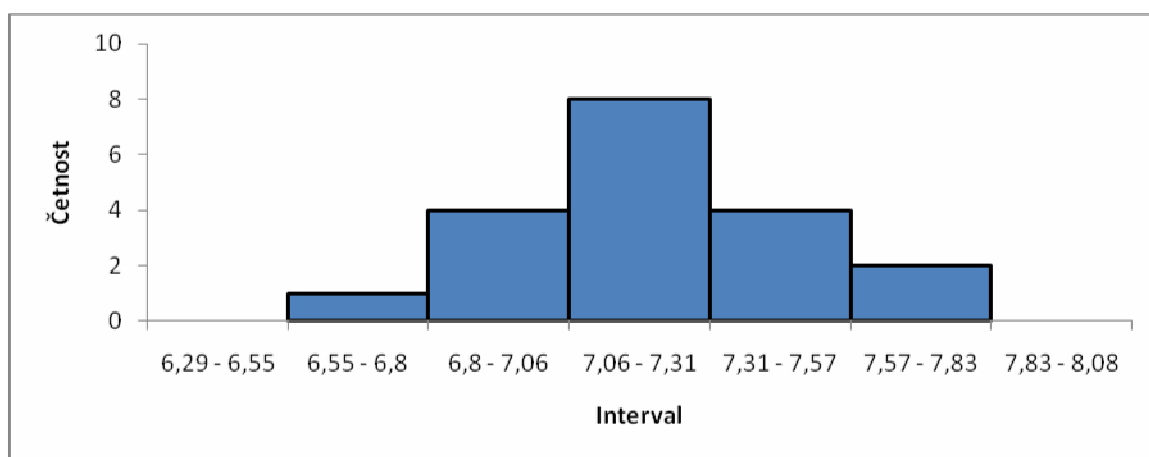
Obrázek 13: Histogram doby mazání 2 přípojek zároveň pracoviště č. 115



Obrázek 14: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 121

	Manipulace se stojany
MIN	6,29
DIF	1,28
MAX	7,57

Tabulka 10: Naměřené hodnoty manipulace



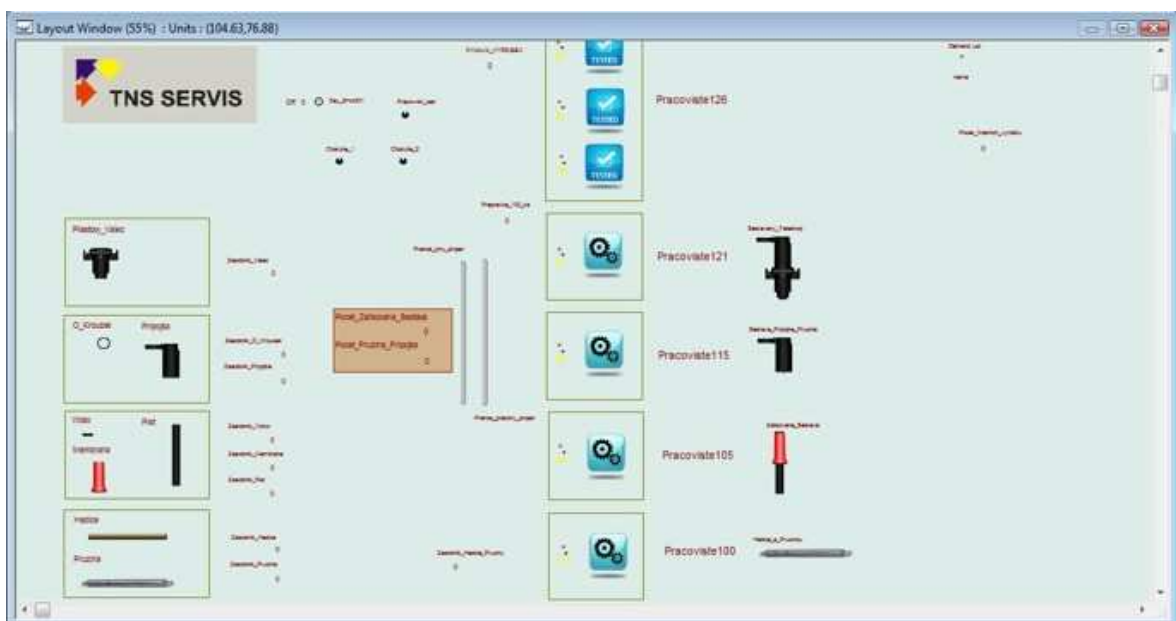
Obrázek 15: Histogram doby manipulace se stojany

6 SESTAVENÍ MODELU V PROSTŘEDÍ WITNESS

Po podrobném přezkoumání výrobního procesu jsem sledovaný model převedl do simulačního prostředí Witness. Na základě konzultace s pracovníky firmy uvažuji zmetkovitost rovnu nule, rovněž neuvažuji čekání na komponenty dodávané externími firmami, jelikož jsou vždy dostatečně k dispozici.

Parametry modelu :

- 5 pracovních buněk.
- 8 zásobníků reprezentujících komponenty dodávané externími firmami
- 3 pracovníci.
- 8,5 hodinová pracovní směna včetně 10 a 30 minutové pauzy.
- Časové hodnoty jednotlivých činností (využit generátor náhodných čísel v intervalu změřených minimálních a maximálních hodnot)
- Totožný layout výroby
- Totožný technologický postup



Obrázek 16: Vytvořený model v prostředí Witness

6.1 Postup vytváření modelu v prostředí Witness

6.1.1 Reprezentace činností výrobní linky

- **Komponenty** - na počátku vytváření modelu bylo potřeba definovat komponenty, ze kterých se skládá teleskop a které jsou dodávány jednotlivým pracovním buňkám. Byly zvoleny elementy typu „Part“, které reprezentují jednotlivé komponenty. Byly také vytvořeny tři elementy „Part“, které zobrazují dílčí podsestavy vyrobené v procesu výrobní linky. Pro názornost simulačního modelu byl každý komponent nakreslen v programu Adobe Photoshop (trial verze).
- **Zásobníky komponentů** – každý komponent naplňuje elementy typu „Buffer“, čili zásobníky, které reprezentují externí dodavatele komponentů. Zásobníky pak dále předávají své komponenty do výrobní linky, respektive do odpovídajících pracovních buněk.
- **Pracovní buňky** – každé pracoviště, které se vyskytuje ve výrobní lince je v modelu představeno jako element typu „Machine“. Bylo tak dosaženo ve výsledku 5 pracovních buněk, přičemž v pracovní buňce testera byly vytvořeny 3 elementy machine, jelikož se zde nachází tři testovací přípravky.
- **Obsluha výroby** – výrobní linku obsluhují tři pracovníci, kteří jsou v modelu reprezentováni elementy typu „Labor“. Každý pracovník je pak přiřazen odpovídající činnosti.
- **Stojany na dílčí podsestavy** – pro znázornění stojanů ve výrobní lince byly použity elementy typu „Vehicles“. Stojanu byla pak přidělena kapacita a umístění ve výrobním procesu.
- **Přenos stojanů** – stojany na dílčí podsestavy jsou mezi pracovišti č. 105, 115 a 121 přenášeny. Tato vlastnost modelu je reprezentována elementy „Tracks“.
- **Směna** – časová osa modelu je vyjádřena elementem „Shift“, který specifikuje pracovní dobu pracovníků výrobní linky.
- **Přepravky na výrobky** – v modelu se nachází přepravky na výrobky, které jsou reprezentovány elementem typu „Buffer“.

Přepřavka_100_ks, FINALNI_VYROBEK.

6.1.2 Vstupní a výstupní pravidla

- **Časování výrobního procesu** – procesy a pracovníci jsou časováni ve výchozím modelu pomocí naměřených hodnot společnosti TNS Servis, s.r.o. Je zde implementováno rovnoměrné rozdělení podle kapitoly 5. Časování jednotlivých elementů simulačního modelu bude vysvětleno níže. Celý simulační model je definován v časových jednotkách – sekundy.

- **Směna**

Day_8Hrs001 – reprezentace 8,5 hodinové pracovní směny včetně 10 a 30 minutové pauzy.

	Period	Period Type	Working Time	Rest Time	Overtime	Sub Shift Name	Total
1	Period	6600.0	600.0	0.0		7200	
2	Period	10800.0	1800.0	0.0		12600	
3	Period	10800.0	0.0	0.0		10800	
4	Period	0.0	55800.0	0.0		55800	
Total			28200	58200	0		86400

Obrázek 17: Nastavení směny *Day_8Hrs001*

Nastavení jednotlivých period. Working Time reprezentuje čas strávený na pracovišti. Naproti tomu Rest Time reprezentuje délku přestávky. Velikost period je nastavena v sekundách, stejně jako simulační model.

- **Komponenty**

Každý komponent, ze kterého se skládá teleskop je typu „Active“, což znamená, že je aktivně posílán do odpovídajícího zásobníku s nastaveným „Inter arrival time“ na 5 sekund. Tzn. že každých 5 sekund je komponent odeslán do zásobníku.

Výstupní pravidla:

Hadice **PUSH** to Zásobnik_Hadice

Pruzina **PUSH** to Zásobnik_Pruzina

Vicko **PUSH** to Zásobnik_Vicko

Membrana **PUSH** to Zásobnik_Membrana

Pist **PUSH** to Zásobnik_Pist

O_Krouzek **PUSH** to Zásobnik_O_Krouzek

Pripojka **PUSH** to Zásobnik_Pripojka

Plastovy_Valec **PUSH** to Zásobnik_Valec

Komponenty podsestav jsou nastaveny na typ „Passive“ a slouží pouze k vizualizaci montážního procesu.

Zalisovana_Sestava, Sestava_Pripojka_Pruzina, Sestaveny_Teleskop

- **Zásobníky komponentů** – zásobníky částí teleskopu jsou vždy naplněny tak, aby byl dostatečně zásoben provoz výrobní linky. Zásobníky jsou nastaveny na kapacitu 50 kusů.

Zásobníky nemají nastavena žádná vstupní a výstupní pravidla, jejich plnění a vyprazdňování je řízeno aktivními komponentami a elementy typu „Machine“.

Zásobnik_Hadice, Zásobnik_Pruzina, Zásobnik_Vicko, Zásobnik_Membrana, Zásobnik_Pist, Zásobnik_Pripojka, Zásobnik_O_Krouzek, Zásobnik_Valec.

- **Pracovní buňky**

Pracoviště č. 100 – Element Machine je nastaven na typ „Assembly“, což znamená příjem více komponentů (v tomto případě 2 komponent Hadice a Pruzina) ze zásobníků, jejich montáž do jednoho komponentu podsestavy Zalisovana_Sestava a posun do zásobníku Hadice_Pruziny.

Vstupní pravidla:

Pravidlo SEQUENCE / Wait – nastavení příjmu více komponentů, které na sebe čekají, aby nedošlo k sestavení výrobku s menšího počtu kusů komponent, než kolik je definováno technologickým postupem.

SEQUENCE /Wait Zasobnik_Hadice#(1),
Zasobnik_Pruzina#(1)

Vnitřní pravidla:

Labor Rule – přiřazení pracovníka k pracovišti. V tomto případě:

Obsluha_1

Cycle Time – časování výrobního procesu, zde využito rovnoměrného rozdělení.

UNIFORM (MIN,MAX,STREAM) čili UNIFORM (4.5,5.1,1)

Shift – nastavena směna Day_8Hrs001.

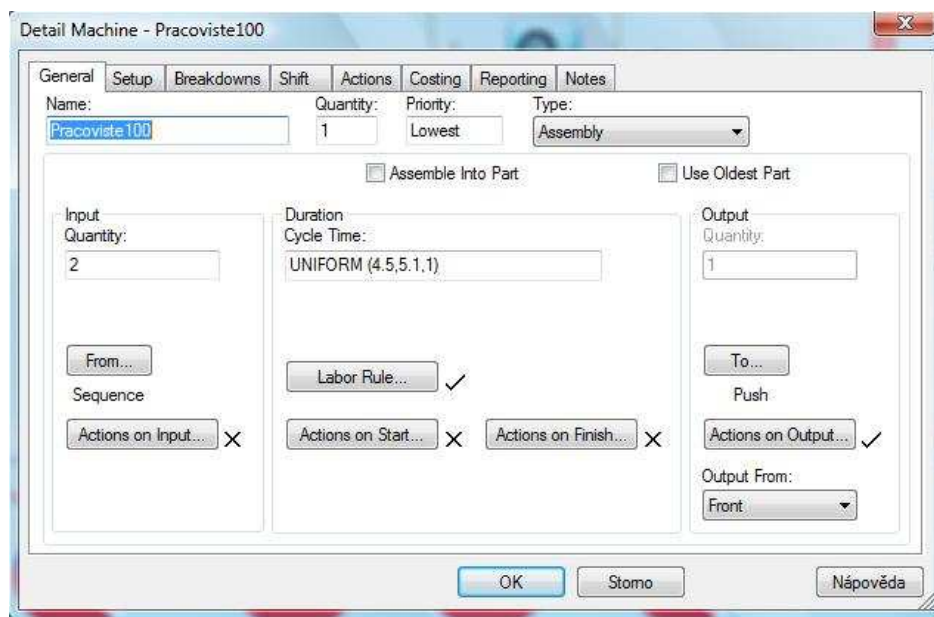
Výstupní pravidla:

Příkazem CHANGE ALL smontujeme 2 komponenty do jednoho.

CHANGE ALL to Hadice_s_Pruzinou

Využit příkaz PUSH, které odesílá hotovou podsestavu do zásobníku.

PUSH to Zasobnik_Hadice_Pruziny



Obrázek 18: Definování vstupních a výstupních pravidel pracoviště č. 100

Pracoviště č. 105 – Element Machine typu „Assembly“. Příjem 3 komponentů a výroba cílové podsestavy Zalisovana_Sestava.

Vstupní pravidla:

SEQUENCE /Wait Zasobnik_Vicko#(1),
Zasobnik_Membrana#(1),
Zasobnik_Pist#(1)

Vnitřní pravidla:

Labor Rule Obsluha_1

Cycle Time – časování výrobního procesu, zde využito rovnoměrného rozdělení.

UNIFORM (3.6,3.6,1) + UNIFORM (10,13,1)

Shift – nastavena směna Day_8Hrs001.

Výstupní pravidla:

CHANGE ALL to Zalisovana_Sestava

Aktualizace proměnně Počet_Zalisovana_Sestava, která počítá počet kusů odložených na stojanu.

Pocet_Zalisovana_Sestava = Pocet_Zalisovana_Sestava + 1

Výstupní pravidlo, které odesílá komponent dál není definováno zde, ale v elementu track – Prenos_prazdny_stojan.

Pracoviště č. 115 – Element Machine typu „Assembly“. Příjem 3 komponentů a výroba cílové podsestavy Sestava_Pripojka_Pruzina.

Vstupní pravidla:

SEQUENCE /Wait Zasobnik_O_Krouzek#(1),
Zasobnik_Pripojka#(1),
Zasobnik_Hadice_Pruziny#(1)

Vnitřní pravidla:

Labor Rule Obsluha_1 OR Obsluha_2

Cycle Time – časování výrobního procesu, zde využito rovnoměrného rozdělení.

Uvažován také čas manipulace se stojany.

cas115 = UNIFORM (1.2,1.4,1) + UNIFORM (10,13,1)

IF MOD (vysledek,10) = 0

cas115 = UNIFORM (11.2,15.4,1) + manipulace

ENDIF

Shift – nastavena směna Day_8Hrs001.

Výstupní pravidla:

CHANGE ALL to Sestava_Pripojka_Pruzina

Aktualizace proměnně Pocet_Pruzina_Pripojka, která počítá počet kusů odložených na stojanu.

Pocet_Pruzina_Pripojka = Pocet_Pruzina_Pripojka + 1

Výstupní pravidlo, které odesílá komponent dál není definováno zde, ale v elementu track – Prenos_prazdny_stojan.

Pracoviště č. 121 – Element Machine typu „Assembly“. Příjem 2 komponentů a výroba cílové podsestavy Sestaveny_Teleskop.

Vstupní pravidla:

Vstupní pravidlo, které přijímá komponent do elementu není definováno zde, ale v elementu track – Prenos_plny_stojan.

Vnitřní pravidla:

Labor Rule Obsluha_2

Cycle Time – časování výrobního procesu, zde využito rovnoměrného rozdělení.

UNIFORM (14,19,1)

Shift – nastavena směna Day_8Hrs001.

Výstupní pravidla:

CHANGE ALL to Sestaveny_Teleskop

Aktualizace proměnně Pocet_vyroбку_prepravka, která počítá počet kusů odložených do přepravky.

Pocet_vyroбку_prepravka = NPARTS (Prepravka_100_ks(1))

Příkazem PUSH odeslání hotového výrobku do přepravky.

PUSH to Prepravka_100_ks

Pracoviště testera – Element Machine typu „Assembly“. Příjem 1 komponentu a provedení testu cílové podsestavy Sestaveny_Teleskop. Počet strojů nastaven na počet tří.

Vstupní pravidla:

Příkaz Pull odebere komponent z přepravky (zásobník Prepravka_100_ks).

PULL from Prepravka_100_ks

Vnitřní pravidla:

Labor Rule

Pracovnik_test

Cycle Time – časování výrobního procesu, zde využito rovnoměrného rozdělení.

UNIFORM (13,17,1)

Shift – nastavena směna Day_8Hrs001.

Výstupní pravidla:

Příkazem PUSH odešleme hotový teleskop do zásobníku FINALNI_VYROBEK.

PUSH to FINALNI_VYROBEK

- **Obsluha výroby**

Obsluha_1 – činnost na pracovišti č. 100, 105 a 115.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Obsluha_2 – činnost na pracovišti č. 115 a č. 121.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Pracovnik_test – činnost na pracovišti č. 126.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

- **Stojany na dílčí podsestavy**

Stojan10 – reprezentace 4 stojanů s kapacitou 10 pro zalisovanou sestavu a 10 pro sestavu pružiny a přípojky. Stojan je plněn z pracovišť č. 105 a č. 121 a je vždy dodržen poměr zaplnění stojanu 2 typy podsestav 10:10.

Quantity – počet stojanu nastaven na 4.

Capacity – kapacita každého stojanu nastavena na 20.

- **Přenos stojanů**

Prenos_prazdny_stojan – přenos prázdného stojanu z pracoviště č. 121 mezi pracoviště č. 105 a č. 115.

Vstupní pravidla:

Karta Loading – odkládací proces z pracovišť č. 105 a č. 115. Nakládání povoleno vždy až do zaplnění stojanu.

Využito pravidla SEQUENCE / Next, které povoluje libovolný příchod podsestav do stojanu.

```
SEQUENCE /Next Pracoviste105#(1),
Pracoviste115#(1)
ELSE
PULL from Pracoviste105
ENDIF
ELSEIF name = "Stojan10(2)"
IF Pocet_Pruzina_Pripojka < 10
SEQUENCE /Next Pracoviste105#(1),
Pracoviste115#(1)
ELSE
PULL from Pracoviste105
ENDIF
ELSEIF name = "Stojan10(3)"
IF Pocet_Pruzina_Pripojka < 10
SEQUENCE /Next Pracoviste105#(1),
Pracoviste115#(1)
ELSE
PULL from Pracoviste105
ENDIF
ELSEIF name = "Stojan10(4)"
IF Pocet_Pruzina_Pripojka < 10
SEQUENCE /Next Pracoviste105#(1),
Pracoviste115#(1)
ELSE
PULL from Pracoviste105
ENDIF
ELSE
Wait
ENDIF
```

Změna ikony symbolizující prázdný vozík.

SET ICON of Stojan10(I) to 153

Výstupní pravidla:

Předání stojanu na pracoviště č. 121.

PUSH to Prenos_plny_stojan

Prenos_plny_stojan – přenos plného stojanu z pracovišť č. 105 a č. 115 na pracoviště č. 121.

Vstupní pravidla:

Vynulování pomocných proměnných, které počítají počet podsestav při odkládání na stojan.

Pocet_Zalisovana_Sestava = 0
Pocet_Pruzina_Pripojka = 0

Změna ikony symbolizující plný vozík.

SET ICON of Stojan10(I) to 121

Výstupní pravidla:

Karta Unloading – vykládací proces na pracoviště č. 121. Vykládání povoleno až do úplného vyprázdnění stojanu.

PUSH Zalisovana_Sestava to Pracoviste121, Sestava_Pripojka_Pruzina to Pracoviste121

Předání stojanu zpět mezi pracoviště č. 105 a č. 115.

PUSH to Prenos_prazdny_stojan

6.1.3 Elementy cílových funkcí

V simulačním modelu byly použity elementy typu „Pie“, což jsou koláčové grafy, které vyhodnocují pracovní aktivitu a prostoje jednotlivých pracovníků výrobní linky. Hodnoty jsou uvedené v procentech. Využita také funkce „Warm up“, která počítá s dobou náběhu simulačního modelu a po prvních 10 minutách pracovního procesu grafy resetuje.

Graf Pracovník_1 – vyhodnocení aktivity pracovníka 1.

Využita funkce SUTIL, která vrací procentuální hodnotu stavu pracovníka.

SUTIL(Pracovník, Stav) – Stav=1 znamená prostoj, Stav=2 pracovní činnost

Nepracuje SUTIL (Obsluha_1,1)

Pracuje SUTIL (Obsluha_1,2)

Graf Pracovník_2 – vyhodnocení aktivity pracovníka 2.

Nepracuje SUTIL (Obsluha_2,1)

Pracuje SUTIL (Obsluha_2,2)

Graf Pracovník_testeru – vyhodnocení pracovníka testeru.

Nepracuje SUTIL (Pracovník_test,1)

Pracuje SUTIL (Pracovník_test,2)

Pocet_Zalisovana_Sestava – proměnná typu integer, která počítá počet kusů zalisovaných sestav na každém přenosném stojanu.

Pocet_Pruzina_Pripojka – proměnná typu integer, která počítá počet kusů sestavy pružiny a přípojky na každém přenosném stojanu.

FINALNI_VYROBEK – zásobník, do kterého jsou ukládány vyrobené a otestované teleskopy. Je zde umístěno počítadlo vyrobených kusů.

7 SIMULACE PŮVODNÍHO STAVU VÝROBNÍ LINKY A JEHO VALIDACE

Po vytvoření modelu v prostředí Witness byla simulace spuštěna. Pracovníci se u jednotlivých činností střídají podle toho, jak jim zrovna vychází čas. Podle toho bylo v této fázi přiřazeno každému zaměstnanci více činností.

Byl simulován časový úsek jedné směny – 8,5 hodinová směna včetně 10 a 30 minutové přestávky – 470 minut.

Jako srovnávací kritéria modelu a reality byly určeny – počet finálních výrobků na konci směny a vytížení pracovníků v době pracovní činnosti.

Po ukončení simulace výchozího stavu výrobní linky bylo na konci pracovní směny vyrobeno 1032 teleskopů. Tento výsledek zhruba odpovídá reálným údajům 850 – 950 kusů a také období mezi Listopadem 2010 a Únorem 2011 kdy jsme poprvé přišli do podniku. Výsledná hodnota je o něco vyšší, což značí jisté rezervy ve výrobě teleskopů.

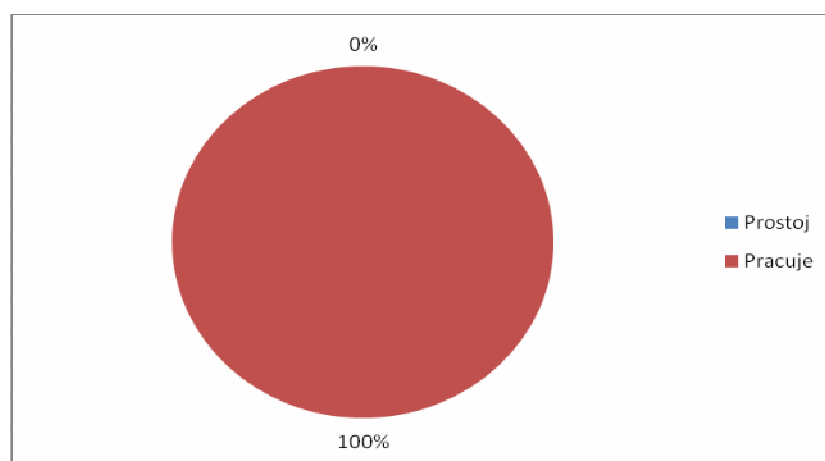
Doba taktu výrobní linky činila 27 minut.

Byly vyhodnoceny také ukazatele pracovní aktivity a prostoje jednotlivých pracovníků. Výsledky jsou shrnuty v kapitole 7.1.

7.1 Analýzy pracovního vytížení pracovníků

▪ Analýza Pracovníka 1

Pracovník obsluhuje činnosti nasazení hadice do pružiny, zalisování sestavy membrány, pístu a víčka a popřípadě se může věnovat sestavení přípojky. Pracovník se rovněž může vystřídat s operátorem na pracovišti 121, kde probíhá kompletace teleskopu. Zde jsou započítány také manipulační práce.

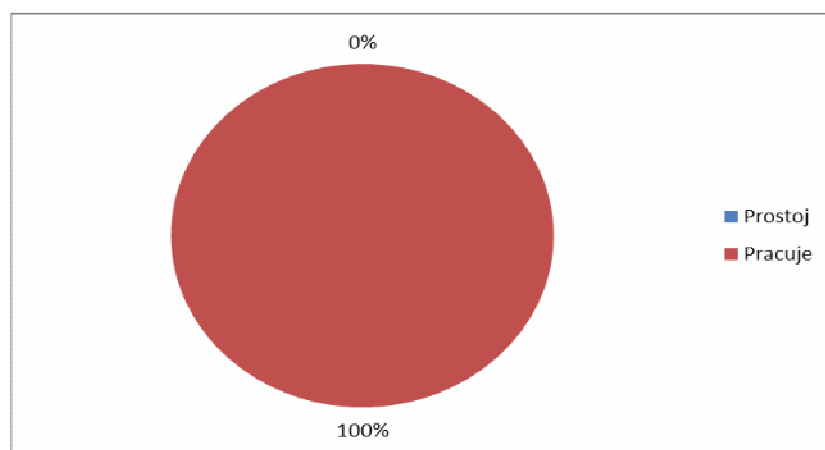


Obrázek 19: Graf pracovního vytížení pracovníka č. 1

Jak můžeme vidět z grafu simulace, pracovník je velmi vytížený – 100% celkového pracovního času představuje práce a 0 % procenta prostoj, což můžeme samozřejmě hodnotit jako kladný výsledek, nicméně na plynulý chod a efektivitu výrobní linky to stále není dostačné.

▪ Analýza Pracovníka 2

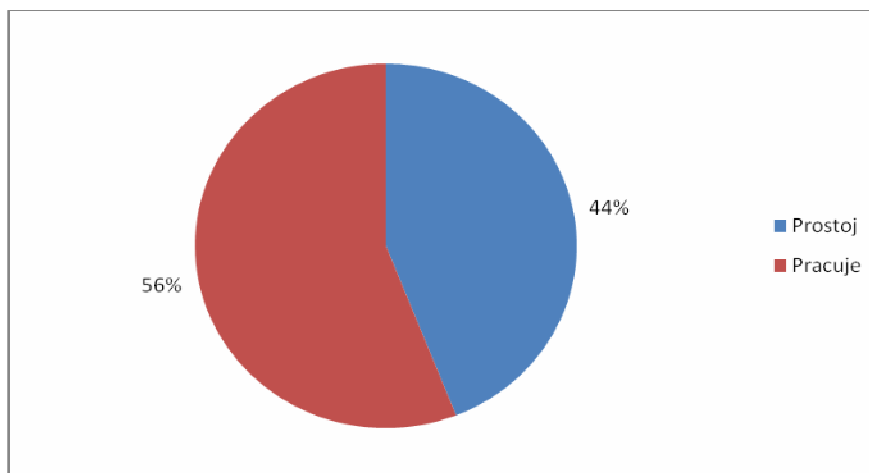
Pracovník obsluhuje primárně pracoviště č. 121 – kompletace teleskopu. V případě potřeby se přemístí na jiná pracoviště. Práce na pracovišti 121 je jedním s kritických míst výroby a obsahuje v sobě větší časovou náročnost. Proto se zde zaměstnanci střídají z důvodu odpočinku a větší psychické pohody.



Obrázek 20: Graf činností pracovníka č. 2

▪ Analýza pracovníka na testovacím zařízení

Pracovník je přímo závislý na činnosti předcházejících pracovních buněk. Jak bude popsáno níže, testovací pracoviště není dostatečně zásobováno zkompletovanými teleskopy a vzniká tak velká doba prostoje.



Obrázek 21: Graf pracovního vytížení pracovníka testu

Výsledky analýzy odpovídají i skutečnému modelu, kdy testovací pracovník je vytížený z poloviny zatímco dva pracovníci na vedlejších pracovištích jsou na plno vytížení a přesto nestíhají dodávat práci na pracoviště č. 126.

Na základě pozorování reálného systému a provedené simulace můžeme určit kritická místa systému:

1. Pracovníci, kteří obsluhují pracoviště č. 100, až č. 121 nejsou schopni zásobovat testovací pracoviště tak, aby mohl vykonávat svoji činnost plynule po celou pracovní dobu – systém není časově vybalancovaný.
2. Obsluha pracoviště 121 kde probíhá závěrečná kompletace dosahuje vyšší časové náročnosti svého úkolu než na jiných pracovištích.
3. Je zřejmé, že počet pracovníků je nedostatečný a bude potřeba také přehodnotit náplň práce každého pracovníka zvlášť.
4. Obsluha pracoviště 100 – 121 nemá ucelenou pozici ve výrobním procesu a svým pohybem snižuje čas skutečné práce což nepřidává hodnotu výrobku.

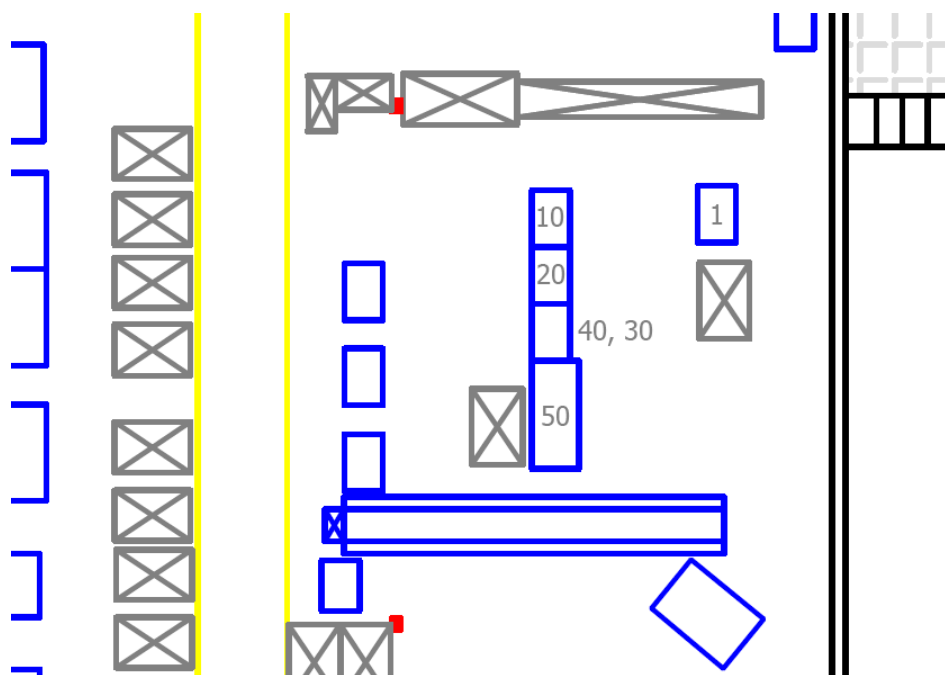
8 EXPERIMENTY

Po zhodnocení původního výrobního procesu jsem začal provádět experimenty, které vychází z původní koncepce výrobní linky. Zároveň jsem se snažil dodržovat zásady štíhlého pracoviště, technologický postup výroby a vyhýbat se problémům, které byly odhaleny výše. Také bylo potřeba pohlídat si „Poka-yoke“, aby nedocházelo ke zmetkovitosti.

Doba simulace každého experimentu je vždy čas jedné pracovní směny, tedy 8,5 hodiny včetně 10 a 30 minutové pauzy.

8.1 Experiment č. 1 – Změna layoutu výrobní linky

Dosavadní pracovní prostor byl přemístěn na novou pracovní plochu. Uspořádání pracovních buněk č. 105 až po testovací pracoviště zůstalo nezměněno. Pracoviště č. 100, kde je vykonávána činnost nasazení silikonové hadice do pružiny bylo přemístěno do pozadí pracovní linky. Důvodem byla příležitostná externí spolupráce jiných pracovníků podniku, kteří mohou tuto činnost předpřipravit pro další pracovní proces. Pracoviště tak již nepřekáží dalším činnostem.



Obrázek 22: Nový layout výrobní linky [2]



Obrázek 23: Nový layout výrobní linky

Výsledkem experimentu není navýšení produkce, ale zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců a zjednodušení pohybu na pracovní ploše. Zároveň byl zpřehledněn pracovní proces výrobní linky. Také byly přemístěny zásobníky z komponenty do místa, ke kterému mají pracovníci lepší přístup. Následující experimenty se pak od výchozího rozložení pracoviště liší novým layoutem.

8.2 Experiment č. 2 – Přidání dalšího pracovníka

Úpravy v simulačním modelu:

Obsluha_1 – činnost na pracovišti č. 100 a č. 105.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Obsluha_2 – činnost na pracovišti č. 100 a č. 115.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Obsluha_3 – činnost na pracovišti č. 121.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Pracovník_test – činnost na pracovišti č. 126.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Přidán nový element cílové funkce:

Graf Pracovník_3 – vyhodnocení aktivity pracovníka 2.

Nepracuje SUTIL (Obsluha_3,1)

Pracuje SUTIL (Obsluha_3,2)

Jak bylo zmíněno výše, pracoviště testu není dostatečně zásobováno. Z tohoto důvodu byl do výrobní linky pokusně nasazen čtvrtý operátor výroby. Tím došlo následujícímu přerozdělení pracovních činností, jak ukazuje následující tabulka 11:

	Pracovník č. 1	Pracovník č. 2	Pracovník č. 3	Pracovník - test
Pracoviště	Obsluha pracovní buňky č. 100 a č. 105	Obsluha pracovní buňky č. 115	Obsluha pracovní buňky č. 121	Obsluha pracovní buňky – test teleskopu
Použité komponenty	Silikonová hadice, pružina, membrána, píst, víčko	O-kroužek, přípojka	Válec	
Činnosti	Nasazení silikonové hadice do pružiny	Mazání přípojky na podušce (2ks zároveň)	Kompletace teleskopu, zajištění pružiny, odložení do bedny	Test teleskopu (test na 3 testovacích pozicích)
	Nasazení pístu do stojanu, nasazení membrány a dotlačení přípravkem	Nasazení pružiny, zajištění trnem, navlečení O-kroužku, odložení do stojanu		
	Lisování pístu s membránou a víčkem, odložení do stojanu			

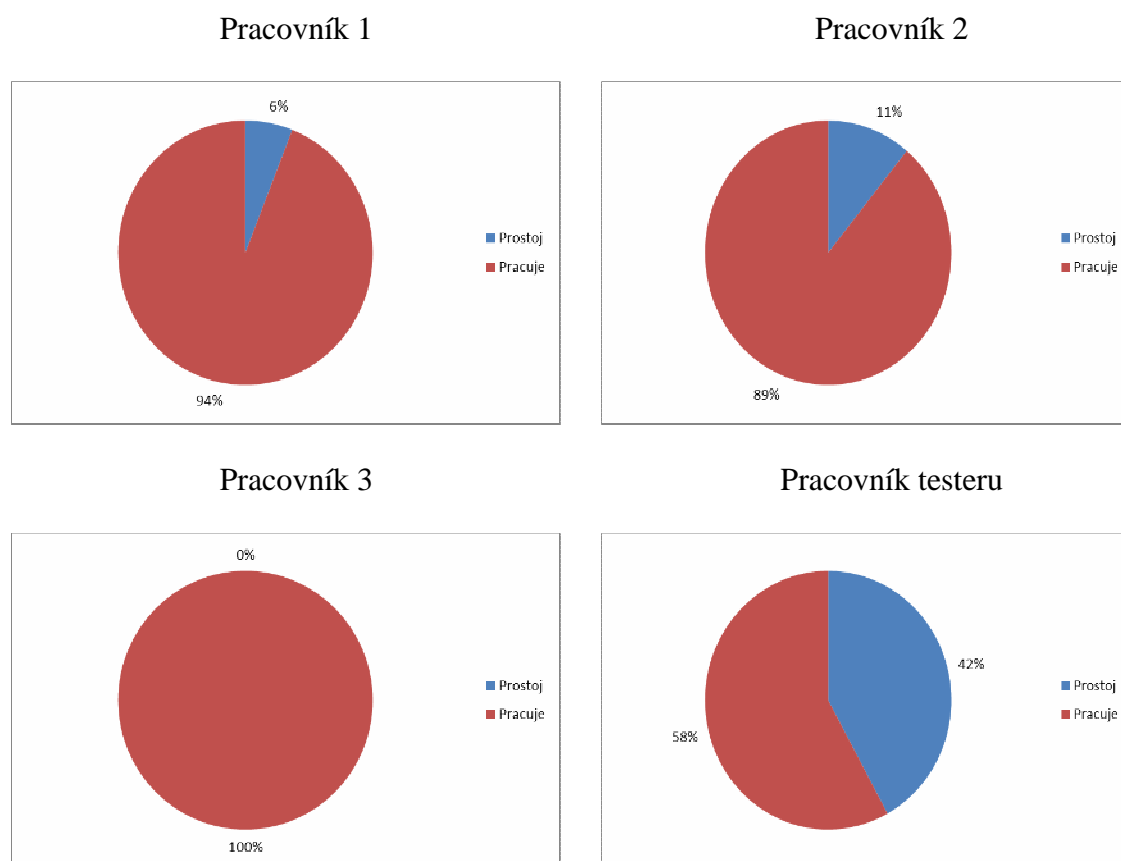
Tabulka 11: Rozložení pracovních úkonů

Pracovníci č. 1 a č. 2 se již také skoro nepohybují ze svých pracovišť, pracovník č. 2 však příležitostně přechází na pracoviště č. 100 doplnit chybějící pružiny s nasazenou silikonovou hadicí. Pracovníci si musí taktéž průběžně doplňovat dílčí komponenty ze zdrojových zásobníků.

Pracovník č. 3 byl pevně přiřazen k pracovní buňce č. 121, protože jehož činnost vyžaduje největší časové úsilí.

Pracovník testovacího zařízení je vyčleněn na obsluhu svého pracoviště, ale taktéž příležitostná pomoc na pracovišti č. 100.

V grafu můžeme vidět celkovou časovou délku pracovních činností každého pracovníka. Je zde znatelný posun k vyváženosti, což dokazují také následující grafy:



Obrázek 24: Grafy doby práce a prostojů jednotlivých pracovníků

Důležitým výsledkem experimentu bylo navýšení výroby na 1119 kusů teleskopů za pracovní směnu. Přidání čtvrtého pracovníka bylo dobrým krokem k navýšení efektivity

výrobního procesu. Pracovník č. 3 dosahuje ovšem stále vyšší časové hodnoty svého úkonu než ostatní pracoviště a pracovník testeru stále není vytížený podle představ.

Doba taktu výrobní linky činí 25 minut.

8.3 Experiment č. 3 – Zdvojnásobení pracoviště č. 121

Úpravy v simulačním modelu:

Obsluha_4 – činnost na pracovišti č. 121.

Nastaven počet pracovníků na 1. Nastavena směna Day_8Hrs001.

Element Machine Pracoviste121 zdvojnásoben. Objevují se tak na pracovišti č. 121 dva pneumatické lisy, které obsluhují dva lidé.

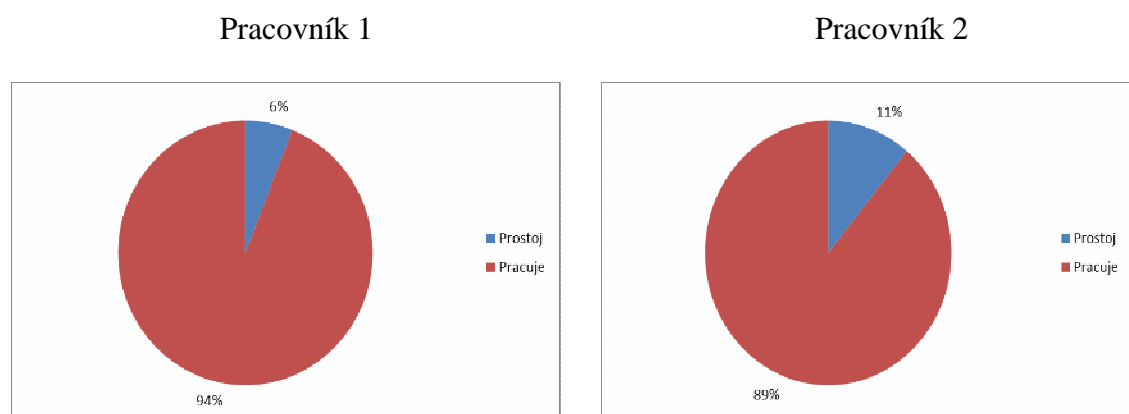
Přidán nový element cílové funkce:

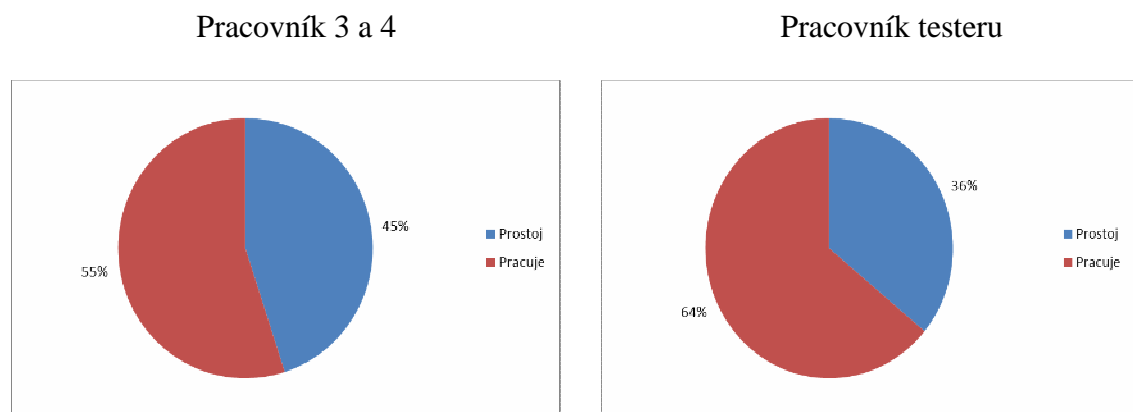
Graf Pracovník_novy – vyhodnocení aktivity přidaného pracovníka.

Nepracuje SUTIL (Obsluha_3,1)

Pracuje SUTIL (Obsluha_3,2)

Byl proveden experiment, ve kterém jsem se pokusil přidat na pracovišti č. 121 přidat druhý pneumatický lis a zároveň zvýšit počet pracovníků výrobní linky na 5 lidí, z čehož dva pracovníci pracují na pneumatických lisech pracoviště č. 121.





Obrázek 25: Grafy doby práce a prostojů jednotlivých pracovníků

Z grafů lze vyčíst, že vytíženost pracoviště testu sice stoupla, ale jen o pouhých 6 %. Navýšila se také produkce teleskopů na 1240 kusů za směnu. Graf pracoviště č. 121 ale ukazuje, že přidání druhého pneumatického lisu a dalšího pracovníka má zanedbatelný význam a zároveň snižuje výkon obou operátorů na polovinu, což se firmě zcela jistě nevyplatí.

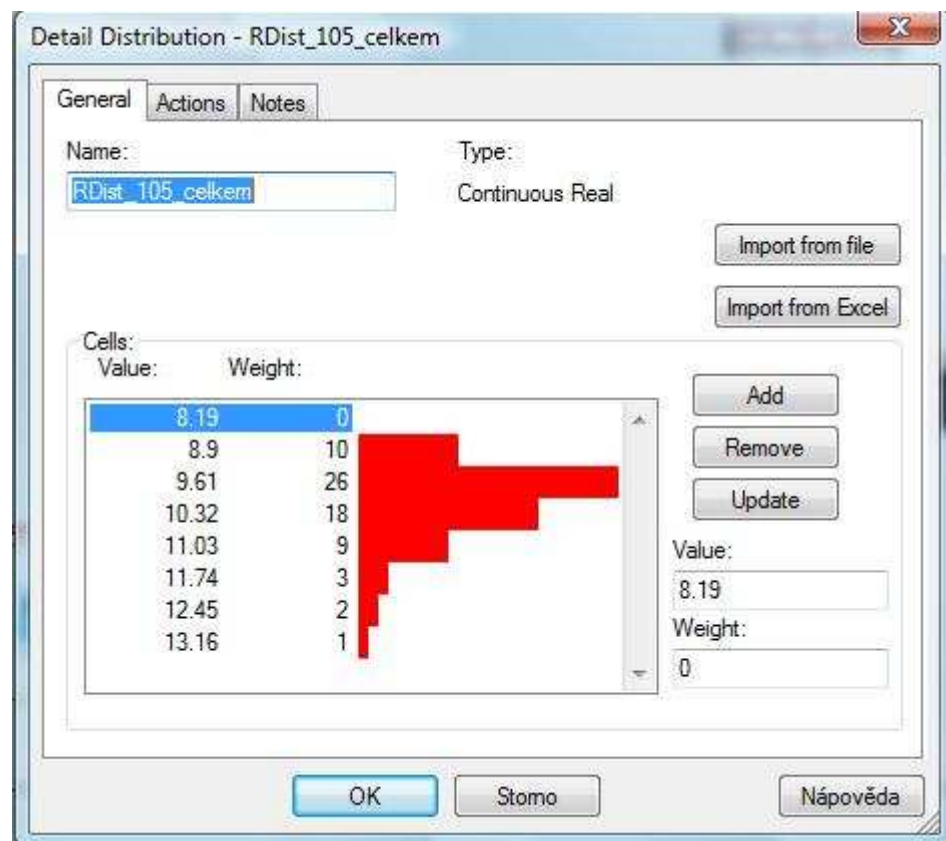
Doba taktu výrobní linky činí 23 minut.

8.4 Experiment č. 4 – Nové rozvržení technologického postupu

Úpravy v simulačním modelu:

Přidány distribuce normálního rozdělení, které byly vyhodnoceny v kapitole 5.

RDist_105_celkem, RDist_105_bez_valce, RDist_105_s_valcem, RDist_115_celkem, RDist_121_celkem, RDist_mazani, RDist_okrouzek, RDist_Manipulace.



Obrázek 26: Vložené normální rozdělení

Zásobník_prip_okrouzek – nový zásobník s kapacitou 10.

Zalis_sest_bez_valce_20 – nový zásobník s kapacitou 20.

Nasazeni_okrouzek – nový element typu Machine typu Assembly.

Cycle Time – Rdist_okrouzek

Vstupní pravidlo:

SEQUENCE /Wait Zásobnik_O_Krouzek#(1),
Zásobnik_Pripojka#(1)

Výstupní pravidlo:

CHANGE ALL to Sest_prip_okrouzek

PUSH to Zásobnik_prip_okrouzek

Sestaveni_bez_valce – nový element typu Machine typu Assembly.

Cycle Time - RDist_105_bez_valce ()

Vstupní pravidlo:

SEQUENCE /Wait Zasobnik_Vicko#(1),
Zasobnik_Membrana#(1),
Zasobnik_Pist#(1)

Výstupní pravidlo:

CHANGE ALL to Zalis_sest_bez_valce

PUSH to Zalis_sest_bez_valce_20

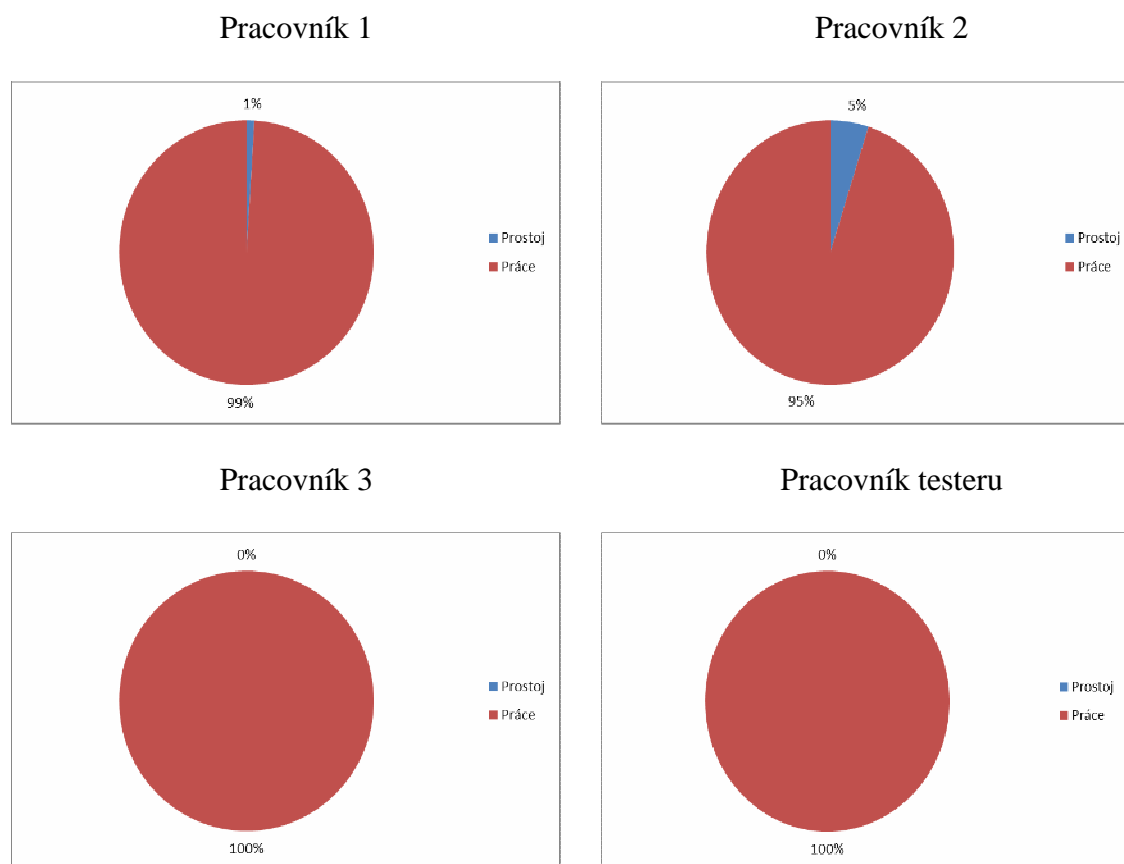
Pracoviste105 – změna vstupních pravidel v elementu Machine

IF NPARTS (Zalis_sest_bez_valce_20) > 0
quantity105 = 2
Aktualni_cas_prac105 = RDist_105_s_valcem ()
ELSE
quantity105 = 4
Aktualni_cas_prac105 = RDist_105_celkem ()
ENDIF

Vysoká doba práce pracoviště č. 121 byla jasným signálem změny technologického postupu a po neúspěšném experimentu č. 3 jsem se rozhodl k následujícím reakcím:

- Zajištění pružiny, které probíhá na pracovišti č. 121 ponechat pracovišti č. 115. Tato změna by mohla vést ke snížení doby pracoviště č. 121. Na to navazoval návrh předat nasazení O-kroužku na přípojku a popřípadě také mazání přípojky na pracoviště č. 105. Po konzultaci s pracovníky podniku jsem ale od tohoto záměru upustil. Bylo by zbytečné vracet operaci zpátky na pracoviště č. 115, jelikož pracovník na pracovišti č. 121 výrobek drží již uchopený a může pružinu hned zajistit. Přidaly by se tak operace navíc do výrobního systému a výsledný efekt by se takřka vytratil. Mohlo by taktéž dojít k chybám při montáži.
- Dalším zásahem do technologického postupu se jevil jako dobrý nápad odebrat pracovišti č. 121 nasazování válce a předat tuto činnost pracovišti č. 105. Pracovník na tomto stanovišti již má během svého pracovního procesu uchopenou zalisovanou sestavu membrány, pístu a víčka, může nasadit také válec a takto hotovou sestavu

odložit do připraveného manipulačního stojanu. Tuto změnu jsem také zasadil do svého modelu v simulačním prostředí Witness a provedl experiment.



Obrázek 27: Grafy doby práce a prostojů jednotlivých pracovníků

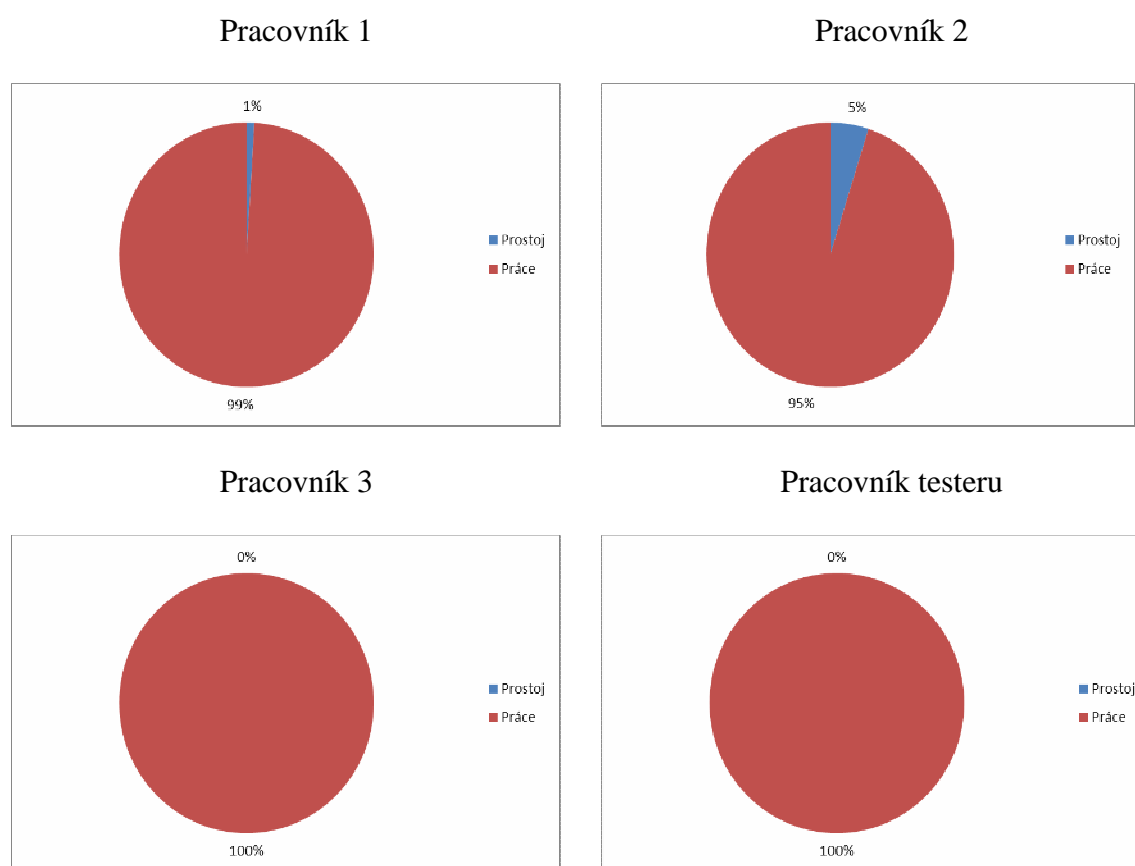
Zde můžeme vidět vynikající výsledky. Vytíženost pracovníků se dostala prakticky na maximum. Co je ovšem největším přínosem tohoto experimentu je počet vyrobených kusů za směnu, který vzrostl na 1824 kusů za směnu za ideálních podmínek. Realný počet kusů se vyšplhal na počet 1750 – 1800 kusů, čili můžeme mluvit ještě o malé rezervě ve výrobním procesu. Pracovní operace na sebe dobře navazují s velmi nízkým čekáním, je tak splněno JIT.

Doba taktu výrobní linky činí 15 minut.

8.5 Experiment č. 5 – Budoucí možné rozvržení layoutu

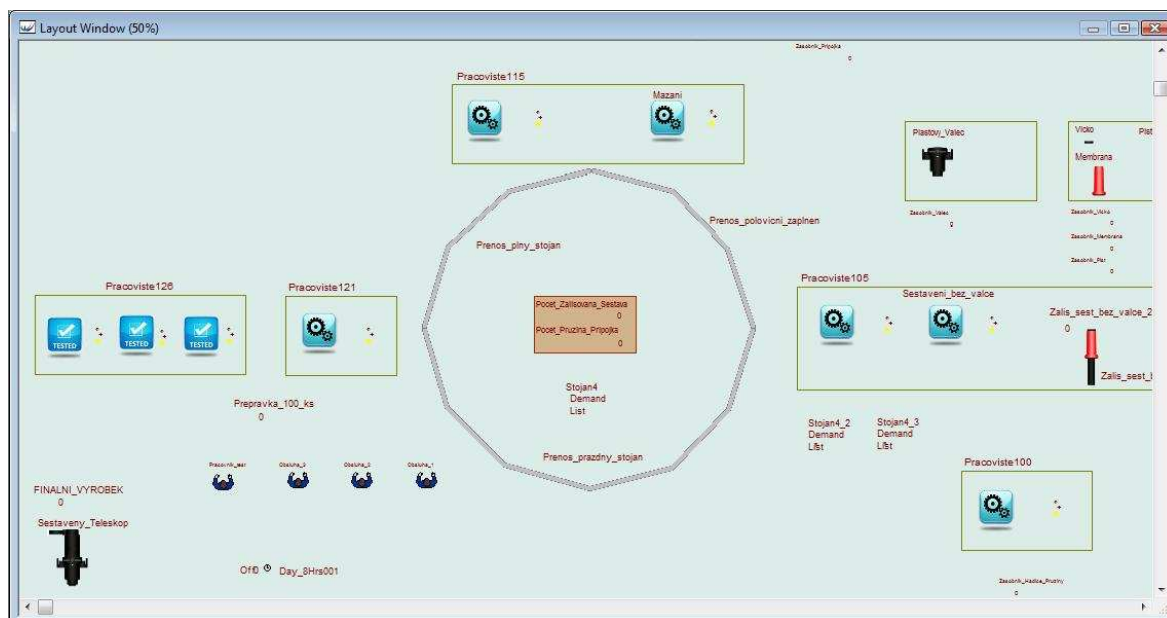
V průběhu konzultací s pracovníky podniku byl taktéž navržen nový layout pro budoucí možné rozvržení výrobní linky. Jako zásadní prvek, který ovlivní výrobní proces, byl navržen otočný stojan, na kterém se budou nacházet podobné odkládací stojany, jak je tomu doposud, pouze kapacita bude snížena na 4 místa – zalisovaná sestava a setava přípojky a pružiny. Naopak počet stojanů bude zvýšen na 20 kusů, aby byl zajištěn rovnoměrný tok podsestav celou výrobní linkou. Kolem otočného stojanu budou soustředěny stávající pracoviště, jak je vyobrazeno na obrázku layoutu níže. Pohyb je určen ve směru hodinových ručiček.

Hlavní výhodou nového layoutu je především absence manipulačních činností se stávajícími stojany a větší pohodlí operátorů při práci.



Obrázek 28: Grafy doby práce a prostoje jednotlivých pracovníků

Jak můžeme vidět, pracovníci jsou opět dobře vytížení. Po snížení manipulační doby se stojany došlo také k nárůstu vyrobených kusů za směnu – 1864 kusů, snižuje se také takt výrobní linky na 14 minut. Lze hodnotit inovaci jako úspěšnou.

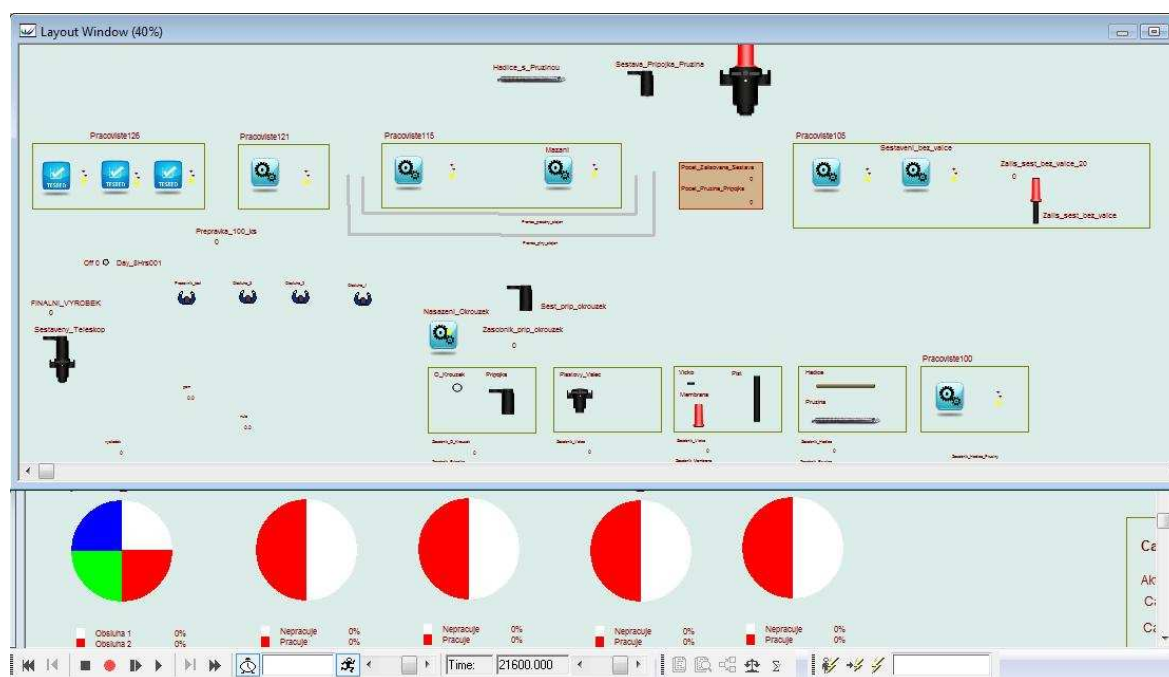


Obrázek 29: Rozvržení nového layoutu v prostředí Witness

9 PŘEDSTAVENÍ VÝSLEDKŮ SIMULAČNÍ STUDIE

Na začátku projektu jsem provedl analýzu celé výrobní linky, technologického postupu, posloupností výrobních činností a pracovní náplně jednotlivých pracovníků. Tím jsem získal výchozí pozici pro optimalizaci výroby a mohl definovat problémy, se kterými se výrobní linka potýkala. V této fázi jsem také vytvořil simulační model v prostředí Witness, který věrně odrážel celý výrobní proces, jeho technologické postupy a chování zaměstnanců ve výrobě.

Ve druhé fázi projektu jsem začal experimentovat. Cílem experimentů bylo nalézt kompromis mezi všemi aspekty, zvýšit produktivitu práce a celkový obrát výrobní linky. Bylo nutné dodržovat zásady štíhlé výroby, vyhnout se špatným technologickým postupům (Poka-yoke) a vytvořit systém bez plýtvání a prostojů (JIT).



Obrázek 30: Simulační model v prostředí Witness

Výsledky experimentů můžeme zhodnotit v následujících částech.

9.1 Prezentace výsledků

▪ Vývoj doby pracovní činnosti a prostojů obsluhy výrobní linky

Z tabulky 12 je patrný vývoj každého pracovníka směrem k cílové hodnotě 100 %, ke které se celý tým velmi těsně přiblížil. Lze také vyčíslit, že pracovník testu prošel největším vývojem a dostal se na uspokojitelné vytížení, což odráží výsledný počet vyrobených kusů na konci směny v tabulce 14. Pracovník č. 3 prošel také experimentální fází, kdy bylo jeho pracoviště zdvojeno a do systému se dostal jeden operátor a pneumatický lis navíc. Toto řešení se ovšem ukázalo jako vývoj směrem k horším hodnotám.

%	Výchozí model		Experiment č.2		Experiment č.3 (5 pracovníků)		Experiment č.4		Experiment č.5	
	Aktivita	Prostoj	Aktivita	Prostoj	Aktivita	Prostoj	Aktivita	Prostoj	Aktivita	Prostoj
Pracovník č.1	100	0	94	6	94	6	99	1	99	1
Pracovník č.2	100	0	89	11	89	11	95	5	95	5
Pracovník č.3	x	x	100	0	55	45	100	0	100	0
Pracovník test	50	50	58	42	64	36	100	0	100	0

Tabulka 12: Vývoj doby pracovních činností a prostojů na lince

Můžeme vidět hodnoty, které vznikly během prostojů na výrobní lince. Rozhodujícím momentem byl experiment č. 4, kdy byla zavedena zásadní změna, která vedla k dobrému vybalancování pracovních činností a návazností.

▪ Vývoj doby taktu výrobní linky a počtu kusů

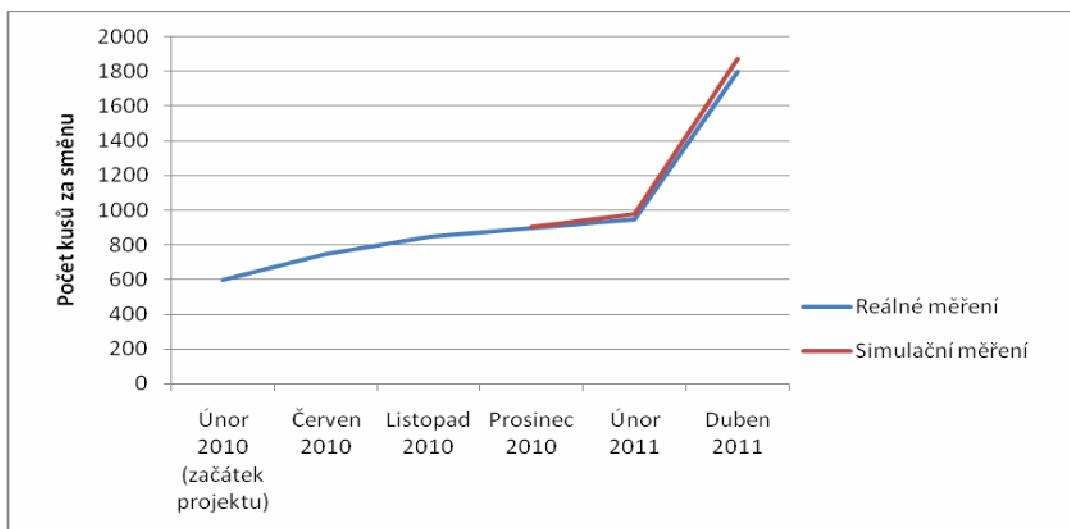
	Výchozí model	Experiment č.2	Experiment č.3(5 pracovníků)	Experiment č.4	Experiment č.5
Takt	27	25	23	15	14
Počet kusů	1032	1119	1240	1824	1864

Tabulka 13: Vývoj doby taktu a počtu kusů na lince

Prakticky každý navržený experiment prokázal posun k minimu doby taktu výrobní linky. Můžeme si povšimnout, že i neúspěšný experiment č. 3 dokázal vyrobit více kusů a zachovat sestupnou tendenci doby taktu.

Jistě nejzajímavějším výsledkem projektu je vizualizace počtu kusů vyrobených za směnu v každém experimentu. Je zcela zřetelné, že počet kusů neustále stoupal a to i opět v neúspěšném experimentu č. 3. Za dobu, kdy se vytvářel tento projekt vzrostl počet vyrobených kusů takřka na dvojnásobek.

V průběhu konání optimalizace se měnil nejen simulační model, ale také model reálný. K dispozici tak máme nejen hodnoty vytvořené simulačními experimenty, ale také reálné hodnoty získané inovací výrobní linky.



Obrázek 31: Porovnání experimentálních a reálných hodnot

V grafu můžeme vidět celý průběh života výrobní linky. Začátek projektu je datovaný na Únor 2010. Náš počátek analýzy a optimalizace začíná v prosinci 2010. Po celou dobu projektu se linka vyvíjela až do stádia, kdy je schopna vyrobit 1750 – 1800 kusů teleskopů za pracovní směnu.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh výrobního procesu teleskopů a odstříkovačů světel automobilů ve společnosti TNS Servis, s.r.o.

V první části jsem provedl potřebnou literární rešerši, která mi poskytla základní vodítka pro postup při optimalizaci výroby a řešení návrhu štíhlého pracoviště a štíhlé výroby. Bylo také představeno simulační prostředí Witness společnosti Lanner Group Ltd., ve kterém jsem realizoval simulaci modelu převedeného z reálného prostředí.

Ve druhé části jsem přešel k praktické činnosti. Nejprve jsem provedl analýzu původního modelu, seznámil se s technologickým postupem výrobního procesu a činnostmi jednotlivých pracovníků. V této fázi jsem diagnostikoval problémy a kritická místa výrobní linky.

Po potřebném pochopení systému jsem začal provádět experimenty. Při prvním experimentu byl pouze změněn layout výroby, jelikož původní vzhled nevyhovoval principům štíhlé výroby. Ve druhém experimentu byl úspěšně „zaměstnán“ čtvrtý pracovník, který významnou měrou přispěl k vybalancování systému. Třetí experiment prokázal, že další přidávání zaměstnanců na linku nepovede k požadovanému cíli. Čtvrtý experiment se zaměřil na změnu technologického postupu a po konzultaci se zaměstnanci podniku navrhnutá změna, po které jsme dosáhli požadovaného cíle. V diplomové práci jsem se snažil předvést nejzajímavější experimenty a zhodnotit jejich přínos.

V průběhu experimentů byly v provozu naměřeny také vlastní hodnoty, které byly zaneseny do simulačních modelů.

Navržené změny jsou již součástí reálného provozu. Výsledkem a významným přínosem projektu bylo navýšení výroby na 1750 – 1800 kusů výrobků za směnu, což je dvojnásobná hodnota v porovnání s předchozím rokem 2010. Dalším přínosem projektu bylo také navýšení zaměstnanců na konečný počet čtyř operátorů výroby.

Optimalizace výrobního procesu v podniku TNS Servis, s.r.o. a konzultace se zaměstnanci podniku byla pro mě velkým přínosem. Osvojil jsem si nové dovednosti v oblasti řízení výroby a simulace systémů, které určitě využiji do budoucna.

CONCLUSION

The aim of the thesis was the design of production process of telescopes and car headlight washers in TNS Servis Ltd company.

In the first part I made the necessary literature search, which gave me the basic guidelines for the process of optimizing production and lean workplace design solutions and lean manufacturing. It also presented a simulation environment of Witness, Lanner Group, Ltd., in which I implemented the simulation model converted from the real environment.

In the second part, I analyze the original model, recognize with the technological process of production processes and activities of individual workers. At this stage, I diagnose problems and critical parts of the production line.

After the necessary understanding of the system, I began to make experiments. The first experiment was only changed the layout of production, because the original design did not meet the principles of lean manufacturing. In a second experiment was successful "employed" the fourth worker, who has contributed to balancing the system. The third experiment showed that adding additional employee to the line didn't lead to the desired destination. The fourth experiment focused on the process of technological change, and after consultation with employees suggested the company change after we have achieved the desired objective. In my work I have tried to show the most interesting experiments and evaluate their benefits.

During the experiments, were also measured in the plant's own values, which were entered into the simulation models.

The proposed changes are already part of the real operation. The result of the project and an important contribution to increased production in 1750 - 1800 pieces of products per shift, which is twice the value compared with the previous year 2010. Another benefit of the project was also an increase in the number of employees at the end four machine operators.

Optimization process in the company of TNS Servis and consultation with employees was a great asset for me. I acquired new skills in production management and simulation systems, which will surely use in the future.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DENNIS, Pascal; SHOOK, John. Lean production simplified : a plain language guide to the world's most powerful production system. New York : Productivity Press, 2002. 170 s. ISBN 1563272628.
- [2] Firemní dokumentace; TNS Servis, s.r.o.
- [3] Hušek, R., Lauber, J.: Simulační modely. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987.
- [4] KOŠTURIÁK, Ján; FROLÍK, Zbyněk. Štíhlý a inovativní podnik. Praha : Alfa Publishing, 2006. 237 s. ISBN 80-86851-38-9.
- [5] NEUSCHL, Štefan. Modelovanie a simulácia. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1988. 423 s.
- [6] Nikkan Kogyo Shimbun;Poka-yoke: improving product quality by preventing defects New York : Productivity Press, 2002. 208 s. ISBN:0-915299-31-3
- [7] ZÍTEK, Pavel. Simulace dynamických systémů. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 418 s. ISBN 80-03-00330-X.
- [10] Skripta počítačové simulace
- [11] Masaaki Omak; Gemba Kaizen – řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Brno: Computer Press, a.s. 2005. ISBN 80-251-0850-3
- [12] Malindžák, D. Simulácia procesov. [Skriptum] Košice: TU, 1991
- [13] Mošna, J., Pešek, P. Systém hromadné obsluhy. [skriptum] Plzeň: ZČU, 2001

Internetové zdroje:

- [14] Sadoun, B.: Applied system simulation: a review study, Information Sciences 124 (2000) str. 173 – 192, www.elsevier.com/locate/ins
- [15] Bordás, R.: Historie. LEAN Copany: systémy řízení, implementace štíhlé transformace, školení [online]. 2006 [cit. 2009-02-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.leancompany.cz/historie.html>>.

- [16] WITNESS : Business Simulation Software System, Manufacturing and Production [online]. c2008 [cit. 2011-01-07]. Available from WWW: <<http://www.lanner.com/en/witness.cfm>>.
- [17] TNS Servis. [online]. [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.tnsservis.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

JIT	Just-in-time
GM	General Motors
SMED	Single Minute Exchange of Die
FIFO	First In First Out
QCD	Quality, Cost, Delivery
TQC	Total Quality Control
TQM	Total Quality Maintenance
TPM	Total Productive Maintenance

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Firemní oblasti.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2: Logo společnosti Lanner Group Ltd.[16].....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 3: Simulační prostředí Witness.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 4: Logo společnosti TNS Servis, s.r.o.[2]</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 5: Layout – Hala č. 3 a pozice výrobní linky[2]</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 6: Detail výrobní linky[2]</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 7: Komponenty dodávané kooperací.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 8: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 105.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 9: Histogram doby sestavení zalisované sestavy bez válce</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 10: Histogram doby sestavení zalisované sestavy s válcem pracoviště č. 105</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 11: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 115.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 12: Histogram doby nasazení O-kroužku pracoviště č. 115</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 13: Histogram doby mazání 2 přípojek zároveň pracoviště č. 115.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 14: Histogram doby celkové činnosti pracoviště č. 121.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 15: Histogram doby manipulace se stojany</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 16: Vytvořený model v prostředí Witness</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 17: Nastavení směny Day_8Hrs001</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 18: Definování vstupních a výstupních pravidel pracoviště č. 100.....</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 19: Graf pracovního vytížení pracovníka č. 1</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 20: Graf činností pracovníka č. 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 21: Graf pracovního vytížení pracovníka testu</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 22: Nový layout výrobní linky [2]</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 23: Nový layout výrobní linky</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 24: Grafy doby práce a prostoje jednotlivých pracovníků.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 25: Grafy doby práce a prostoje jednotlivých pracovníků.....</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 26: Vložené normální rozdělení</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 27: Grafy doby práce a prostoje jednotlivých pracovníků.....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 28: Grafy doby práce a prostoje jednotlivých pracovníků.....</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 29: Rozvržení nového layoutu v prostředí Witness.....</i>	<i>74</i>
<i>Obrázek 30: Simulační model v prostředí Witness</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 31: Porovnání experimentálních a reálných hodnot</i>	<i>77</i>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Systém výrobní linky[2]	37
Tabulka 2: Seznam použitých komponentů a jejich dodavatelů[2]	38
Tabulka 3: Posloupnost pracovních činností [2]	39
Tabulka 4: Kusovník operace nasazení hadice do pružiny[2]	40
Tabulka 5: Kusovník operace montáž víčka a membrány na píst[2]	40
Tabulka 6: Kusovník operace mazání přípojky a zavěšení pružiny + O-kroužek[2]	41
Tabulka 7: Kusovník operace kompletace teleskopu[2]	41
Tabulka 8: Naměřené hodnoty původní výrobní linky[2]	44
Tabulka 9: Vlastní naměřené hodnoty pracovních činností	45
Tabulka 10: Naměřené hodnoty manipulace	48
Tabulka 11: Rozložení pracovních úkonů	66
Tabulka 12: Vývoj doby pracovních činností a prostojů na lince	76
Tabulka 13: Vývoj doby taktu a počtu kusů na lince	76

SEZNAM PŘÍLOH

P I: NÁMĚR SPOLEČNOSTI TNS SERVIS S.R.O.

P II: VLASTNÍ NÁMĚR

PŘÍLOHA P I: NÁMĚR SPOLEČNOSTI TNS SERVIS S.R.O.

	Pracoviště						
Č. měření	100	105		115		121	126
1	4,5	3,6	10,0	1,4	11,0	19,0	17,0
2	4,6	3,6	10,0	1,2	10,0	36,0	16,0
3	4,8	3,6	10,0	1,2	10,0	18,0	14,0
4	5,0	3,6	13,0	1,2	13,0	15,0	13,0
5	4,7	3,6	11,0	1,3	11,0	17,0	14,0
6	4,6	3,6	11,0	1,2	11,0	15,0	14,0
7	4,8	3,6	11,0	1,2	12,0	14,0	15,0
8	5,1	3,6	12,0	1,3	12,0	14,0	14,0
9	4,5	3,6	12,0	1,2	11,0	15,0	13,0
10	4,7	3,6	11,0	1,4	13,0	14,0	14,0

PŘÍLOHA P II: VLASTNÍ NÁMĚR

Naměřené hodnoty pracoviště č. 105:

Měření	Činnost pracoviště 105	Měření	Činnost pracoviště 105	Měření	Sestavení pístu, membrány a víčka	Nasaz. válce na zalisovanou sest.
1	8,95	36	9,65	1	6,59	5,25
2	13,16	37	9,45	2	6,51	4,35
3	8,66	38	8,69	3	7,06	4,87
4	10,34	39	9,80	4	6,71	4,52
5	9,73	40	9,83	5	6,02	5,58
6	9,07	41	10,87	6	6,29	5,47
7	8,38	42	8,79	7	5,68	5,25
8	8,34	43	9,51	8	6,09	4,45
9	9,14	44	9,02	9	6,15	4,42
10	10,95	45	9,14	10	6,10	5,11
11	9,16	46	9,02	11	6,55	6,00
12	8,75	47	10,40	12	5,40	6,08
13	9,24	48	9,63	13	4,33	5,34
14	8,31	49	9,14	14	5,63	5,78
15	9,99	50	8,67	15	5,81	6,20
16	9,02	51	9,83	16	4,69	4,56
17	11,51	52	9,43	17	5,03	6,21
18	9,52	53	9,75	18	5,54	4,03
19	9,90	54	9,40	19	5,11	3,67
20	11,27	55	9,45	20	5,00	4,48
21	10,03	56	9,05	21	5,00	4,78
22	10,16	57	8,76	22	5,50	4,41
23	9,92	58	9,23	23	5,33	4,85
24	10,51	59	9,57	24	5,41	4,80
25	10,61	60	9,89	25	5,63	4,54
26	9,67	61	9,08	26	5,72	5,08
27	11,88	62	9,40	27	5,91	3,65
28	9,44	63	9,71	28	5,53	4,29
29	9,69	64	9,32	29	5,92	5,17
30	9,52	65	9,56	30	5,41	4,83
31	10,89	66	8,78	31	5,23	5,37
32	10,84	67	10,22	32	6,23	5,63
33	11,58	68	8,19	33	4,32	5,16
34	9,14	69	12,22			
35	9,95	70	10,88			

Naměřené hodnoty pracoviště č. 115:

Měření	Činnost pracoviště 115	Měření	Činnost pracoviště 115	Měření	Nasazení O- kroužku	Mazání přípojky(2 kusy)
1	8,00	46	7,82	1	2,57	1,80
2	7,31	47	8,53	2	2,15	1,89
3	6,76	48	8,42	3	2,40	2,31
4	9,41	49	6,88	4	2,54	2,21
5	7,80	50	6,78	5	2,61	2,06
6	7,92	51	6,26	6	2,87	2,21
7	6,64	52	10,90	7	2,39	2,15
8	9,85	53	6,62	8	2,97	1,81
9	6,62	54	7,05	9	2,29	1,90
10	5,92	55	8,62	10	2,04	2,21
11	8,01	56	8,74	11	2,27	2,15
12	7,32	57	8,76	12	2,42	2,06
13	5,94	58	9,38	13	2,06	2,31
14	5,34	59	7,47	14	2,31	2,15
15	5,53	60	6,94	15	2,26	2,22
16	6,85	61	5,70	16	2,80	2,05
17	6,47	62	5,73	17	2,23	2,30
18	9,24	63	7,95	18	2,35	1,85
19	8,30	64	7,46	19	2,29	2,04
20	6,78	65	6,29	20	2,97	2,21
21	7,23	66	5,75	21	2,62	
22	7,41	67	9,50	22	2,13	
23	6,66	68	7,06	23	2,07	
24	9,68	69	7,79	24	2,54	
25	7,01	70	7,66	25	2,37	
26	7,32	71	7,09	26	2,25	
27	8,34			27	2,44	
28	7,56			28	2,50	
29	9,75			29	1,96	
30	8,74			30	2,59	
31	7,81			31	2,07	
32	9,41			32	2,05	
33	7,14			33	2,10	
34	8,63			34	2,59	
35	9,80			35	2,42	
36	14,05			36	1,91	
37	7,53			37	2,97	
38	8,86			38	2,06	
39	8,14			39	2,93	
40	9,11			40	2,20	
41	5,96			41	1,96	
42	7,85			42	2,74	
43	7,47			43	2,53	
44	10,32			44	2,94	
45	8,05			45	2,85	

Naměřené hodnoty pracoviště č. 121:

Měření	Činnost pracoviště 121	Měření	Činnost pracoviště 121
1	11,58	45	12,23
2	12,55	46	13,75
3	11,76	47	13,35
4	13,16	48	15,22
5	11,79	49	12,25
6	12,33	50	12,83
7	11,93	51	11,98
8	13,6	52	12,45
9	11,71	53	12,32
10	12,45	54	13,11
11	11,3	55	12,27
12	12,22	56	11,84
13	13,55	57	12,36
14	14,93	58	14,05
15	14,48	59	12,56
16	13,52	60	13,09
17	13,05	61	12,26
18	13,22	62	12,78
19	13,62	63	13,59
20	14,09	64	16,86
21	15,36	65	12,66
22	12,01	66	13,34
23	13,49	67	12,67
24	13,25	68	12,05
25	15,27	69	12,68
26	15,12	70	16,22
27	13,28	71	13,23
28	14,82	72	13,02
29	13,01	73	12,44
30	13,7	74	16,55
31	12,45	75	16,48
32	15,56	76	13,32
33	15,53	77	12,95
34	11,41	78	13,56
35	12,39	79	13,94
36	14,37	80	13,46
37	14,78	81	14,04
38	13,65	82	13,38
39	14,06	83	12,3
40	13,7	84	16,08
41	13,67	85	13,08
42	15,34	86	12,97
43	13,76	87	13,28
44	14,89	88	13,29