

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

Bakalářská práce

Balancování výrobní linky

Autor: **Adam Peteřík**

Vedoucí práce: **Ing. Antonín Miller, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Antonínu Millerovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během psaní této práce.

Děkuji také Ing. Josefovi Kočímu, za ochotu, rady a zkušenosti při vypracovávání praktické části práce.

Děkuji také rodinným příslušníkům, za pomoc při gramatické korektuře textu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Peteřík	Jméno Adam	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojní inženýrství“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Miller, Ph.D.	Jméno Antonín	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Balancování výrobní linky		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	73	TEXTOVÁ ČÁST	63	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce se zabývá problematikou balancování výrobních linek a jejím cílem je nastudovat problematiku štíhlé výroby, popsat důležité metody průmyslového inženýrství, které zeštíhlování výroby napomáhají. Dále je věnována značná pozornost metodám na měření času operací. V praktické části je vybalancována jedna konkrétní výrobní linka. Nejprve je provedena analýza vytíženosti linky v původním stavu a ověření naměřených časů metodou MOST. Poté jsou navrženy změny, po kterých je provedena další analýza a další ověření. Naměřené časy a časy analyzované metodou MOST jsou porovnány a je vypočítána jejich průměrná procentuální odchylka. Závěrem je provedeno vyčíslení provedených změn na lince.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Balancování, výroba, výrobní linka, štíhlá výroba, lean management, zlepšování</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Peteřík	Name Adam	
FIELD OF STUDY	B2301 „Mechanical Engineering“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Miller, Ph.D.	Name Antonín	
INSTITUTION	ZČU – FST – KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Balancing of a production line		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	73	TEXT PART	63	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis is about balancing of production lines and the goals of this theses are, to study the lean manufacturing issue, to describe important industrial engineering methods which are helping with lean manufacturing. The stress is putted on methods which are analyzing the condition of production lines from the point of work rationalization. Significant attention is paid to methods, which are measuring length of manufacturing or assembling operations. In the practical part the goal is to balance a concrete production line and reach time and work savings. The measured times are compared to times analyzed with the MOST method.</p>
KEY WORDS	Balancing, production, production line, lean manufacturing, lean management, improvements

Obsah

Úvod.....	8
1 Štíhlý podnik	9
2 Popis metod průmyslového inženýrství používaných v průmyslovém podniku.....	11
2.1 PDCA.....	11
2.2 Just-in-time	12
2.3 KANBAN	12
2.4 Milkrun	13
2.5 VSM.....	14
2.6 TQM	14
2.7 Business Process Reengineering	15
2.8 TOC	15
2.9 FMEA	15
2.10 TPM	16
2.11 JIDOKA	16
2.12 Poka Yoke.....	17
2.13 SMED	17
2.14 Kaizen	18
2.15 Standardized Work.....	20
2.16 Shrnutí.....	21
3 Současné metody měření času a taktování výrobních linek.....	22
3.1 Počítačová simulace procesu	22
3.2 MTM.....	25
3.3 MOST	30
3.4 Chronometráž	32
4 Stručná charakteristika společnosti	34
5 Popis původního stavu linky	35
5.1 Technologický postup výroby	35
5.2 Původní stav linky	36
5.3 Cykly jednotlivých operátorů	37
6 Srovnání výsledků naměřených časů a metody MOST	42
6.1 Analýza cyklu prvního operátora	42
6.2 Analýza cyklu druhého operátora.....	43
6.3 Analýza cyklu třetího operátora	44
6.4 Srovnání časů analyzovaných metodou MOST a časů získaných chronometráží.....	44
7 Návrh přestavby linky a vyčíslení efektů provedených změn.....	45

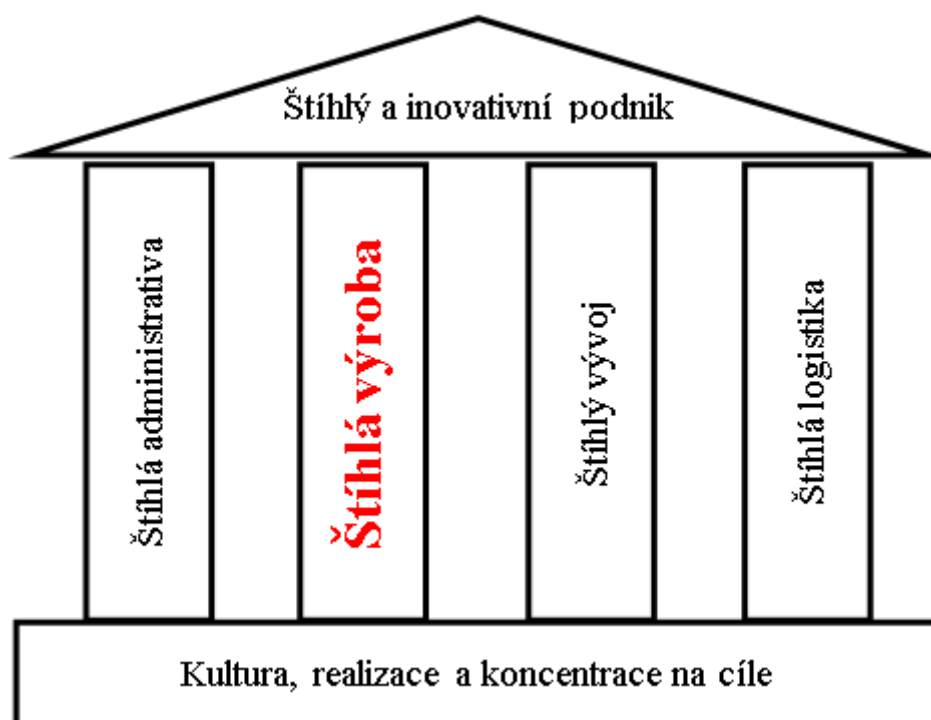
7.1	Návrh layoutu linky	45
7.2	Analýza vytížení linky po změně	47
8	Srovnání výsledků naměřených časů a metody MOST po provedených změnách.....	52
9	Vyčíslení změn	54
	Závěr.....	56
	Seznam použité literatury.....	57
	Seznam obrázků	59
	Seznam tabulek	60
	Seznam příloh.....	61

Úvod

Doba tržního hospodářství, kdy má zákazník při výběru jakéhokoliv produktu možnost zvolit si firmu, která produkt vyrábí, vytváří silné konkurenční prostředí. Konkurence je pro zákazníka, tak i pro lidstvo samotné výborná věc, která nutí podniky inovovat, vytvářet nové věci a také zvyšovat kvalitu a rychlost služeb. Aby byl tedy podnik konkurenceschopný, musí se tohoto trendu držet, jinak začne stagnovat a postupně upadat. K tomu, aby podnik, v případě této práce podnik výrobní, mohl zvyšovat kvalitu a rychlost služeb, musí využít různých nástrojů a metod, které mu nabízí průmyslové inženýrství. Takový podnik musí být štíhlý, tedy neplýtvat a spořit časem, místem, lidskými zdroji atd. Balancování výrobní linky slouží právě k eliminaci plýtvání časem, místem a lidskými zdroji ve výrobě. Tato metoda lze ovšem použít pouze u výroby sériové, či hromadné a je hlavním tématem této práce.

1 Štíhlý podnik

Jak již bylo zmíněno v úvodu, zjišťování úzkých míst ve výrobě měřením výrobních časů a efektivity výroby je jednou z mnoha metod průmyslového inženýrství, které jsou podrobněji rozebrány v kapitole 3. Zvýšení efektivity a snížení plýtvání je krokem ke štíhlému podniku. Aby mohl být tento pojem blíže vysvětlen, musí být nejdříve definován samotný podnik. Podle §5 obchodního zákoníku je podnik definován: „*Podnikem se pro účely tohoto zákona rozumí soubor hmotných, jakož i osobních a nehmotných složek podnikání. K podniku náleží věci, práva a jiné majetkové hodnoty, které patří podnikateli a slouží k provozování podniku nebo vzhledem k své povaze mají tomuto účelu sloužit.*“ [7] Cílem podniku je vydělávání peněz uspokojováním poptávaných potřeb zákazníka, a to platí ve všech odvětvích. Podniků ve všech odvětvích je ale mnoho a úspěšnější je ten, který dokáže potřeby zákazníka uspokojit kvalitněji, rychleji a za co nejlepší cenu. Tomu dopomáhá právě filozofie štíhlého podniku. Tato práce se zabývá podnikem výrobním, bude se tedy hovořit o štíhlém výrobním podniku. „*Štíhlost je o zvyšování výkonnosti firmy tím, že na dané ploše dokážeme vyprodukovat víc než konkurenti, že v daném čase vyřídíme víc objednávek, že na jednotlivé podnikové procesy a činnosti spotřebujeme méně času.*“ [4] Ve štíhlém podniku se uplatňuje štíhlý management (lean management), štíhlá administrativa, štíhlý vývoj, štíhlá logistika a štíhlá výroba. Tato práce se zaměřuje především na štíhlou výrobu. [4]



Obrázek 1-1 Pilíře štíhlého podniku [19]

Při výrobě dochází k transformaci, přidávání hodnoty vstupním zdrojům, ať už jsou materiální, lidské, informační nebo finanční na produkt, který je předmětem podnikání. K transformaci dochází použitím po sobě jdoucích technologických operací. Výrobu lze rozdělit na kusovou, hromadnou a sériovou, o které bude v této práci řeč. Sériová výroba vyrábí dávky stejných výrobků o větším či menším počtu. Dávky se vyrábí s určitou pravidelností. Plánování výroby výrobních dávek určuje požadavek zákazníka. Plánuje se výhledově na 1 rok, dále jsou pak 3měsíční výrobní plány, měsíční a ty se dále dělí na týdenní, které samozřejmě nejvíce odpovídají realitě, jelikož požadavky zákazníka se mohou během roku kdykoliv více či méně

změnit. K sériové výrobě dochází ve výrobním podniku ve výrobní hale, kde jsou stroje uspořádány buďto technologicky, nebo předmětně. Tato práce se zabývá balancováním výrobní linky, což je typ předmětného uspořádání strojů ve výrobní hale, kdy jsou stroje/technologie, které transformují vstupní materiály ve výrobek, uspořádány v přesném sledu za sebou. Linky mají různé tvary, mohou být uspořádány rovně, do L nebo jakkoliv jinak, tak, aby to bylo z logistického hlediska a z dispozičních možností výrobní haly co nejvýhodnější. Na linkách probíhá výroba většinou způsobem toku jednoho kusu (one piece flow), který je nejproduktivnější.

Uplatnit filosofii štíhlého podniku na výrobu a zvýšit tím její produktivitu a efektivitu znamená především eliminovat plýtvání. „*Štíhlá výroba je filozofie, která usiluje o zkrácení času mezi zákazníkem a dodavatelem eliminací plýtvání v řetězci mezi nimi.*“ [4] Existuje mnoho druhů plýtvání ve výrobě, plýtvání z nadvýroby, skladováním, komplikovanou přepravou, čekáním. A odstranění plýtvání je úkolem průmyslového inženýrství, viz kapitola 2.

2 Popis metod průmyslového inženýrství používaných v průmyslovém podniku

Průmyslové inženýrství je nejnovější interdisciplinární obor, jehož úkolem je zefektivnit výrobu a zvýšit tím produktivitu celého podniku. Průmyslové inženýrství je o neustálém zlepšování podniku.[6] A proč je žádoucí neustále zlepšovat podnik a všechny procesy v něm? Kvůli konkurenčnímu boji, který je stále o zlepšování, zkvalitňování a zrychlování výroby. Jakmile podnik zaspí dobu, dostatečně neinovuje, začne klesat jeho výkonnost a konkurenceschopnost. Výrobní podnik nesmí stagnovat nebo se dostat do úpadku, to znamená rychlý krach. Metod průmyslového inženýrství je nespočet a dají rozdělit do čtyř kategorií: inovace a zlepšování, plánování a řízení, uplatňování lidského potenciálu, projektování. Průmyslové inženýrství je koncept štíhlého podniku, který se dělí, viz kapitola 1 Štíhlý podnik. Dále následuje popis metod průmyslového inženýrství, které jsou z mého pohledu nejdůležitější:

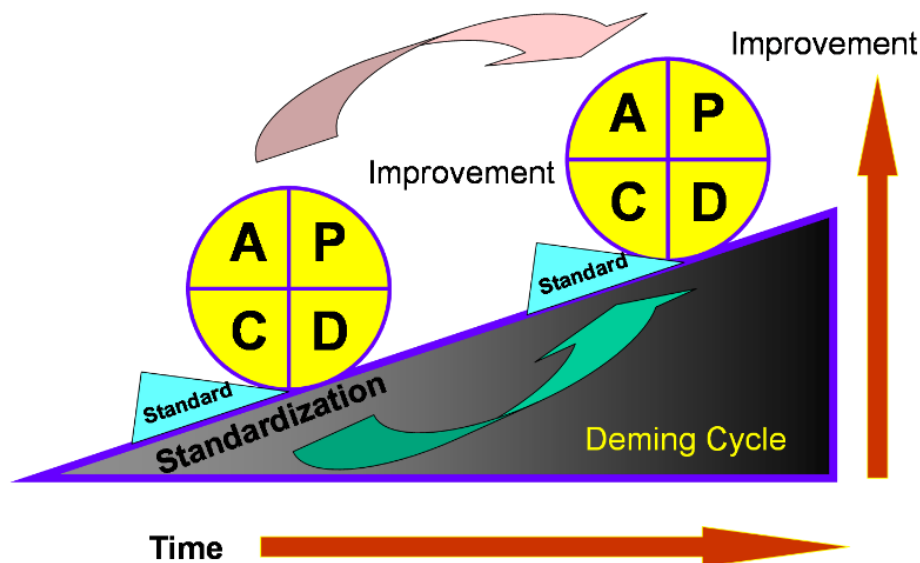
- PDCA
- Just-in-time
- KANBAN
- Milkrun
- VSM
- TQM
- Business Process Reengineering
- TOC
- FMEA
- TPM
- JIDOKA
- Poka Yoke
- SMED

Pro samotné balancování výrobní linky jsou dle mého názoru nejdůležitější metody:

- Kaizen
- Standardized Work.

2.1 PDCA

Plan Do Check Act, nebo také Demingův cyklus, je metodou kontinuálního zlepšování ve firmě. Například zlepšování kvality, procesů, apod. V překladu to znamená: naplánuj, proved', ověř, jednej. Na vodorovné ose je plynoucí čas a svislá osa je osou zlepšování. PDCA cyklus vede k neustálému zlepšování a po každé změně k lepšímu (po každém cyklu) by se měla stát tato změna standardem.[8] Krokem Plan se rozumí naplánovat změnu, stanovit cíle zlepšení v podniku. Naplánovat přesný postup provedení zlepšení, všechny po sobě jdoucí konkrétní úkony a rozdat úkoly příčinným pracovníkům. Krok Do znamená provést změnu, implementovat ji a sbírat při tom všechna důležitá data. Krokem Check se ověří její výsledky, nasbíraná data se analyzují a nejlépe se ještě převedou do grafické podoby pro snazší pochopení. Krokem Act zaved' tuto změnu ve standard, pokud jsou její výsledky vyhovující, nebo navrhní změnu jinou, pokud jsou její výsledky nevyhovující.[2]



www.totalqualitymanagement.wordpress.com

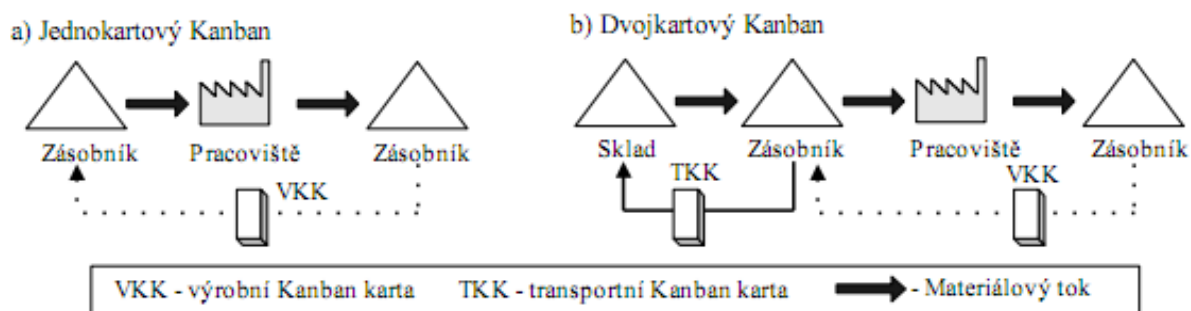
Obrázek 2-1 PDCA cyklus [11]

2.2 Just-in-time

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, je Just-in-time jedním ze dvou základních pilířů štíhlé výroby. Je to opět metoda, která se snaží eliminovat plýtvání, zapříčiněné hlavně nadvýrobou, zbytečnými zásobami, čekáním a dopravou. Princip je jednoduchý – vyrobit přesné množství dílů v požadované kvalitě, které budou vyrobeny v čase, který bude těsně navazovat na čas přepravy a poté na čas dalšího zpracování tohoto dílu. Příklad: automobilka začíná produkci konkrétního motoru v úterý v 10:00 hod., přeprava pístní sady od dodavatele trvá hodinu a půl, to znamená, že dodavatel musí vyrobit dávku pístních sad do 8:30 hod. tak, aby se dávka rovnou naložila na kamion a odvezla automobilce bez meziskladování. Výhodou systému je úspora místa (nemusí se vytvářet překladiště) a zkrácení cyklu výroby. Nevýhodou může být nastávající situace: při přepravě se porouchá kamion a dodávka dílů odběrateli se zpozdí, tím pádem odběrateli stojí celá výroba, což je pro něj enormně ztrátové.[2]

2.3 KANBAN

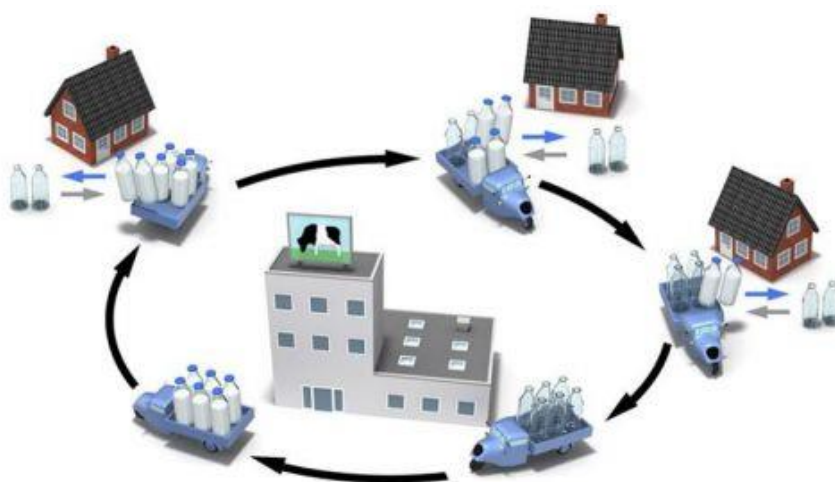
Kanban znamená v japonštině doslova cedule a byl zaveden poprvé panem Taiichi Ohnem ve firmě Toyota. Systém je převzatý z obyčejného supermarketu, kdy je na skladě pouze zboží, o kterém se ví, že je nejžádanější a permanentně se prodává. Poté když zboží již skoro dojde, je pracovníkem doplněno do regálu. Celý systém je postavený na poptávce zákazníka neboli na takzvaném tahovém systému. Ve výrobním podniku je zákazníkem výrobní linka, která potřebuje materiál (zboží), se kterým se často nakládá a je vyrobeno jinou linkou (dodavatelem) nebo nakupováno. Systémem KANBAN je docíleno redukování zásob jen na ty potřebné a je zamezeno situaci, kdy další lince dojde materiál a nemůže vyrábět. Toho je docíleno zlepšením komunikace mezi linkami, a to především vizuálním managementem.[2] V praxi to funguje tím způsobem, že v supermarketu, což je vlastně malá zásoba materiálu na lince, je tabule se štítky (kanbanovými kartami), které určují přesný počet materiálu, například 1 přepravka = 1 kanbanová karta. Pokaždé, když pracovník vezme přepravku s materiálem, odloží z ní kanbanovou kartu na tabuli. Když kartičky dosáhnou určitého předem domluveného počtu, je to jasný signál pro dodavatele, že má začít vyrábět materiál.



Obrázek 2-2 Vizualizace jednokartového a dvoukartového systému KANBAN [2]

2.4 Milkrun

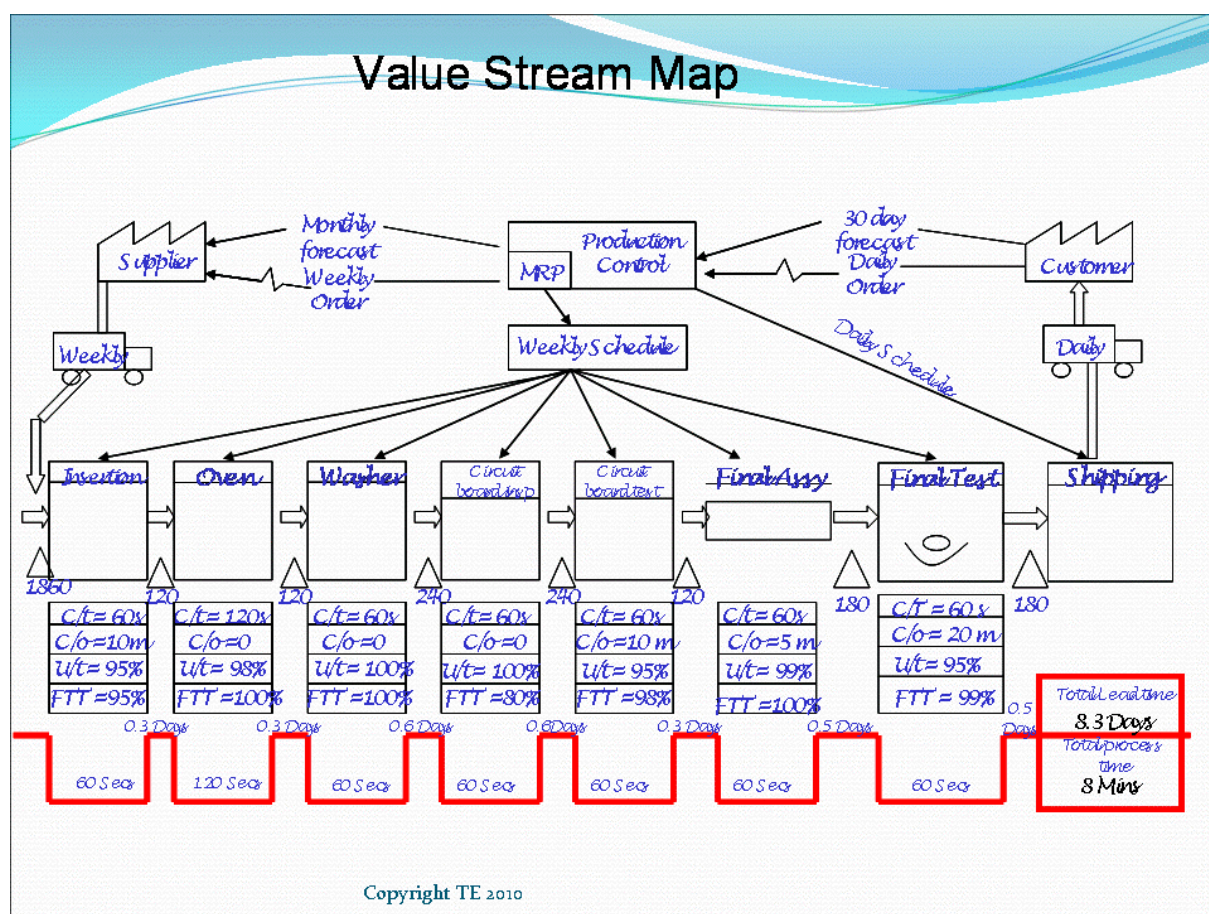
Metoda Milkrun funguje ve většině výrobních podniků, zaměřujících se na sériovou nebo hromadnou výrobu, a je velice podobná například městské hromadné dopravě nebo mlékařským vozům v Americe, odkud pramení také její název. Metoda spočívá v tom, že supermarket (malé sklady materiálu na lince) jsou doplňovány v přesných intervalech a vláčky, které rozváží materiál, mají přesně naplánovanou opakující se trasu mezi skladem a jednotlivými linkami většinou v hodinových intervalech. Když vláček dojede k lince, operátor naloží prázdné přepravníky a vymění je za plné. Výhoda této metody tkví v eliminaci zásob, a tedy v úspoře místa. Milkrun však není jen záležitost interní logistiky v podniku, ale stejným principem se zaváží materiálem i celé závody, tyto trasy se samozřejmě nejezdí v hodinových intervalech, ale například v denních nebo půldenních.[2]



Obrázek 2-3 Milkrun cyklus [12]

2.5 VSM

Další metodou průmyslového inženýrství je VSM, zkratka pro Value Stream Mapping, v překladu mapování toku hodnot. Touto metodou lze zjistit, kolik procent času, který stráví materiál ve výrobní hale, je mu přidávána hodnota. A to od doby, kdy je materiál zavezen dodavatelem, až po opuštění haly jako hotový výrobek. Operace, které materiálu přidávají hodnotu, jsou všechny technologické operace (obrábění, svařování, vrtání apod.) a montáž. Všechny ostatní časy, kdy materiál jen leží ve skladu nebo je přepravován, nepřidávají žádnou hodnotu. Ve většině případů je materiálu přidávána hodnota jen maximálně v 1 % času. Tato metoda tok materiálu graficky znázorňuje a na jejím základě se dají snadno odhalit bottlenecky neboli úzká místa. Snížení procent času, který nepřidává žádnou hodnotu hodně napomáhá Just-in-time a One-piece-flow.



Obrázek 2-4 Value Stream Mapa [13]

2.6 TQM

Total Quality Management je další z metod pro všestranné zlepšování podniku, jak po stránce kvality, tak po stránce spokojenosti pracovníků, podnikatelů a zákazníků. Metoda se zakládá na systému 7S. Těmi sedmi S jsou: Strategie společnosti, Systémy, Struktura organizačních vazeb, Styl vedení pracovníků, Spolupráce jednotlivých složek a Schopnosti pracovníků.[6]

2.7 Business Process Reengineering

Business Process Reengineering zavádí radikální změny v podniku. Nejedná se o nástroj kontinuálního zlepšování, ale takzvaného diskontinuálního zlepšování, tedy momentálního jednorázového zlepšení. Jedná se o totální přepracování koncepce podniku nebo technologií, které pomůže dramaticky ke zlepšení kvality a produktivity podniku. Tato metoda se používá v případě, že podnik již ztratil konkurenceschopnost, ztrácí podíl na trhu a potýká se s problémy, ať již kvalitativními, personálními nebo finančními.[6]

2.8 TOC

Theory of Constraints neboli teorie omezení, pomáhá identifikovat slabá místa v podniku neboli bottlenecky. Bottleneck je v překladu hrdlo láhve a je metaforou pro úzké místo v podniku. Je zřejmé, že řetěz je pouze tak pevný, jako jeho nejslabší článek a to platí i v jakémkoliv podniku. Pro výrobní podnik to může být například problémová technologie ve výrobní lince, technologie může být nespolehlivá a kvůli každé poruše se zastaví celá linka. Teorie omezení říká, jakým způsobem bottlenecky identifikovat a jak s nimi dále pracovat. Celý postup se rozděluje dle [6] do pěti kroků:

1. identifikace omezení systému
2. maximální využití omezení
3. podřízení všeho v organizaci omezení
4. rozšíření omezení
5. návrat do prvního bodu

2.9 FMEA

Failure Mode and Effect Analysis je volně přeloženo analýza možností vzniku vad a jejich následků. Tato metoda nachází využití při návrhu nového výrobku nebo procesu. Při zavádění se kladou otázky typu: V čem by mohla mít tato technologie slabé místo? Jaké jsou potenciální potíže při výrobě? Jak tomu předejít? Metoda se zaměřuje na tři vývojové fáze produktu: konstrukci, výrobu a systém. Již při konstrukci bychom měli identifikovat potenciální závady a problémy při výrobě na základě empirické zkušenosti konstruktérů a přizpůsobit tomu design a výrobní postupy. Ve výrobě se tato metoda zaměřuje též na výrobní procesy, jejich slabá místa a závady, to vše z důvodu nevyhovění konstrukčnímu záměru. FMEA obsahuje dle [6] šest obecných kroků:

1. Určit rozsah a procesy, které budou analyzovány
2. Určit možné závady
3. Určit priority, které závady jsou vážnější a na ty se poté více soustředit
4. Navrhnout opatření, která budou pro případ poruchy připraveny
5. Sledovat tuto problematiku a aktualizovat dokumentaci
6. Dokumentovat procesy a zpřístupnit materiály i pro budoucí týmy

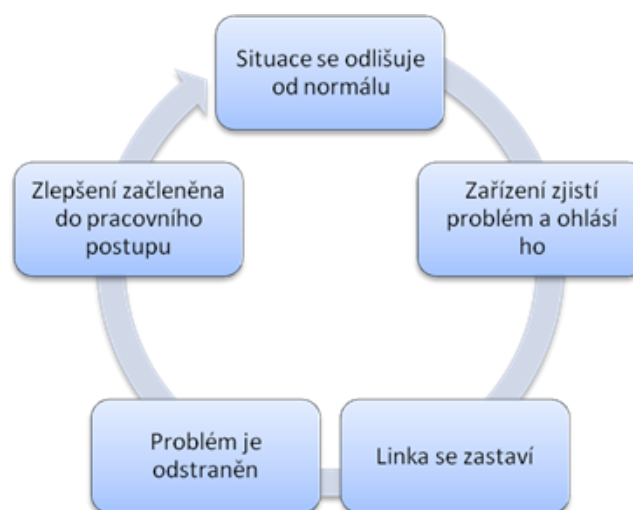
2.10 TPM

Total Productive Maintenance je další z metod řízení podniku, která podnik vede ke zlepšování procesů. Metoda se zabývá údržbou výrobních prostor a strojů. Pracovníci sami se stávají nástrojem této metody a tento stav se nazývá „autonomní údržba“. TPM stojí dle [6] na pěti opěrných sloupech:

- I. Vytvořit aktivity, které vedou ke zvýšení účinnosti procesů tím, že se minimalizují ztráty způsobené poruchou, nastavováním a seřizováním, prostoji, chybami, snížením rychlosti, při náběhu.
- II. Vytvořit systém autonomní údržby, který se skládá ze sedmi kroků:
 1. Odstranit prach a nečistot
 2. Odstranit zdroje nečistot, zlepšit přístup na místa, která se špatně udržují a snížit časy údržby
 3. Určit časové normy na čištění a údržbu
 4. Zavést trénink kontrolních dovedností na stroji
 5. Zavést kontrolní list autonomní údržby
 6. Vytvořit standard pro údržbu, zvýšit efektivitu a bezpečnost práce, zvýšit kvalitu výrobků
 7. Stanovit dlouhodobé cíle a neustále zlepšovat. Sbírat data z progresu a analyzovat je
- III. Zavést plánovací systém preventivní údržby
- IV. Vytvořit kurz pro přípravu pracovníků pro lepší údržbu a větší připravenost
- V. Zavést preventivní údržbu již na začátku výroby

2.11 JIDOKA

JIDOKA je další metodou k eliminaci plýtvání ve výrobě. JIDOKA a Just-in-time tvoří hlavní pilíře štíhlé výroby, které jsou blíže popsány v kapitole 1. Systém JIDOKA zajišťuje kvalitu procesů, a to tím způsobem, že se snaží eliminovat jakékoliv chyby a nepřesnosti ve výrobě. Pokaždé když nastane nečekaná situace, objeví se chyba, zastaví se výroba. Chybou se rozumí porucha stroje, chyba operátora, nedodržení přesného postupu, vadný materiál apod. Chybu většinou rozpozná sám stroj, který má k tomuto účelu speciálně zabudovaný mechanismus a výstražný systém. Při detekci chyby se například rozsvítí červené světlo, zazní výstražný signál apod. Na pracovnících je již chybu analyzovat, vyřešit a přijmout opatření k zamezení jejího dalšího výskytu.[2]



Obrázek 2-5 JIDOKA cyklus [2]

2.12 Poka Yoke

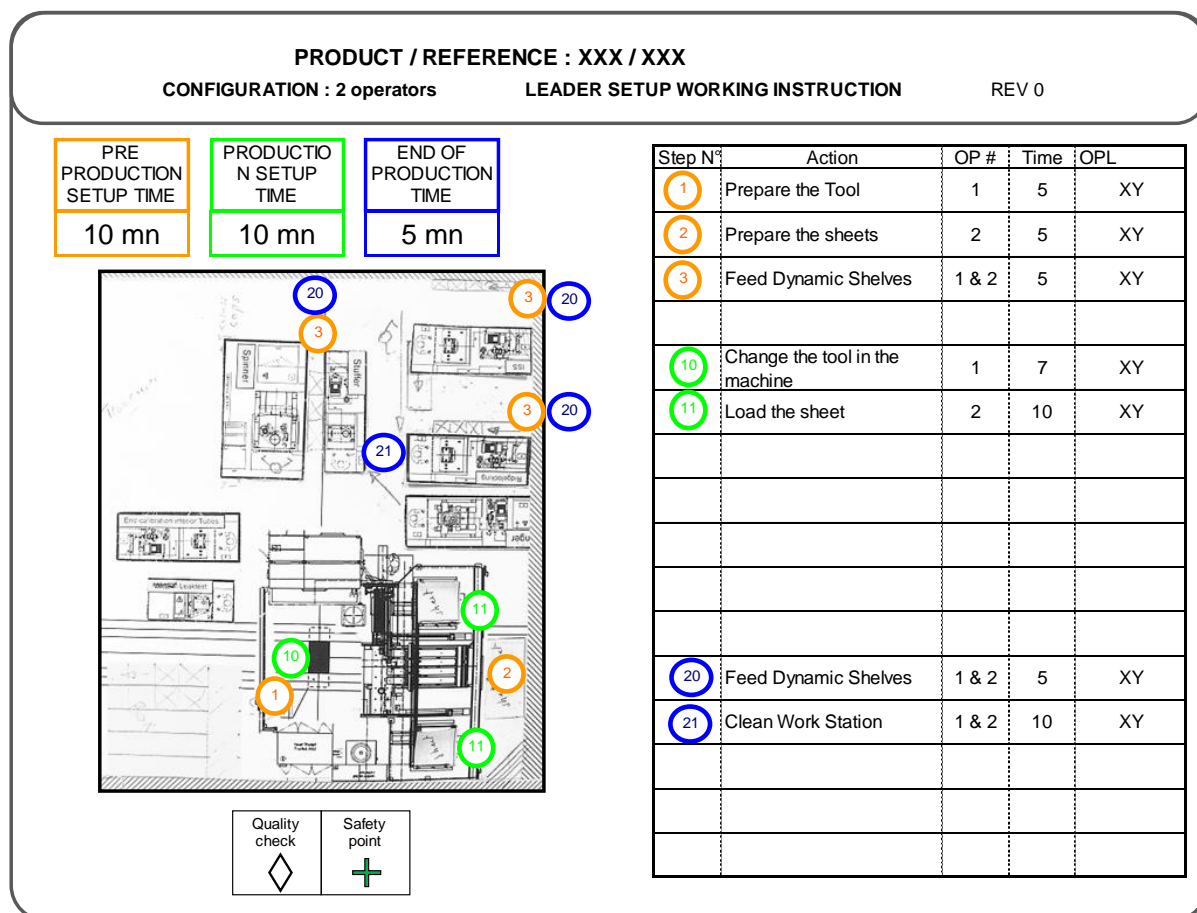
Poka Yoke je metodou pro snížení zmetkovitosti výroby. Jedná se o opatření, které velice jednoduše a efektivně zbraňuje například špatné montáži dílů dohromady. S metodou Poka Yoke se můžeme setkat i při běžné činnosti, jako je například tankování automobilu. Hubice hadice pro tankování benzínu je zřetelně užší než hubice pro tankování motorové nafty. Toto opatření slouží k tomu, aby nebylo možné do auta s benzínovým motorem natankovat naftu, která by okamžitě zničila motor. Opačně to možné je, následky ale nejsou pro naftový motor tak destruktivní. Jedná se tedy o opatření, která využívají hlavně tvarové nebo barevné podobnosti, nemají však žádný funkční význam. Dále mohou stroje při nedodržení přesného pracovního postupu vydat zvukový signál nebo zastavit výrobu. Důležité je identifikovat chyby včas a provést patřičné opatření.[2]

2.13 SMED

SMED znamená Single Minute Exchange of Die, v překladu výměna nástroje během jedné minuty. Mezi výrobními dávkami různých referencí na jedné lince musí dojít k výměně nástrojů v robotech, na pracovišti a k seřízení strojů. Tento proces zabere mnoho času a tím pádem stojí i hodně peněz, protože na lince se nic nevyrábí. Výměna nástroje se dá rozdělit na interní a externí operace. Interní operace znamená, že seřízení stroje lze provést pouze pokud je stroj zastaven a tedy nevyrábí, externí operaci lze provést i při chodu stroje, například si připravit nástroj do blízkosti a podobně. Metoda SMED má dle [2] čtyři základní kroky:

1. Analýza interních a externích činností
2. Oddělení interních a externích činností
3. Přesun interních činností na externí
4. Zlepšování interních a externích činností

Pro výměnu nástrojů lze vytvořit standard, kterého se musí držet všichni pracovníci linky, tento standard může vypadat takto:



Obrázek 2-6 Návod na výměnu nástroje pro operátora [interní dokumentace Bosal]

2.14 Kaizen

Kaizen je strategie, která vznikla v Japonsku a jedná se o strategii neustálého zlepšování, je to „nejdůležitější pojem japonského managementu“ [3]. Kaizen je způsob myšlení, až styl života. „Kaizen je strategií zdokonalení, jejíž hnacím motorem jsou potřeby zákazníka“ [3]. Kaizen je filozofií, která učí lidi zdokonalovat vše kolem sebe, jak v práci, tak v soukromém životě. Neustále se kolem sebe dívat, vylepšovat, měnit k lepšímu, a hlavně neusnout na vavřínech. Tato filozofie se japonským firmám vyplatila. Kaizen využívá několika konkrétních nástrojů ke zlepšování procesů v podniku. Tři základní jsou 5S, Vizualní management a Management minimalizace ztrát. [6]

Dle mého názoru jsou pro zlepšování procesů na výrobní lince důležité právě metody 5S, Vizualní management, dále popsané metody SMED, Standardized Work a metody měření času v kapitole 4.

5S

Nástroj 5S se zaměřuje na základní optimalizaci pracoviště, aby bylo co nejbezpečnější, nejprůhlednější a výhodné z hlediska materiálového toku. Proč využít 5S? Prvním a hlavním bodem je bezpečnost, dále je to první krok k dokonalosti. Tento nástroj odhalí plýtvání, a to hlavně prostorem, zlepšuje materiálový tok a je velmi levný, ačkoliv má na výrobní proces velký vliv. 5S je zkratka pěti Japonských slov: Seiri – rozřídí, Seiton – udělej pořádek, Seiso – uklidí, Seiketsu – uveď tento stav ve standard, Shitsuke – udržuj tento stav.[6] 5S jednoduše udržuje pořádek na pracovišti, což má pozitivní vliv na čas výroby, předchází se totiž plýtvání časem při hledání nářadí apod., má pozitivní vliv na kvalitu výroby a celkovou spokojenost pracovníka v práci. Ve výrobních podnicích probíhají také takzvané 5S audity, kdy je například každý týden namátkově vybrána jedna linka a auditor na ní hodnotí, jak dokonale mají 5S zvládnuté, jak je linka uklizená. Na základě tohoto auditu se přistoupí k opatření, která vedou ke zlepšení stavu na lince. Nejlépe vystihne 5S obrázek.



Obrázek 2-7 Stav před 5S vlevo a stav po zavedení 5S vpravo [14]

Vizuální management

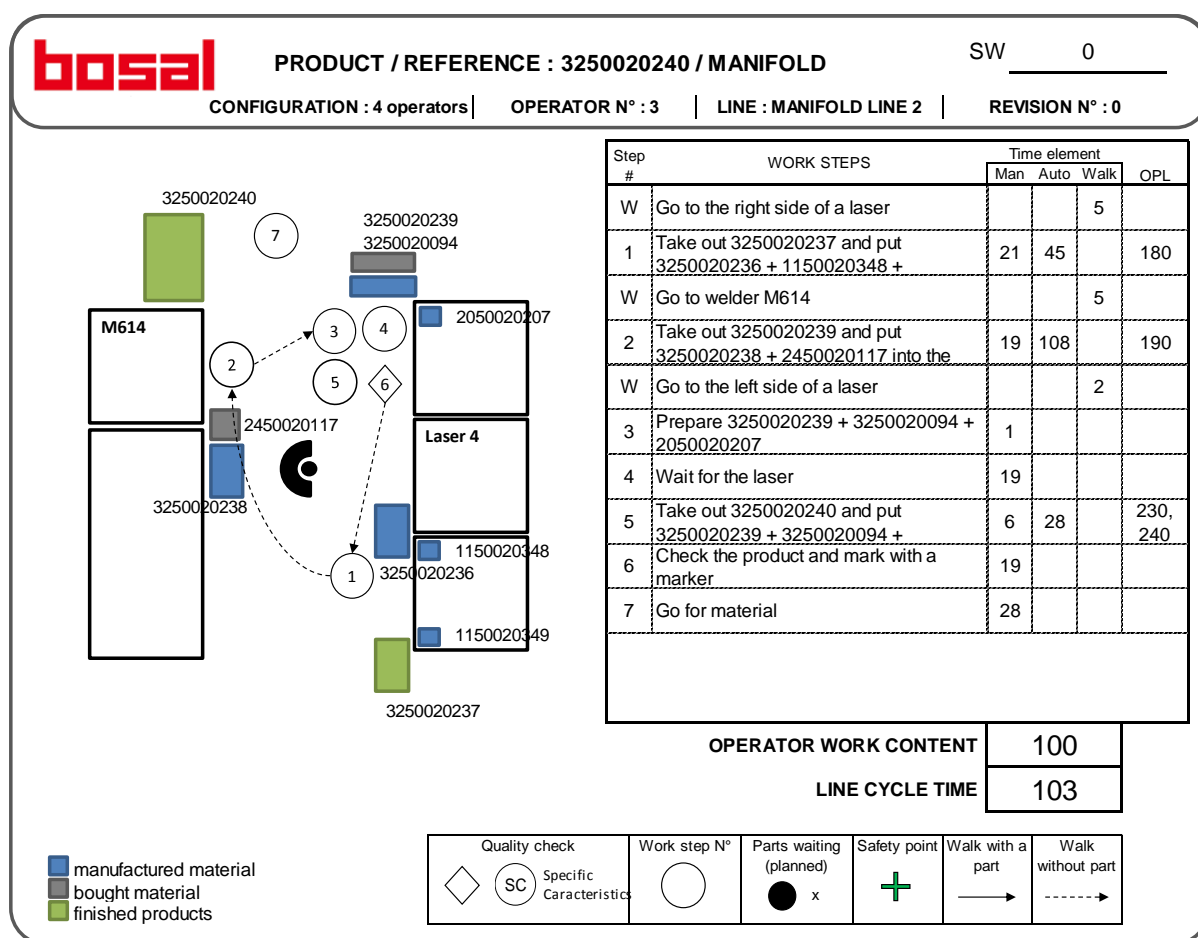
Vizuální management zajišťuje rychlé rozpoznání pracoviště na první pohled, ať už výrobního, tak kancelářského. Na pracovišti jsou důležitá místa označena barevnými linkami na podlaze, na stěnách apod., které určují přesnou polohu, kde má například stát regál, bedna s materiálem apod. Napomáhá to rychlé orientaci na pracovišti a pořádku.[6] To znamená, že když například používám nějaký nástroj, vrátím ho na to samé místo, odkud jsem ho vzal, které je označené barevným obrysem. To znamená, že tam ten samý nástroj zase vždy najdu.



Obrázek 2-8 Vizuální management použitý pro krabičky na stole [15]

2.15 Standardized Work

Standardized Work neboli standardizace práce je hlavním tématem této bakalářské práce. Standardizace práce se využívá ve výrobním podniku k balancování operátorů na výrobních linkách. Jejím úkolem je nalézt standard výroby neboli přesný sled operací, který musí na lince dodržovat každý operátor. Tento standard by měl být zaveden tak, aby byl čas výroby co nejmenší, kvalita co největší a aby byl každý operátor na lince stejně vytížený. Standard redukuje variabilitu výrobních postupů, která je nežádoucí. Výstupem standardizace práce je takzvaný „spaghetti diagram“, který slouží operátorům a novým operátorům rychle se zorientovat v pracovním prostředí a dát jim návod krok za krokem, jaká operace následuje druhou. Tento diagram je také nástrojem managementu výrobní plochy, ukazuje, jestli procesy na lince fungují normálně (standardně) nebo abnormálně.



Obrázek 2-9 Spaghetti diagram [interní dokumentace Bosal]

V diagramu lze vidět layout pracoviště, všechny stroje a přepravky s materiálem (barevné). Kroužky s čísly představují jednotlivé operace, které jsou blíže popsány v tabulce napravo. Mezi operacemi je šipkami znázorněná chůze.

Standardizace zajišťuje bezpečné pracovní prostředí, kvalitu výrobků, a hlavně odhaluje úzká místa výroby a plýtvání. Bez standardizace panuje na výrobní lince chaos, ve kterém nelze rozpoznat, kde přesně problém vězí. Se standardizací toto lze. Pro vybalancování výrobní linky nejprve potřebujeme analyzovat současný stav a pro tuto analýzu se používají různé metody měření výrobních časů, které jsou blíže popsány v kapitole 3.

Balancování linky

Vybalancovaná linka je taková linka, na které je každý operátor stejně časově vytížen. Každý operátor by měl mít stejně dlouhý cyklový čas (čas, za který vyrobí jeden výrobek). Například jakmile by jeden operátor měl o hodně kratší cyklový čas než druhý, znamená to, že stihne vyrobít více výrobků, které se před dalším operátorem začnou kupit. Problémů na nevybalancovaných linkách je ale mnohem více. Touto problematikou se bude zabývat bakalářská práce více do hloubky až v následujícím semestru.

2.16 Shrnutí

V této kapitole byly popsány důležité metody průmyslového inženýrství, z nichž nejdůležitější jsou z hlediska této práce metody Kaizen, a především Standardized Work. Metoda SMED také úzce souvisí s chodem výrobní linky, nezasahuje ovšem přímo do pracovního procesu a na samotné balancování nemá žádný vliv, proto se tato práce nebude touto metodou dále zabývat. Kaizen dopomáhá standardizovat práci a zlepšovat procesy metodami 5S a vizuálním managementem, nebude již ale dále popisován. Zato metoda Standardized Work je právě tou metodou, která přímo balancuje linku. A jak již bylo zmíněno v kapitole 2.15, je potřeba stav linky nejprve analyzovat a k tomu se používají metody měření času, které jsou popsány v kapitole 3.

3 Současné metody měření času a taktování výrobních linek

Metod pro měření času výroby na výrobních linkách je několik a tato činnost je důležitá jak pro kapacitní propočty linky, tak pro zjištění plýtvání, a to hlavně plýtvání časem. První skupinou jsou metody, které slouží k výpočtu výrobních časů ještě, než se linka spustí, tedy dříve, než výroba v podniku vůbec začne. Tyto metody jsou důležité pro kapacitní propočty, aby vedení podniku vědělo, zda linka stihne vyrábět dostatek výrobků za kýžený čas podle požadavku zákazníka. Mezi tyto metody patří Počítačová simulace procesu, metoda předem určených časů MTM a MOST. Další skupinu tvoří metoda klasické chronometráže, která se využívá v případě, že linka již vyrábí, tato metoda je velmi přesná a dokáže analyzovat vytížení jednotlivých operátorů a odhalit úzká místa na lince.

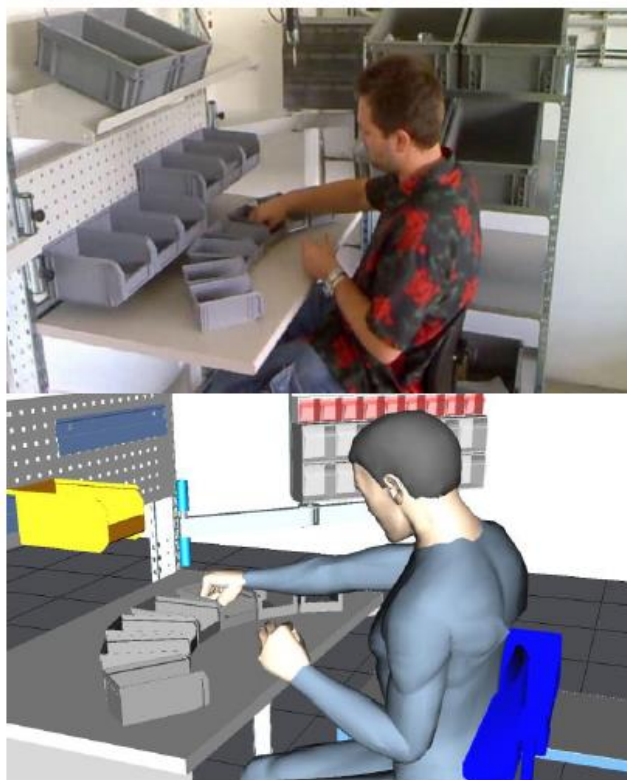
3.1 Počítačová simulace procesu

Pro počítačovou simulaci procesů se využívá řada softwarů, mezi ně patří například software Tecnomatix od společnosti Siemens, ShowFlow a podobné. V těchto programech je možné nasimulovat chod celého výrobního závodu a vypočítat výrobní časy. Tato simulace dokáže odhalit mnoho možných chyb a nedostatků, ještě, než bude výrobní závod doopravdy spuštěn nebo postaven. Počítačové simulace slouží také k plánování výroby. Když simulace vypočítá výrobní čas jednoho kusu, můžeme podle tohoto času vypočítat výrobní normy, počty směn apod. Studie EVALUATION OF OPERATIONAL TIMES BY MTM METHODS IN THE DIGITAL FACTORY ENVIROMENT z roku 2011 ukazuje experiment, který měl porovnat časy vypočítané počítačovým simulátorem Tecnomatix Process Designer od společnosti SIEMENS PLM software, časy vypočítané metodou MTM1 (více popsanou v kapitole 3.2), časy vypočítané metodou UAS a časy reálného experimentu. [17] Výsledek dopadl následovně:

Tabulka 3-1 Porovnání výsledných časů [17]

Čas operace v sekundách			
MTM1	UAS	Počítačová simulace	Reálný experiment
15,0192	16,20	16,83	17,60

Časy jsou si velmi podobné a lze tedy všechny metody považovat za velmi přesné. Studie ještě dodává, že pracovník, provádějící reálný experiment, nebyl zapracovaný. Po zapracování by se jeho čas operace jistě snížil a byl by tedy výsledkům počítačové simulace a metodám předem určených časů ještě blíže. [17]



Obrázek 3-1 Reálné pracoviště (nahore) a model pracoviště (dole) [17]

A takto může vypadat počítačová simulace celé výrobní linky:



Obrázek 3-2 Tecnomatix Process Designer [18]

Počítačové simulace jsou velmi názorné a přesné, ale jejich nevýhoda tkví ve velmi vysoké pořizovací ceně softwaru a časové náročnosti. Proto se touto metodou nebude tato práce více zabývat.

3.2 MTM

MTM je zkratka pro Methods Time Measurement, volně přeloženo jako metoda měření času. Definice této metody podle ředitele společnosti Methods Engineering Council (Pittsburg, USA) Harolda B. Maynarda zní: „*MTM je postup, při němž se manuální postupy člení do svých základních pohybů. Ke každému základnímu pohybu se přiřazuje hodnota normovaného času, která je určována ve své výši evidovanými číselnými hodnotami a třídami ovlivňujících veličin.*“ [1] Tuto metodu poprvé zavedla švédská společnost Volvo v letech 1950-1953.

Výhody této metody tkví: V jednotném výkonnostním stupni. V možnosti výpočtu časů jednotlivých operací ještě předtím, než začne samotná výroba a v možnosti přijít na úzká místa ve výrobě.

Nevýhody: Pracovníci pověřeni analýzou MTM musejí být velmi dobře zaškolení, jelikož analýza není jednoduchá a mohla by přinést nepřesné výsledky. Další nevýhodou je: „*Velká časová náročnost vypracování analýzy – uvádí se, že 1 minuta analyzovaného času představuje 1 hodinu vyhodnocování (u zkušených analytiků se čas pohybuje okolo 45 minut).*“ [1]

Časová jednotka analýzy se jmenuje TMU (Time Measurement Unit), v překladu jednotka měření času. Jednotkou je jedna sto tisícina hodiny. $1 \text{ TMU} = 0,00001 \text{ hodiny} = 0,0006 \text{ minuty} = 0,036 \text{ sekundy}$.

Metoda MTM se rozděluje na 3 různé stupně:

1. MTM-1, která je vhodná pro operace trvající do 30 sekund a jedná se o nejdetailnější metodu.
2. MTM-2, která je vhodná pro operace trvající od 30 sekund do 3 minut.
3. MTM-3, která je vhodná pro operace trvající od 3 do 30 minut.

S narůstajícím stupněm metody klesá detailnost rozboru operace. Uvádí se, že odchylka oproti ostatním stupňům metody je menší než 5 %.

Metoda MTM využívá rozdělení pohybů na pohyby ruky, očí a pohyby těla a nohou.

Tabulka 3-2 Rozdělení pohybů podle metody MTM [1]

Pohyby ruky:			
1	Sáhnout	R	reach
2	Uchopit	G	grasp
3	Přemístit	M	move
4	Spojit	P	position
5	Pustit	RL	release
6	Oddělit	D	disengage
7	Obrátit	T	turn
8	Tlačit	AP	apply pressure
Funkce zraku:			
1	Sledování pohledem	ET	eye travel
2	Pohled zaostřit (rozlišit)	EF	eye focus
Pohyby těla a nohou:			
1	Pohyb chodidla bez tlaku	FM	foot movement
2	Pohyb jedné nohy	LM	leg movement
3	Úkrok stranou	SS	side step
4	Otočení těla	TB	turn body
5	Chůze bez zátěže a překážek	W-P	walk place
6	Předklonění	B	bend
7	Vzpřímení	A	arise
8	Úklon	S	stoop
9	Klek na jedno koleno	KOK	kneel on one knee
10	Klek na obě kolena	KBK	kneel on both knees
11	Sednout	SIT	sit
12	Vstát	STD	stand

Nejvíce převládají pohyby: sáhnutí, uchopení, přemístění, spojení a pouštění, a to z 85 %. Třetí sloupec v tabulce ukazuje písmenné kódy jednotlivých pohybů, které jsou zkratkami anglických názvů těchto pohybů. Tyto kódy jsou pak na prvním místě v celém alfanumerickém zápisu pohybů. Pohyb, který analyzujeme poté, ovlivňují další veličiny jako například vzdálenost pohybu (jak daleko musím natáhnout ruku apod.) nebo hmotnost přenášeného předmětu. Podle těchto faktorů se vybere v tabulkách počet TMU.

Při provádění analýzy je důležité správně vyplnit takzvaný obouruční analytický formulář, do kterého se vynášejí alfanumerické zápisy pohybů pro každou ruku zvlášť. Postup celé analýzy se dá shrnout do pěti kroků:

1. „Rozložení operace do jednotlivých pohybů.
2. Určení veličin, které pohyb ovlivňují (vzdálenost, hmotnost součásti apod.).
3. Klasifikace pohybu a označení dle alfanumerického kódu.
4. Vyhledání příslušné časové veličiny v tabulkách.
5. Sečtení časů jednotlivých pohybů, jehož výsledkem je celkový čas operace.“ [1]

Sáhnutí

Sáhnutí lze definovat jako pohyb ruky, která sahá prázdná po nějakém předmětu nebo k nějakému místu. Symbolem je písmeno R jako zkratka anglického slova reach. Tento pohyb ovlivňují dvě veličiny:

1. Délka pohybu ruky nebo prstů měřená v centimetrech. Jedná se o trajektorii pohybu ruky. Délka trajektorie se měří od počátečního do koncového bodu. Těmito body jsou buďto střed dlaně při pohybu ruky nebo konečky prstů při jejich pohybu. Vzdálenost se zapisuje do alfanumerického kódu pohybu v centimetrech hned za písmeno R.
2. Druh pohybu. Těchto druhů je pět a závisí na míře kontroly nad pohybem.
 - A je typ sahání na předmět, který nemění svou polohu, tudíž je snadné na něj sáhnout a pohyb probíhá automaticky.
 - B je typ sahání, který s každým cyklem svou polohu změní. Například operátor, který používá šroubovák při montáži, jej po každém cyklu odloží libovolně na stůl a bere si další kus k montáži. Poté musí opět sáhnout na šroubovák, který je pokaždé trochu jinde, tento pohyb vyžaduje větší koncentraci.
 - C je typ sahání, kdy operátor musí předmět, na který sahá, nejdříve vybrat. Tento předmět musí být viditelný a musí být smísen s ostatními podobnými předměty. Nesmí ale docházet k hledání, pouze k vybírání.
 - D je typ sahání na předmět, při kterém se může operátor například poranit, musí být tedy obezřetný a velmi koncentrovaný. Tento předmět musí být velký maximálně do 3 mm, ale může být dlouhý.
 - E je typ sahání do neurčitého místa, ke kterému většinou dochází automaticky a nekontrolovaně, není tedy zapotřebí velké koncentrace. Jde například o spuštění ruky dolů k tělu po odložení součásti.

Alfanumerický kód pro sáhnutí má tedy na prvním místě písmeno R, na druhém délku trajektorie pohybu v centimetrech a na třetím místě písmeno druhu pohybu. Např. R30C může být sahání pro hřebík v krabici, která je vzdálená 30 cm.

Uchopení

Definicí uchopení je sevření prstů, nutné pro uchopení předmětu. Kódem je písmeno G podle anglického výrazu grasp. Rozlišuje se 5 různých druhů uchopení, které se dělí dále:

G1 je jednoduché uchopení sevřením prstů předmětů, které leží buď samostatně anebo se dotýkají jiných předmětů. Rozděluje se na:

G1A je uchopení volně ležícího samostatného předmětu, například propisky ze stolu. Tento předmět svým tvarem, velikostí ani nijak jinak neztěžuje uchopení.

G1B je uchopení malého tenkého plochého předmětu, který leží na jedné rovině s podložkou, například mince na stole. Tyto předměty bývají křehké, ostré anebo se mohou ohýbat jako papír.

G1C je uchopení válcovitého předmětu jako například trubky. Uchopení je ztíženo tím, že předmět leží například v krabici s ostatními předměty, které tvoří překážku. Toto uchopení se dále ještě dělí podle průměru válcovitého předmětu na:

G1C1 pro předměty s průměrem nad 12 mm

G1C2 pro předměty s průměrem 6–12 mm

G1C3 pro předměty s průměrem do 6 mm

G2 je uchopení s přehmátnutím v jedné ruce, což znamená, že se předmět musí v ruce posunout nebo otočit, aby operátor dostal lepší kontrolu nad tímto předmětem. Například dvoustranný tvarový kalibr, který se musí před použitím druhé strany otočit.

G3 je uchopení s přehmátnutím z druhé ruky. To znamená, že operátor má například na stole po své levici šroubovák, ale potřebuje zašroubovat šroub pravou rukou. Šroubovák si tedy podá z levé ruky do pravé. Musí platit, že místa, kdy odevzdávající ruka ztratí kontrolu nad předmětem a kdy druhá ruka nad předmětem kontrolu získává, nesmí být od sebe vzdálená více než 8 cm, poté už se jedná o více pohybů.

G4 je výběrové uchopení. To znamená, že předmět je smíšen například v KLT bedýnce s dalšími předměty a operátor jej musí vybrat, ne však hledat. Tyto předměty se dále rozdělují podle velikosti na:

G4A, kdy je předmět větší než 25 x 25 x 25 mm. Přidává se hodnota 7,3 TMU.

G4B, kdy má předmět přibližně stejné rozměry jako 6 x 6 x 3 mm a 25 x 25 x 25 mm.

Přidává se hodnota 9,1 TMU.

G4C, kdy je předmět menší než 6 x 6 x 3 mm. Přidává se hodnota 12,9 TMU.

G5 je dotykové uchopení, to znamená, že předmět nijak nesvíráme prsty, ale pouze se jimi dotýkáme předmětu. Po tomto kroku následuje přemístění, proto je tento typ uchopení pouze přechodný a trvá zanedbatelně krátkou dobu.

Alfanumerický kód tedy může vypadat následovně: R30C G1C3 může znamenat, že operátor sahá pro hřebík o průměru 4 mm do krabičky vzdálené 30 cm, tento předmět uchopí prsty.

Mezi sáhnutím a uchopením existují určité vztahy.

„G1A předchází pohyb R-A, R-B, R-C

G1C3 předchází pohyb R-D

G3 předchází pohyb R-A, R-B, M-A, M-B

G4 předchází pohyb R-C“[1]

Přemístění

Po uchopení následuje přemístění, předmět je již v sevřené dlani nebo v prstech a je potřeba jej dostat na určené místo. Tomuto pohybu náleží písmeno M jako move. Tento pohyb nenastává, pokud je předmět přenášen, ale pouze pokud je přendáván na jiné místo. U přemístění se dbá na 3 ovlivňující veličiny:

1. Délka pohybu se podobně jako u sáhnutí píše v kódu na druhé místo za písmeno M v centimetrech a jedná se také o trajektorii středu dlaně nebo konečků prstů.
2. Druh pohybu se také podobně jako u sáhnutí dělí podle míry kontroly nad pohybem. Dělí se na 3 kategorie:
 - A je typ přemístění předmětu proti dorazu, to znamená, že operátor například dává materiál do upínacího přípravku ve stroji, na kterém je doraz, operátor tedy nemusí dbát na sílu a kontrolu, jelikož umístění materiálu je kontrolováno právě dorazem. Za doraz lze považovat i druhou ruku.
 - B je typ přemístění, kdy se předměty pokládají do neurčité polohy, například když operátor odkládá nástroj na stůl, to vyžaduje větší koncentraci než u typu A.
 - C je typ přemístění, kdy jsou nároky na kontrolu vysoké, operátor přitom musí předmět přemístit s velkou přesností na předem dané místo, s maximální povolenou odchylkou 12 mm. Za tímto pohybem zpravidla následuje spojování.
3. Váha a odpor jsou veličiny, které tento pohyb časově nejvíce ovlivňují. Vliv váhy na přemístění metoda posuzuje dvěma činiteli, takzvaným dynamickým komponentem a statickým komponentem. Dynamický komponent se označuje DC a jde o vliv váhy předmětu na rychlost pohybu, s těžším předmětem bude totiž operátor manipulovat pomaleji než s lehkým, tento komponent je označen jako faktor.

Statický komponent se označuje SC a jde o zaváhání ruky po uchopení předmětu, tento komponent je přímo vyjádřen v tabulkách. Výsledný čas vynásobíme faktorem DC a připočítáme SC. Zápis alfanumerického kódu vypadá například následovně: M35A2, přemístění materiálu do 35 cm vzdáleného upínacího přípravku.

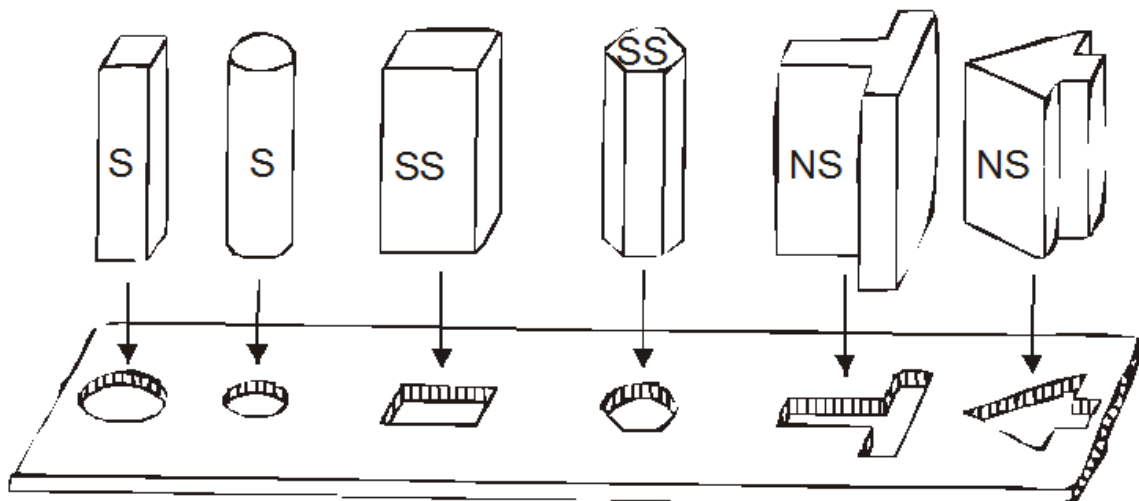
Spojování

Spojování nebo také polohování je pohyb, kterým se vkládají dva díly k sobě či do sebe, jako například zasunutí klíče do klíčové díry, zapojení USB koncovky do konektoru apod. Označuje se písmenem P jako position. Spojování má 3 fáze: vystředění, vyrovnaní a vsunutí. Tento pohyb má 3 ovlivňující veličiny:

1. Třída lícování, kterou ovlivňuje velikost vůle mezi spojovanými předměty a velikost síly potřebné k zasunutí. Rozděluje se na 3 skupiny:
P1 - Ke spojení nepotřebují žádný tlak a vůle je dostatečně velká, že nevyžaduje velké soustředění. Jako příklad lze uvést vkládání krajíce chleba do toustovače.
P2 - Příkladem může být vložení klíče do klíčové díry, je pro to potřeba malého tlaku a relativně velké přesnosti.
P3 - Pro toto spojení je potřeba vynaložit velký tlak a velmi velkou přesnost.

Aby se pohyb dal klasifikovat jako spojování, je nutné, aby vůle mezi předměty do sebe zasouvaných nebyla větší než 12 mm a hloubka větší než 25 mm, poté už by se jednalo o přemístění.

2. Podmínky symetrie určují, jestli zasunutí dvou předmětů do sebe vyžaduje vyrovnaní obou průřezů, či nikoliv. Rozděluje se na 3 skupiny:
„S – symetrický
SS – polo symetrický
NS – nesymetrický“ [1]



Obrázek 3-3 Podmínky symetrie podle metody MTM [1]

3. Manipulace

Závisí na jednoduchosti manipulace, která může být ztížena tvarem, velikostí, způsobem držení apod. Dělí se na 2 skupiny:

E – lehká manipulace

D – obtížná manipulace

Alfanumerický kód může vypadat následovně: P2NSE, to může představovat vsunutí klíče do klíčové dírky.

Pouštění

Pouštěný předmět je uvolněn z držení dlaně nebo prsty. Symbolem je RL jako release. Tento pohyb se dělí na 2 kategorie:

RL1 - Předmět je pouštěn rozevřením dlaně nebo prstů.

RL2 - S předmětem je přerušen dotyk. Následuje vždy po uchopení G5, což je dotykové uchopení.

3.3 MOST

MOST neboli Maynard Operation Sequence Technique lze volně přeložit jako Maynardova technika posloupnosti operací. Tuto metodu vynalezl v roce 1980 Kjell Zandin ze Švédska ve firmě Maynard Corporation. Jedná se o další z metod předem určených časů, dá se tedy využít ke kapacitním propočtům ještě před zahájením výroby. „*MOST je systém měření práce soustřeďující se na činnosti spojené s pohybem objektů, popsané ve formě definovaných pohybových sekvencí. Pohybové sekvenci je podle konkrétní situace provedení přiřazena časová hodnota potřebná k jejímu vykonání. Při analýze práce metodou MOST se používají velká písmena a indexová čísla. Každé indexované písmeno představuje určitý druh pohybu.*“

[1] Metoda MOST se zaměřuje na analýzu přemísťování součástí, kterou rozděluje na dvě kategorie:

1. Předmět uchopený operátorem je v prostoru přesouván volně bez dotyku s něčím jiným.
2. Předmět uchopený operátorem je přesouván při zachování dotyku s podložkou nebo jiným předmětem.

Metoda MOST má několik variant, rozdělených podle délky zkoumaných cyklů:

1. Maxi-MOST se zaměřuje na cykly, které trvají více než 2 minuty a mohou dosahovat délek až několik hodin. Cykly se musí opakovat maximálně 150x za týden.
2. Basic-MOST se zaměřuje na cykly s trváním od 10 sekund do 10 minut a opakující se minimálně 150x a maximálně 1500x týdně.
3. Mini-MOST se zaměřuje na cykly od 2 do 10 sekund a opakující se více jak 1500x za týden. Tato metoda je nejdetailejší.

Tato práce se bude dále zabývat metodou Basic-MOST, která rozděluje pohyb operátora do 3 základních kategorií a jedné, u které používá ruční jeřáb. Těmito kategoriemi jsou:

1. Obecné přemísťování, což znamená, že je předmět uchopený operátorem v prostoru přesouván volně bez dotyku s něčím jiným.
2. Řízené přemísťování, což znamená, že předmět uchopený operátorem je přesouván při zachování dotyku s podložkou nebo jiným předmětem.
3. Použití nástroje, čímž se rozumí použití ručního nástroje, jako například šroubováku apod.
4. Ruční jeřáb, kde si operátor při přemísťování těžkých věcí pomáhá ručním jeřábem.

Jednotkami je stejně jako u metody MTM Time Measurement Unit TMU, která má i stejné hodnoty. 1 TMU = 0,00001 hodiny = 0,0006 minuty = 0,036 sekundy. Výpočet celkového času je ale jiný nežli u metody MTM. U metody MOST se sčítají všechny indexy v pohybové sekvenci a výsledek se násobí hodnotou 10.

Tabulka 3-3 Tabulka pohybů podle metody Basic MOST [1]

Basic MOST			
Aktivita	Sekvenční model	Parametr	Sub-aktivita
Obecné přemístění	ABG ABP A	A	vzdálenost (<i>action distance</i>)
		B	pohyb těla (<i>body motion</i>)
		G	získání kontroly (<i>gain control</i>)
		P	umístění (<i>placement</i>)
Řízené přemístění	ABG MXI A	M	řízené přemístění (<i>move controlled</i>)
		X	operační čas (<i>process time</i>)
		I	zarovnání (<i>alignment</i>)
Použití nástroje	ABG ABP . ABP A	F	utažení (<i>fasten</i>)
		L	uvolnění (<i>loosen</i>)
		C	ořezání, ustřižení (<i>cut</i>)
		S	opracování povrchu (<i>surface treat</i>)
		M	měření (<i>measure</i>)
		R	psaní, zaznamenávání (<i>record</i>)
		T	kontrola, čtení, prohlédnutí (<i>think</i>)

Obecné přemístění

Z 50 % veškerých přemísťovacích úkonů se jedná o obecné přemístění, které se odehrává volně v prostoru bez dotyku dalších předmětů. Rozlišují 4 subaktivity:

„A – Action distance – vzdálenost úkonu (*horizontální pohyb*)

B – Body motion – pohyb těla (*vertikální pohyb*)

G – Gain control – uchopení

P – Placement – umístění“ [1]

Tato písmena se skládají za sebe přesně podle pohybu, který operátor dělá. Podle datakaret se těmto písmenům přiřazují indexy, které se následně sečtou, vynásobí číslem 10 a dostaneme počet TMU.

Řízené přemístění

Subaktivitami pro řízené přemístění jsou:

„M – Move controlled – řízené přemístění

X – Process time – čas úkonu

I – Alignment – zarovnání“ [1]

Postup je úplně stejný jako u obecného přemístění, z písmen se vytvoří sekvence, písmenům se přiřadí indexy, které se sečtou, vynásobí 10 a výsledkem je počet TMU.

Použití nástroje

Subaktivitami pro použití nástroje jsou:

„*F – Fasten – utažení*

L – Loosen – uvolnění

C – Cut – ořezání, dělení

S – Surface treat – úprava povrchu

M – Measure – měření

R – Record – psaní, zaznamenávání

T – Think – kontrola, čtení, myšlení“[1]

Postup je zase stejný, jako u předešlých pohybů.

3.4 Chronometráž

Chronometráž slouží na rozdíl od metod předem určených časů k analýze současného stavu vytížení operátorů na lince. Zjišťují se podle ní úzká místa ve výrobě. Chronometráž se dělí na dvě skupiny metod, podle délky sledovaného úseku času. Buďto měříme snímek pracovního dne, ve kterém je zahrnut úplně celý den pracovníka, anebo měříme snímek operace, což je měření dlouhé obvykle pouze několik minut. Snímek operace je také náplní praktické části této práce. [16]

Tabulka 3-4 Metody chronometráže [16]

	Název studie	Použití
Snímky operace	plynulá chronometráž	měření všech úkonů v operaci s pravidelným sledem úkonů
	výběrová chronometráž	měření času vybraných úkonů
	snímková chronometráž	měření času všech úkonů v operaci s nepravidelným sledem úkonů
	sumární měření	měření času celé operace bez členění na úkony
Snímky pracovního dne	snímek pracovního dne jednotlivce	měření všech dějů v průběhu směny u jednoho pracovníka
	snímek pracovního dne čty	měření všech dějů v průběhu směny u všech členů čty současně
	hromadný snímek pracovního dne	měření všech dějů v průběhu směny u několika pracovníků kteří nepracují společně
	vlastní snímek pracovního dne	měření všech dějů nebo vybraných dějů ve směně pracovníkem, který provádí práci

Snímek pracovního dne

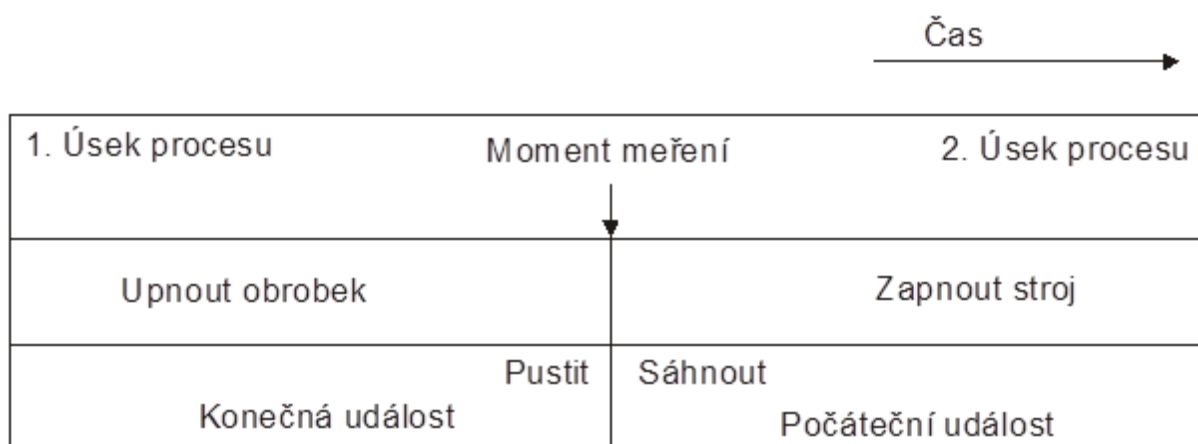
Snímek pracovního dne je metodou, která s tématem této práce úzce souvisí. Metoda se používá k analýze vytíženosti pracovníků, kteří nepracují v taktu na lince, jsou jimi například seřizovači, svářeči, zámečníci a podobně. Pracovník, který náměr provádí, sleduje operátora od začátku pracovního dne do konce a pečlivě zapisuje každý jeho pohyb a jeho časovou náročnost. Data potom analyzuje a časy se rozdělí na časy, které přidávají hodnotu, a časy, které hodnotu nepřidávají, jako například prostoje, zbytečná chůze apod. Potom se vyhodnotí v procentech, kolik času operátor opravdu pracuje a kolik času ne. Zjistí se tím jeho vytíženost. Poté se pracovník snaží přijít na příčiny zbytečných časových ztrát a snížit je. Existují různé druhy snímků pracovního dne: Snímek jednotlivce, který se zaměřuje pouze na jednoho konkrétního pracovníka, Snímek pracovního dne čety, kde se zjišťuje vytíženost skupiny pracovníků, kteří pracují na jednom výrobku a jejichž práce na sebe navazují. Dále jsou to pak Hromadný snímek pracovního dne a Vlastní snímek pracovního dne.

Snímek operace

Snímek operace se zaměřuje na měření času jednotlivých operací, dělí se na čtyři podskupiny měření: plynulá chronometráž, výběrová chronometráž, snímková chronometráž a sumární měření. Tato práce se zabývá pouze plynulou chronometráží, kdy se měří časy jednotlivých úkonů v opakujícím se cyklu operátora. [16]

Měření se tedy skládá z několika kroků:

1. Pracovník provádějící měření přijde na linku a oznámí teamleaderovi a operátorům, že bude provádět měření jejich práce a že by měli pracovat tak, jak pracují normálně, ani rychleji, ani pomaleji. Následně natočí každého operátora při práci po dobu několika, z pravidla 10ti cyklů.
2. Z natočeného materiálu se analyzují jednotlivé pracovní úkony operátorů. U každého úkonu musí být přesně definována počáteční a konečná událost viz Obrázek 3-2.



Obrázek 3-4 Moment měření [16]

- Následně se úkony rozdělí na práci, čekání a chůzi, při které operátor nic nepřenáší.
3. Poté se zapíší časy jednotlivých úkonů a vypočítá se, kolik času operátor opravdu pracuje, kolik času čeká a kolik času chodí prázdný.
 4. Tato data zjištěná pro každého operátora na lince se porovnají a vykreslí se graf vytíženosti, na kterém je vidět, který operátor je nejvíc vytížen, který nejméně a z tohoto grafu lze snadno vyčíst, kde jsou na lince úzká místa a čeho se týkají.

4 Stručná charakteristika společnosti

Firmu Bosal, tak jak je dnes známá, založil pan Dr. h.c. Karel Bos narozen 25. května 1928. Název firmy vznikl spojením písmen jeho příjmení a dvou prvních písmen názvu jeho rodného města Alkmaar v Holandsku. První firmu Bosal založil jeho otec v roce 1923 v Holandsku a Karel po druhé světové válce založil v Jihoafrické republice firmu Bosal Africa, kde se oženil se svou ženou Cornelií. Kvůli politice Apartheidu neboli politice rasové segregace odešel s rodinou zpět do Evropy. Dr. Bos se usadil v Belgii, kde zřídil centrálu společnosti Bosal Group v Lummenu. Dr. Bos byl v čele firmy jako CEO až do roku 2010.[9]

Firma se zabývá výrobou kompletních výfukových systémů do osobních a nákladních aut, katalyzátorů, tažných zařízení, střešních nosičů do aut, větrných deflektorů, kovových trubek apod. ve 29 výrobních závodech po celém světě. Dále pak vlastní 6 R&D center a 18 distribučních center. Firma zaměstnává kolem 4 700 zaměstnanců a roční obrat k roku 2015 činil zhruba 693 milionů eur.[10]

Výrobní závod Bosal ČR, spol. s.r.o. v Brandýse nad Labem, ve zkratce BCZB vznikl již v roce 1994. Patří k divizi ECS (Emission Control Systems) a zaměřuje se na dvě odvětví, těmi jsou: Výroba OE neboli Original Equipment což je výroba kompletních výfukových systémů do osobních automobilů světových značek a výroba katalyzátorů. A poté výroba AM neboli After Market, což je výroba náhradních dílů do starších automobilů, jedná se opět o výfuky a katalyzátory.

Výrobní závod v Brandýse nad Labem zaměstnává zhruba 800 lidí, z toho zhruba 200 na pozicích THP.

Výrobky v závodě BCZB se vyrábějí v sériích na výrobních linkách, které jsou uspořádány předmětně, stroje jsou tedy uspořádány podle technologického postupu jednotlivých referencí, které se na výrobních linkách vyrábí. Většina linek je sestavena tak, že je možné na nich vyrábět více referencí, které jsou si podobné. Mezi technologie použité při výrobě patří ohýbání trubek, stříhání a lisování plechů, a především sváření způsoby MIG, MAG a TIG. Většinou se jedná o sváření svařovacími roboty.

Taktování výrobní linky v této bakalářské práci se bude zabývat jednou z linek ve výrobě OE.



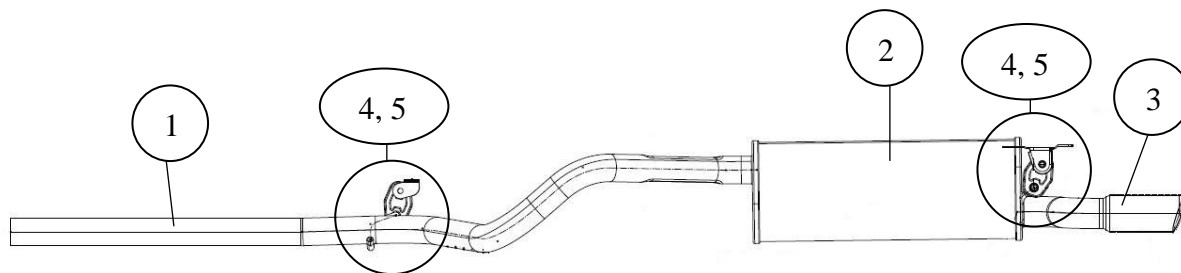
Obrázek 4-1 Výrobní závod BOSAL ČR [20]



Obrázek 4-2 Výfukový systém Bosal [10]

5 Popis původního stavu linky

Výrobní linka, na které se celá práce bude realizovat, je linka na výrobu výfuku do osobního automobilu. Výfuk se skládá z trubky (1), která je vyvedena z katalyzátoru, tlumiče (2), koncovky (3), dvou kovových nosičů (4) a dvou elastických gumových držáků (5), nasazených na kovových nosičích, viz Obrázek 5-1. Všechny díly jsou k sobě přivařeny. Na lince se vyrábějí tři reference, které se liší pouze ve tvaru koncovky výfuku, technologický postup je tedy u všech referencí naprosto shodný.



Obrázek 5-1 Náčres výrobku

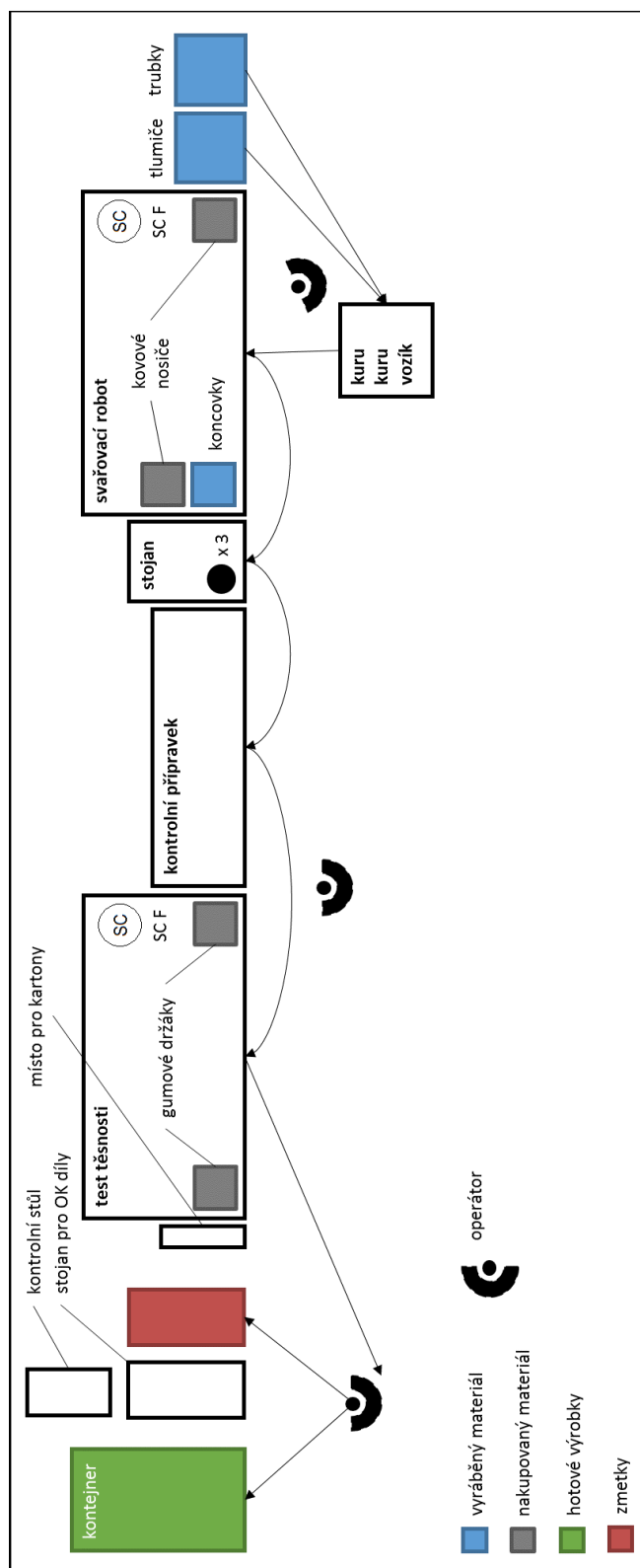
5.1 Technologický postup výroby

Hlavní technologickou operací je v případě tohoto výrobku svařování. To probíhá ve svařovacím přípravku metodou MIG a svařování provádí pouze robotické rameno. Operátor pouze zakládá a upíná materiál do přípravku a spouští robot. Další operace, až na montáž gumových držáků nalisováním, jen kontrolují kvalitu a těsnost svarů a přesnost výrobku. Trubky a tlumič jsou vyráběny na jiných linkách.

- Prvním krokem je vyrobit svařenec. První operátor založí do přípravku svařovacího robotu trubku, tlumič, koncovku a dva kovové nosiče. Upínkami vymezí jejich přesnou polohu vůči sobě a zamezí tím jakémukoliv pohybu. Po spuštění svařovacího procesu operátor využije čas pro přípravu dalšího materiálu, který naloží na kuru kuru vozík.
- Po skončení procesu sváření operátor vyjme svařenec a pověsí jej na věšák k vychladnutí. Svařenec se nechává vychladnout z důvodu další technologické operace, jíž je test přesnosti, test těsnosti a montáž elastických gumových držáků na kovové nosiče.
- Druhý operátor vezme vychladnutý výrobek z věšáku, zkontroluje svary, zdali nedošlo k průpalku, a označí je bílým fixem. Následně provádí test přesnosti v kontrolním přípravku, do kterého uloží svařenec a zavře kontrolní branky, které vymezují tolerance specifických prostorových bodů výrobku. Pokud se výrobek vejde do zákaznickem daných tolerančních polí, pokračuje operátor v testu těsnosti.
- Operátor uloží svařenec do přístroje, který pevně utěsní oba konce výfuku a zkouší maximální průtok plynů v litrech za minutu při daném tlaku. Pokud test proběhne v pořádku a výfuk splňuje těsnost danou zákaznickem, tiskárna vytiskne nalepovací štítek, který operátor nalepí na dané místo, naskenuje jej a poté je výrobek uvolněn z přístroje. Současně s testem těsnosti přístroj nalisuje na kovové nosiče elastické gumové držáky.
- Třetí operátor poté provede finální kontrolu, která obsahuje další kontrolu svarů. Poté na výrobek nalepí značku a uloží jej do přepravy.

5.2 Původní stav linky

Výrobní linka se skládá ze čtyř pracovišť (svařovací robot, kontrolní přípravek, leak tester a stanice finální kontroly) obsluhovaných třemi operátory. Uspořádání linky je lineární a pracuje se zde systémem One Piece Flow, tedy toku jednoho kusu s bufferem pro tři kusy za operací svařování kvůli ochlazení, viz Obrázek 5-2.



Obrázek 5-2 Původní layout linky

Takt Time je čas, za který musí hotový výrobek opustit linku. Počítá se z disponibilního času pracovníka za směnu vyděleným normou (v kusech) na směnu. Osmihodinová směna čítá $8 \cdot 60 \cdot 60 = 28\,800$ sekund. Od tohoto času je nutné odečíst:

- 5 minut na začátku směny pro rozjezd linky
- 2 x 10 minut zákonem danou přestávku
- 20 minut přestávku na oběd (zákonná přestávka)
- 10 minut na úklid pracoviště na konci směny

$$28\,800 - 5 \cdot 60 - 2 \cdot 10 \cdot 60 - 20 \cdot 60 - 10 \cdot 60 = 25\,500 \text{ sekund} \quad (1)$$


Norma je vypočítána z měsíčního požadavku zákazníka na dodávku a činí 125 kusů za směnu.

$$TT = \frac{25\,500}{125} = 204 \text{ s} \quad (2)$$

5.3 Cykly jednotlivých operátorů

Měření cyklových časů jednotlivých operátorů se provádělo nejprve natočením videa deseti cyklů každého operátora a následnou analýzou časů z videí. Cyklus se rozložil na jednotlivé elementy, u kterých se stanovilo, zda přidávají hodnotu výrobku či nikoliv. Elementy nepřidávající hodnotu jsou chůze s prázdnými rukama a prostoje, všechny ostatní elementy hodnotu přidávají. Každý element měl přesně určený konec a začátek, mezi kterými se měřila jeho délka. Jako směrodatná hodnota byl vybrán aritmetický průměr z deseti naměřených hodnot, mezi které se nepočítaly časy, které byly od průměru zbylých značně vzdáleny nějakou neobvyklou příčinou. První byl proveden náměr prvního operátora viz Tabulka 5-1, který má za úkol zakládat svařovací robot.

Tabulka 5-1 Náhled rozpadu cyklu 1. operátora

 WORK COMBINATION TABLE						
Plant Name:	BCZB	Process Name:	svařování	Issue Date:	17.7.2015	
Machine no:		Machine Type:	svařovací robot	Issued by:	A. Peteřík	
Sequence	WORK ELEMENT	ELEMENT TIME				
		Manual Work	Machine Time	Walk Time	Forced Wait for Machine Cycle	Operator Clock (Stop Time) Seconds
1	Založ materiál do robotu a stiskni START	37	92			37
W	Jdi pro tlumič			1		38
2	Vezmi tlumič a polož jej na vozík	8				46
W	Jdi pro trubku			4		50
3	Vezmi trubku a polož ji na vozík	8				58
W	Počkej než robot dovaří výrobek				72	130
4	Uvolni hotový výrobek z robotu, zkontroluj svary a pověš jej na stojan k vychladnutí	12				142
W	Jdi zpět k robotu			1		143
TOTAL:		65	92	6	72	

Z náhledu rozpadu cyklu prvního operátora můžeme vidět, že 65 sekund operátor přidává materiálu hodnotu a 78 sekund hodnotu nepřidává, ale chodí (6 sekund) nebo čeká (72 sekund). 92 sekund je čas svařovacího robotu od stisknutí tlačítka START do otevření bezpečnostních vrat robotu. Cyklový čas operátora je tedy $65 + 6 + 72 = 143$ sekund. Takt Time je 204 sekund, operátor je tedy o 61 sekund rychlejší, než je potřeba.

$$\frac{65}{204} \cdot 100 = 31,86 \% \quad (3)$$


Práci je operátor vytížen na 31,86 %, což není ani třetina disponibilního času na jeden výrobek.

$$\frac{143}{204} \cdot 100 = 70,09 \% \quad (4)$$

Cyklem je operátor vytížen na 70,09 %, což je velmi málo. Celý rozpad cyklu i s Ganttovým diagramem je v příloze č. 1.

Dalším operátorem v pořadí je druhý operátor, který provádí kontrolu přesnosti a těsnosti výrobku viz Tabulka 5-2.

Tabulka 5-2 Náhled rozpadu cyklu 2. operátora

 WORK COMBINATION TABLE						
Plant Name:	BCZB	Process Name:	test přesnosti a těsnosti	Issue Date:	17.7.2015	
Machine no:		Machine Type:	kontrolní přípravek, leak tes	Issued by:	A. Peteřík	
Sequence	WORK ELEMENT	ELEMENT TIME				Operator Clock (Stop Time) Seconds
		Manual Work	Machine Time	Walk Time	Forced Wait for Machine Cycle	
1	Vezmi výrobek a založ jej do kontrolního přípravku	8				8
2	Zkontroluj svary a označ je bílým fixem	15				23
3	Zkontroluj přesnost výrobku	21				44
W	Jdi k leak testeru			4		48
4	Nalep štítek na výrobek, naskenuj jej, výrobek uvolni a dej jej třetímu operátorovi	18				66
W	Jdi zpět ke kontrolnímu přípravku			5		71
5	Uvolni výrobek z kontrolního přípravku a založ jej do leak testeru	8				79
6	Nasaď pryžové držáky, naolej a stiskni START	23	63			102
W	Jdi zpět ke stojanu s chladnouchými výrobky			7		109
W	Čekej na prvního operátora				34	143
TOTAL:		93	63	16	34	


Druhý operátor přidává materiálu hodnotu 93 sekund a 50 sekund nikoliv. Operátor je o 61 sekund rychlejší, než je potřeba.

$$\frac{93}{204} \cdot 100 = 45,59 \% \quad (5)$$

Jeho vytíženost prací je 45,59 % a vytíženost cyklem je stejná jako u prvního operátora, tedy 70,09 %, což je opět velmi málo. Celý rozpad cyklu s Ganttovým diagramem je v příloze č. 2.

Třetí operátor je pracovníkem externí firmy, která zařizuje finální kontrolu kvality.

Tabulka 5-3 Náhled rozpadu cyklu 3. operátora

 WORK COMBINATION TABLE						
Plant Name:	BCZB	Process Name:	externí kontrola kvality	Issue Date:	17.7.2015	
Machine no:		Machine Type:		Issued by:	A. Peteřík	
Sequence	WORK ELEMENT	ELEMENT TIME				
		Manual Work	Machine Time	Walk Time	Forced Wait for Machine Cycle	Operator Clock (Stop Time) Seconds
1	Zkontroluj svary a nalep štítek na výrobek	30				30
2	Ulož hotový výrobek do přepravy	7				37
W	Čekej na druhého operátora				101	138
3	Nalep štítek na přepravku / příprav kartony	5				143
TOTAL:		42			101	

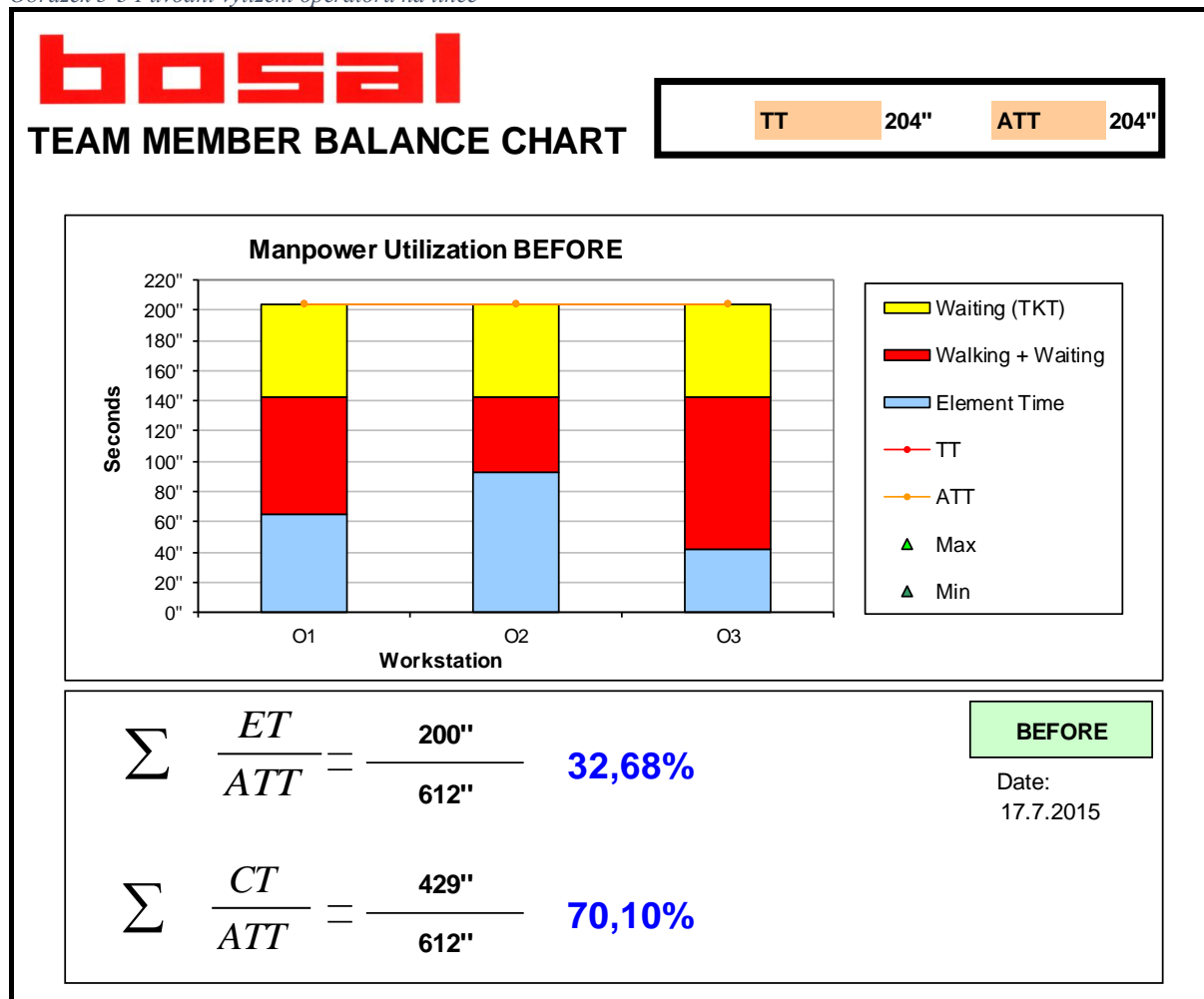
Z náhledu rozpadu lze vidět, že operátor pracuje pouhých 42 sekund a zbylých 101 sekund čeká na druhého operátora.

$$\frac{42}{204} \cdot 100 = 20,59 \% \quad (6)$$

Práci je operátor vytížen na 20,59 %, což je pouhá pětina jeho disponibilního času na kus, a vytížení cyklem opět stejné jako u prvních dvou operátorů, tedy 70,09 %, což je opět velmi málo. Celý rozpad cyklu s Ganttovým diagramem je v příloze č. 3.

Dalším dokumentem je Balance Chart viz Obrázek 5-3, který graficky znázorňuje vybalancování všech tří operátorů na lince.

Obrázek 5-3 Původní vytížení operátorů na lince



Na Balance Chartu můžeme vidět porovnání vytíženosti všech operátorů na lince. Modrou barvou je znázorněn čas práce (Element Time), červenou barvou je znázorněn čas, který nepřidává hodnotu (Walking + Waiting) a žlutou barvou je znázorněn čas, který operátorům zbývá do času taktu (Waiting to Takt Time). Lze vidět, že vytíženost cyklů operátorů je 70,10 %, ale vytíženost čisté práce operátorů je pouhých 32,68 %. Celkový objem práce pro výrobu jednoho výrobku je 200 sekund, Takt Time je 204 sekund. Když vydělíme objem práce Takt Time, vyjde nám přibližný počet operátorů, nutných pro výrobu.

$$\frac{200}{204} = 0,98 \cong 1 \text{ operátor} \quad (7)$$

Práci by tedy mohl zvládnout pouze jeden operátor. Byl by ale vytížen na 98 %, což je příliš mnoho. Podle dokumentu interního auditu na standardizaci práce by měla být vytíženost práce 93 % a vytíženost cyklu 96 %.

6 Srovnání výsledků naměřených časů a metody MOST

Pro ověření délky cyklů a činností, které operátoři provádí, bylo použito analýzy pomocí metody předem určených časů MOST. Původně bylo zamýšleno provést analýzu i metodou MTM, ale tato metoda je příliš podrobná a cykly operátorů velmi dlouhé, tudíž by nebyl dodržen rozsah práce. Sekvence a čas vytvořený analýzou MOST bude srovnán s naměřenými časy operátorů a rozdíly těchto časů ukážou, zdali operátoři při měření nepracovali extrémně rychle, nebo naopak extrémně pomalu. Nejprve bylo vybráno video jednoho cyklu pro každého operátora, na kterém byla prováděna MOST analýza cyklu. Podle videa a Data karty Basic MOST byla sestavena sekvence písmen s indexy. Čas analyzovaný metodou MOST byl následně srovnán s průměrnou naměřenou délkou cyklu.

6.1 Analýza cyklu prvního operátora

První operátor založí materiál do robotu, stiskne START, poté jde pro tlumič a položí jej na vozík, a poté jde pro trubku, kterou položí na vozík. Poté operátor čeká na svařovací robot. Operátor uvolní hotový výrobek z robotu, zkontroluje svary, pověsí jej na věšák k vychladnutí a jde zpět k robotu. Viz Tabulka 6-1.

Tabulka 6-1 MOST sekvence 1. operátora

P.č.	Popis	Se	Sekvence										Fr	TMU	Čas [s]		
1	Založení boxu do robotu	V	A 1 B 0 G 1	A 6 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	110	3,96
2	Chůze pro trubku	V	A 6 B 0 G 1	A 0 B 0 P 0	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	70	2,52	
3	Chůze pro kovový držák a založení trubky	V	A 6 B 0 G 3	A 6 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	210	7,56	
4	Založení kovového držáku	V	A 0 B 0 G 0	A 3 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	90	3,24	
5	Zavření první upínky	R	A 1 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50	1,80	
6	Zavření dalších tří upínek	R	A 3 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	150	5,40	
7	Založení koncovky	V	A 3 B 0 G 3	A 1 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	190	6,84	
8	Upnutí poslední upínky	R	A 1 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50	1,80	
9	Založení druhého kovového držáku	V	A 1 B 0 G 3	A 1 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	80	2,88	
10	Stisknutí tlačítka START	R	A 6 B 0 G 1	M 1 X ²⁴⁵ I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2530	91,08	
11	Chůze pro box a odložení na vozík	V	A 6 B 0 G 3	A 10 B 0 P 1	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	200	7,20	
12	Chůze pro trubku a odložení na vozík	V	A 16 B 0 G 1	A 16 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	360	12,96	
13	Vyjmutí, kontrola svarů a pověšení	NT	A 6 B 0 G 3	A 6 B 0 P 1	T 6	A 1 B 0 P 3	A 3							1	290	10,44	
																137,52	

Průměrná reálná naměřená délka cyklu je 143 sekund. Délka cyklu analyzovaná metodou MOST je 137,52 sekund. Rozdíl je tedy 5,48 sekundy. Sekvence 11 a 12 (20,61 sekund) probíhá za běhu stroje, který běží 92 sekund od sekvence 10, operátor má tedy dost času připravit si materiál.

6.2 Analýza cyklu druhého operátora

Druhý operátor označí svary bílým fixem, poté vezme výrobek z věšáku a uloží jej do kontrolního přípravku, kde fixem označí zbývající svary. Následně provede test přesnosti zavřením a otevřením kontrolních branek. Poté operátor přejde k leak testeru, kde vezme vytisknutý štítek, nalepí jej na výrobek a naskenuje, čímž uvolní výrobek z přípravku. Poté výrobek vyjme a předá jej třetímu operátorovi. Poté jde operátor ke kontrolnímu přípravku, vyjme výrobek a založí jej do testu leak testeru, poté nasadí do přípravku gumové držáky, upne výrobek a stiskne START. Poté operátor čeká na výrobek od prvního operátora. Viz Tabulka 6-2.

Tabulka 6-2 MOST sekvence 2. operátora

P.č.	Popis	Se	Sekvence								Fr	TMU	Čas [s]
1	Kontrola svarů a označení fixem	NR	A 0 B 0 G 0	A 0 B 0 P 0	R 10	A 3 B 0 P 3	A 0				1	160	5,76
2	Založení výrobku do kontrolního přípravku	V	A 3 B 0 G 3	A 10 B 0 P 3	A 0	0 0 0 0	0				1	190	6,84
3	Zavření první branky	R	A 1 B 0 G 0	M 6 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	70	2,52
4	Zavření druhé branky	R	A 3 B 0 G 0	M 6 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	90	3,24
5	Kontrola dalších svarů a označení fixem	NR	A 1 B 0 G 1	A 0 B 0 P 0	R 10	A 1 B 0 P 1	A 0				1	140	5,04
6	Zavření zbylých branek	R	A 6 B 0 G 0	M 3 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	180	6,48
7	Zašroubování a vyšroubování kalibru	R	A 3 B 0 G 0	M 10 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	130	4,68
8	Otevření všech branek	R	A 10 B 0 G 0	M 3 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	250	9,00
9	Nalepení štítku na výrobek zkontrolovaný v leak testeru	V	A 16 B 0 G 3	A 1 B 0 P 6	A 0	0 0 0 0	0				1	260	9,36
10	Naskenování nalepeného štítku	NR	A 1 B 0 G 0	A 0 B 0 P 0	R 1	A 0 B 0 P 3	A 0				1	50	1,80
11	Čekání na uvolnění výrobku z leak testeru	R	A 0 B 0 G 0	M 0 X 6 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	60	2,16
12	Vyjmutí výrobku z leak testeru a postavení na zem	V	A 3 B 0 G 3	A 0 B 0 P 3	A 0	0 0 0 0	0				1	90	3,24
13	Označení výrobku fixem	NR	A 1 B 0 G 3	A 0 B 0 P 0	R 10	A 0 B 0 P 1	A 0				1	150	5,40
14	Chůze pro výrobek ke kontrolnímu přípravku a založení do leak testeru	V	A 16 B 0 G 3	A 16 B 0 P 3	A 0	0 0 0 0	0				1	380	13,68
15	Zavření tří upínek	R	A 3 B 0 G 1	M 1 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	70	2,52
16	Založení gumového držáku	V	A 6 B 0 G 3	A 1 B 0 P 6	A 0	0 0 0 0	0				1	160	5,76
17	Založení druhého gumového držáku	V	A 6 B 0 G 3	A 1 B 0 P 6	A 0	0 0 0 0	0				1	160	5,76
18	Zavření poslední upínky	R	A 1 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	50	1,80
19	Zapnutí leak testeru	R	A 6 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0 0 0 0	0				1	100	3,60
20	Chůze pro další výrobek	V	A 16 B 0 G 0	A 0 B 0 P 0	A 0	0 0 0 0	0				1	160	5,76
												104,40	

Průměrná reálná naměřená délka cyklu bez čekání na výrobek od prvního operátora je 108 sekund. Délka cyklu analyzovaná metodou MOST je 104,40 sekund. Rozdíl je tedy 3,60 sekundy.

6.3 Analýza cyklu třetího operátora

Třetí operátor vezme hotový výrobek od druhého operátora, odnese ho na své stanoviště, kde pečlivě zkontroluje všechny svary, nalepí štítek a poté výrobek uloží do přepravky a zajistí jej kartonem, viz Tabulka 6-3.

Tabulka 6-3 MOST sekvence 3. operátora

P.č.	Popis	Se	Sekvence										Fr	TMU	Čas [s]	
1	Převzetí výrobku od druhého operátora a odnesení na své pracoviště	V	A 1	B 0	G 3	A 10	B 0	P 0	A 0	0	0	0	0	1	140	5,04
2	Vizuální kontrola svarů na jedné straně	NT	A 0	B 0	G 0	A 0	B 0	P 0	T 16	A 0	B 0	P 0	A 0	1	160	5,76
3	Vizuální kontrola svarů na druhé straně	NT	A 3	B 0	G 0	A 0	B 0	P 0	T 10	A 0	B 0	P 0	A 0	1	130	4,68
4	Nalepení štítku	V	A 1	B 0	G 3	A 1	B 0	P 3	A 0	0	0	0	0	1	80	2,88
5	Uložení výrobku do přepravky	V	A 0	B 0	G 0	A 6	B 3	P 3	A 0	0	0	0	0	1	120	4,32
6	Zabezpečení výrobku 1. kartonem	V	A 10	B 0	G 1	A 6	B 3	P 6	A 0	0	0	0	0	1	260	9,36
7	Zabezpečení výrobku 2. kartonem	V	A 1	B 0	G 1	A 1	B 3	P 6	A 0	0	0	0	0	1	120	4,32
															36,36	

Průměrná reálná naměřená délka cyklu bez čekání na výrobek od druhého operátora a bez nepravidelných časů je 39 sekund. Délka cyklu analyzovaná metodou MOST je 36,36 sekund. Rozdíl je tedy 2,64 sekundy.

6.4 Srovnání časů analyzovaných metodou MOST a časů získaných chronometráží.

Ze srovnání výsledků analýz cyklových časů metodou MOST a chronometráží viz Tabulka 6-4 lze vidět, že operátoři měli při své práci výkonnostní rezervy. Výkonnost lze spočítat takto:

$$\frac{137,52}{142} \cdot 100 = 96,85 \% \cong 97 \% \quad (8)$$

Je jasné, že časy získané metodou MOST lze považovat za ideální stav, kterému je dobré se co nejvíce přiblížit. První dva operátoři se tomuto ideálu velmi blíží, třetí již nikoliv. Po takové analýze se musí průmyslový inženýr zamyslet nad tím, jak proces upravit, aby byl rychlejší a efektivnější. MOST sekvence je velmi dobrá k tomu, že podrobně analyzuje veškeré úkony operátora a lze v ní dobře vidět, které úkony potřebují zrychlit, zlepšit. Touto metodou se dá také spolehlivě analyzovat například cyklový čas na budoucí lince ve firmě, pokud známe celý technologický postup výroby, a následně pak výrobu plánovat, zdokonalovat, zlepšovat procesy a podobně.

Tabulka 6-4 Srovnání výsledků MOST a chronometráže

	MOST	chronometráž	rozdíl	procentuální rozdíl	výkonnost operátorů
1. operátor	137,52 s	143 s	5,48 s	3,98 %	97 %
2. operátor	104,40 s	108 s	3,60 s	3,45 %	97 %
3. operátor	36,36 s	39	2,64 s	7,26 %	93 %

7 Návrh přestavby linky a vyčíslení efektů provedených změn

Podle předchozí analýzy by práci tří operátorů mohl stihnout jediný operátor, ale s vytížením na 98 %, což je příliš. S takovou pracovní vytížeností by zde nebyl časový prostor pro případnou poruchu, a hlavně je tak vysoké vytížení zdraví nebezpečné.

Po nahlédnutí do zákaznického kontrolního plánu bylo zjištěno, že kontrola přesnosti v kontrolním přípravku je zákazníkem vyžadována pouze třikrát za celou směnu a ne u 100 % kusů, jako byla prováděna dosud. To značně snižuje penzum práce. Vyjmutí výrobku z chladicího věšáku, uložení do kontrolního přípravku, kontrola svarů, označení bílým fixem a kontrola trvá dohromady 44 sekund. Za směnu, za kterou je nutno vyrobit 125 kusů, to znamená $44 \cdot 125 = 5500$ sekund. Při kontrole třikrát za směnu by to znamenalo pouze $3 \cdot 44 = 132$ sekund.

$$\frac{132}{125} \cong 1 \text{ s} \quad (9)$$

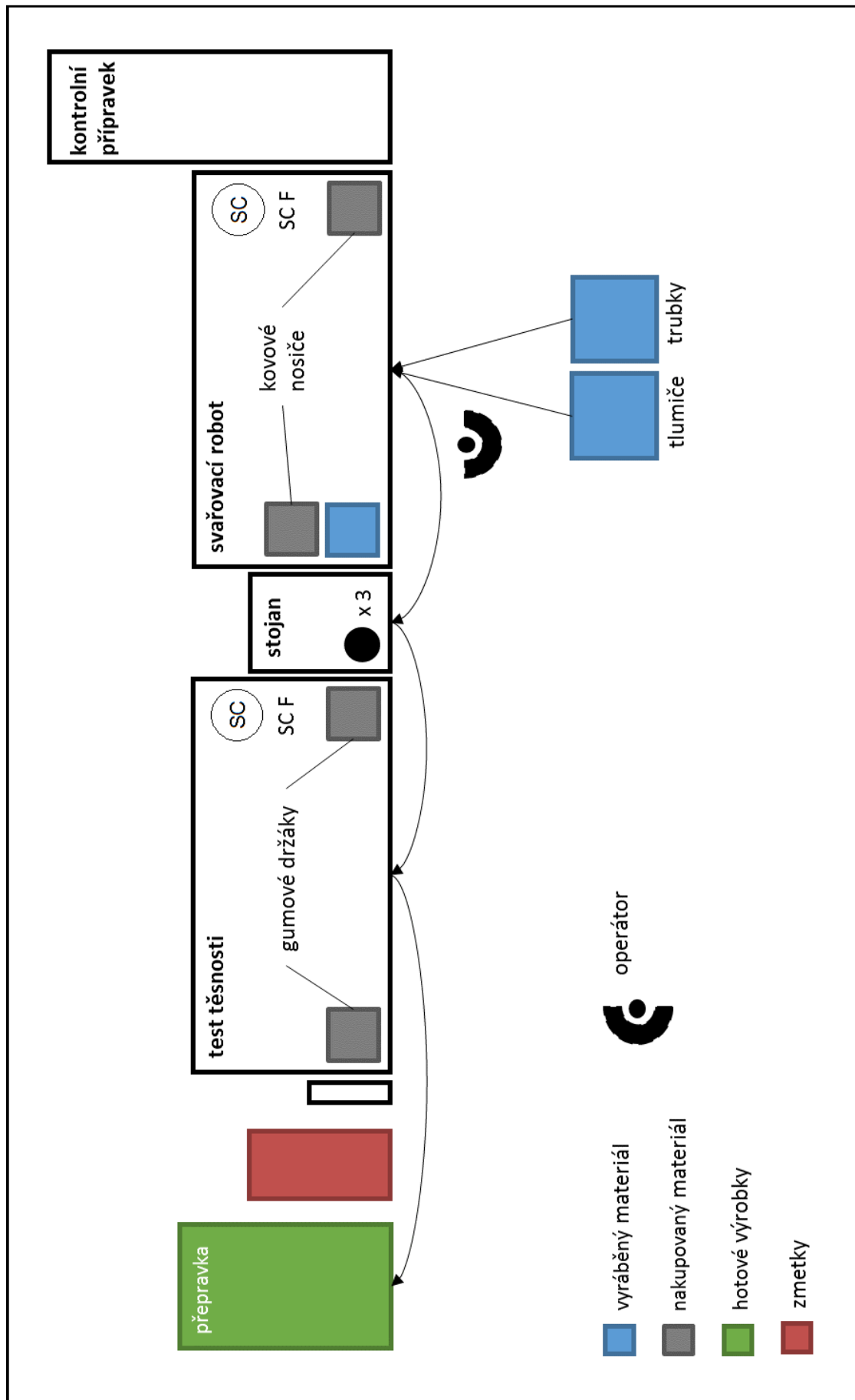
Pokud bychom tento čas rozpočetli ke každému kusu, dostáváme jednu sekundu na kus. To je rozdíl 43 sekund práce na jednom kusu. Celkové penzum práce by tedy bylo $200 - 43 = 157$ sekund. To by znamenalo vytížení operátora na:

$$\frac{157}{204} \cdot 100 = 76,96 \% \quad (10)$$

což je opět velmi málo, ale musíme zohlednit fakt, že dojde k úspoře čtyř operátorů, jelikož linka pracuje ve dvousměnném provozu.

7.1 Návrh layoutu linky

Jelikož již není potřeba kontrolního přípravku pro každý kus, lze jej umístit tak, jak je to znázorněno viz Obrázek 7-1. Toto umístění sice prodlouží operátorovi cestu s výrobkem ze stojanu do kontrolního přípravku a z kontrolního přípravku do testu těsnosti, ale absolvuje ji pouze třikrát za směnu. Toto umístění také zkrátí celou výrobní linku, což ušetří hodně místa. Dále lze koše s tlumiči a trubkami přemístit před svařovací robot, což umožňuje zakládání do přípravku bez nutnosti užití vozíku. Dále lze odstranit stůl a věšák vedle věšáku na zmetky, které byly nevyužité a přebytečné, což opět ušetří místo.




Obrázek 7-1 Layout linky po změně

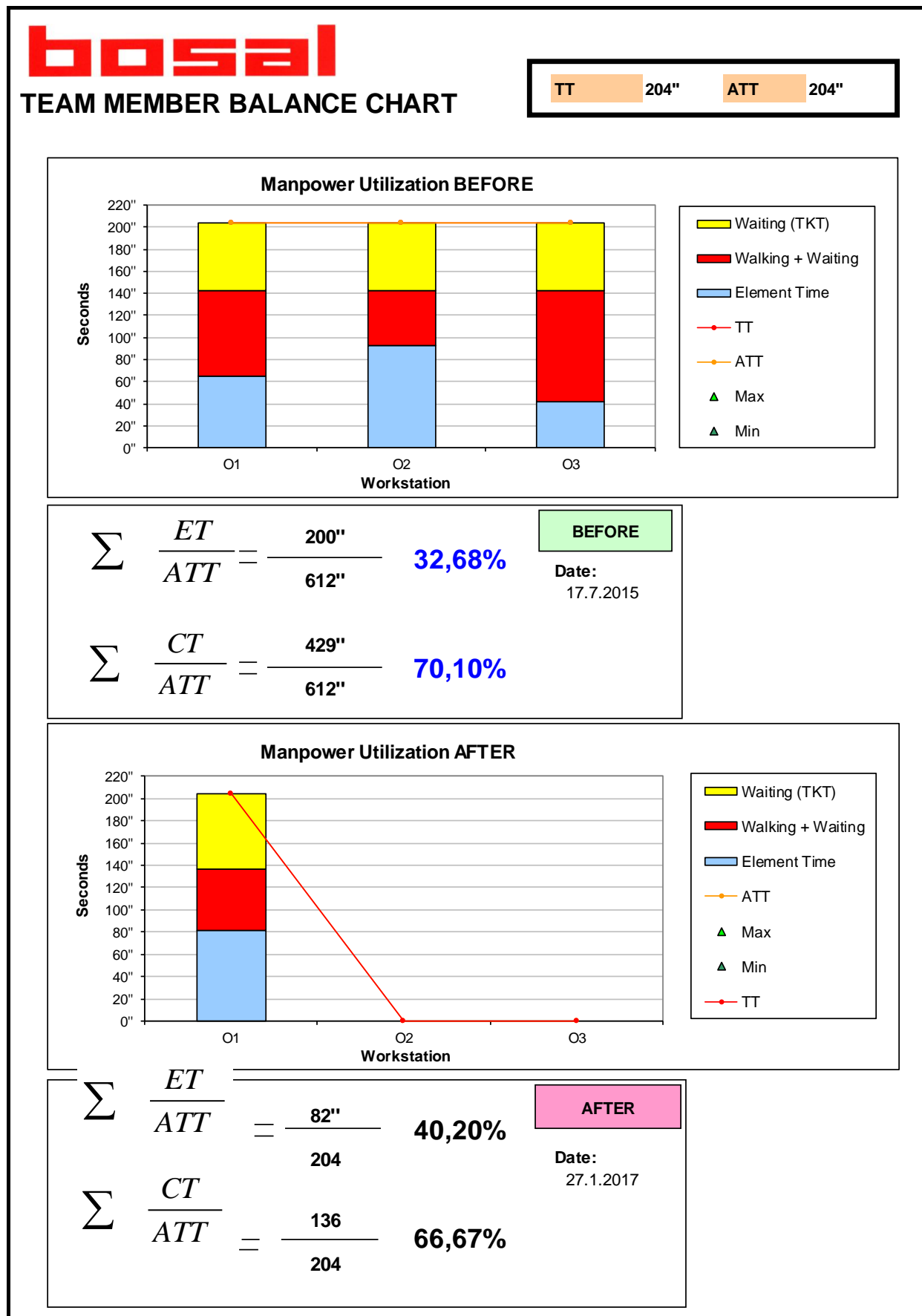
7.2 Analýza vytížení linky po změně

Po této změně layoutu a počtu operátorů byla provedena další analýza rozpadu cyklu již jen jediného operátora viz Tabulka 7-1 a vytíženosti viz Obrázek 7-2.

Tabulka 7-1 Náhled rozpadu cyklu operátora po změně

 WORK COMBINATION TABLE						
Plant Name:	BCZB	Process Name:	svařování, kontrola kvality	Issue Date:	10.2.2017	
Machine no:		Machine Type:	svařovací robot, leak tester	Issued by:	A. Peterik	
Sequence	WORK ELEMENT	ELEMENT TIME				
		Manual Work	Machine Time	Walk Time	Forced Wait for Machine Cycle	Operator Clock (Stop Time) Seconds
1	Založ tlumič, koncovku a první kovový nosič do přípravku	13				13,0
W	Jdi pro druhý nosič			2		15,0
2	Založ nosič	3				18,0
W	Jdi pro trubku			1		19,0
3	Založ trubku do přípravku a stiskni START	9	94			28,0
W	Jdi k testu těsnosti			4		32,0
4	Nalep nálepku, naskenuj kód a ulož výrobek do přepravy	22				54,0
W	Jdi pro karton			2		56,0
5	Zabezpeč výrobek v kontejneru kartonem	6				62,0
W	Jdi pro vychlazený výrobek k věšáku			5		67,0
6	Vezmi vychlazený výrobek, založ jej do testu těsnosti, založ gumové držáky a stiskni START	17	63			84,0
W	Jdi ke svařovacímu robotu a počkej na něho				38	122,0
7	Vyndež svařený výrobek, zkontroluj svary a pověš jej na věšák	11				133,0
W	Jdi pro tlumič			2		135,0
8	Zkontroluj výrobek v kontrolním přípravku třikrát za směnu	1				136,0
TOTAL:		82,0	157,0	16,0	38,0	


Práce trvá operátorovi 82 sekund, chozením a čekáním stráví $16 + 38 = 54$ sekund, jeho cyklový čas je tedy $82 + 54 = 136$ sekund. To je mnohem méně, než jaké bylo očekávání. Celý rozpad cyklu s grafem je v příloze č. 4.



Z Balance Chartu lze vidět, že jeden operátor stihne práci tří operátorů s velkou rezervou, vytížení jeho cyklu je 66,67 % a vytížení samotné práce je 40,20 %, což není o tolik lepší výsledek než před změnou. Změna však přinesla hlavně snížení nákladů na pracovníky na jednu třetinu původního stavu a úsporu místa.

Na rozpadech cyklů prvních operátorů si lze všimnout zpomalení cyklu svařovacího robotu z původních 92 sekund na 94 sekund. To je důsledek korekcí, které se musejí na svařovacím robotu provádět. Čas svařování je také úzkým místem ve výrobě, jelikož operátor musí čekat, čímž nevytváří žádnou hodnotu. Dalším krokem tedy musí být zrychlení svařovacího robotu. Po domluvě s programátorem, který několikrát zkorigovaný program obnovil do původního stavu, bylo dosaženo zrychlení času robotu o 12 sekund na výsledných 82 sekund. To způsobí zkrácení času čekání taktéž o 12 sekund z původních 38 na 26, a tím i zkrácení celého cyklu ze 136 na 124 sekund, viz Tabulka 7-2.

Tabulka 7-2 Rozpadu cyklu operátora po změně a korekci robotu

 WORK COMBINATION TABLE						
Plant Name:	BCZB	Process Name:	svařování, kontrola kvality	Issue Date:	10.2.2017	
Machine no:	1215, 1237	Machine Type:	svařovací robot, leak tester	Issued by:	A. Peterík	
Sequence	WORK ELEMENT	ELEMENT TIME				
		Manual Work	Machine Time	Walk Time	Forced Wait for Machine Cycle	Operator Clock (Stop Time) Seconds
1	Založ tlumič, koncovku a první kovový nosič do přípravku	13				13,0
W	Jdi pro druhý nosič			2		15,0
2	Založ nosič	3				18,0
W	Jdi pro trubku			1		19,0
3	Založ trubku do přípravku a stiskni START	9	82			28,0
W	Jdi k testu těsnosti			4		32,0
4	Nalep nálepkou, naskenuj kód a ulož výrobek do přepravy	22				54,0
W	Jdi pro karton			2		56,0
5	Zabezpeč výrobek v kontejneru kartonem	6				62,0
W	Jdi pro vychlazený výrobek k věšáku			5		67,0
6	Vezmi vychlazený výrobek, založ jej do testu těsnosti, založ gumové držáky a stiskni START	17	63			84,0
W	Jdi ke svařovacímu robotu a počkej na něho				26	110,0
7	Vyndež svařený výrobek, zkontroluj svary a pověš jej na věšák	11				121,0
W	Jdi pro tlumič			2		123,0
8	Zkontroluj výrobek v kontrolním přípravku třikrát za směnu	1				124,0
TOTAL:		82,0	145,0	16,0	26,0	

Vytížení samotné práce se tedy nezmění, ale vytížení cyklu ano.

$$\frac{124}{204} \cdot 100 = 60,78 \% \quad (11)$$

Podle definice, která říká, že vytíženost cyklu by měla být 96 %, by bylo možné, aby operátor stihl vyrobit za směnu mnohem více kusů. Tento počet zjistíme zpětným výpočtem.

$$TT = \frac{124 \cdot 100}{96} = 129,17 \text{ s} \quad (12)$$

$$\frac{25\,500}{129,17} = 197,41 \cong 197 \text{ kusů} \quad (13)$$

Operátor by měl být schopný vyrobit 197 kusů za směnu. Celý rozpad cyklu s Ganttovým diagramem je k nalezení v příloze č. 5.

Na základě této analýzy byla na lince norma nastavena na 180 kusů za osmihodinovou směnu.

$$\frac{25\,500}{180} = 141,67 \cong 142 \text{ s} \quad (14)$$

Takt Time tedy bude 142 sekund. To dává při délce práce 82 sekund její vytížení:

$$\frac{82}{142} \cdot 100 = 57,75 \% \quad (15)$$

Při délce cyklu 124 sekund bude jeho vytížení:

$$\frac{124}{142} \cdot 100 = 87,32 \% \quad (16)$$

Linka má tedy ještě časovou rezervu ve výši:

$$\frac{100 - 87,32}{100} \cdot 25\,500 = 3233,4 \text{ s} = 53,89 \text{ min} \cong 54 \text{ min} \quad (17)$$

54 minut na směnu pro případné korekce robotu či přestavbu.

Původně byla linka nakonfigurována pro tři operátory, taktéž probíhala na lince stoprocentní kontrola všech kusů v kontrolním přípravku, což je podle zákaznického kontrolního plánu zbytečně mnoho. Vytížení práce na lince bylo 32,68 % a vytížení cyklu 70,10 %. Přestavbou strojů a vyřazením přebytečné kontroly přesnosti v každém cyklu bylo dosaženo úspory dvou operátorů na směně, vytížení prací stouplo na 40,20 % a vytížení cyklem stouplo na 66,67 %. Dalším zlepšením bylo zrychlení svařovacího robotu z 94 na 92 sekund, to snížilo cyklový čas o 12 sekund. Po kalkulaci vyšel možný počet vyrobitelných kusů 197 kusů za směnu. Díky této kalkulaci byla zvýšena směnová norma ze 125 na 180 kusů. Vytížení práce tedy stouplo na 57,75 % a vytížení cyklu na 87,32 %. To znamená, že na lince je stále časová rezerva pro přestavbu či korekce robotu ve výši 54 minut. Celkově se tedy vytížení práce zvedlo o 25,07 % a cyklu o 17,22 %.

8 Srovnání výsledků naměřených časů a metody MOST po provedených změnách

Po provedených změnách na lince bude ještě jednou provedena analýza metodou MOST, viz Tabulka 8-1, a bude tak znovu ověřena její přesnost. Operátor na lince nejprve založí svařovací robot a po jeho zapnutí jde k testu těsnosti, ve kterém již čeká zkontrolovaný kus. Operátor nalepí štítek, naskenuje jej, vyjme výrobek a uloží jej do přepravy. Následně jde pro další kus, který spolu s gumovými držáky založí do testu těsnosti a stiskne START. Poté operátor počká na svařovací robot, než dokončí svou práci, a poté hotový svařenec vyjme, zkontroluje svary a pověsí jej na věšák.

Tabulka 8-1 MOST sekvence operátora po změně

P.č.	Popis	Se	Sekvence										Fr	TMU	Čas [s]
1	Založení boxu do robotu	V	A 6 B 0 G 1	A 1 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	0	1	110	3,96
2	Založení koncovky do robotu	V	A 1 B 0 G 1	A 1 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	90	3,24	
3	Založení prvního kovového držáku do robotu	V	A 1 B 0 G 1	A 1 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	90	3,24	
4	Upnutí první upínky	R	A 1 B 0 G 1	M 1 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	30	1,08	
5	Založení druhého kovového držáku do robotu	V	A 6 B 0 G 1	A 3 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	160	5,76	
6	Založení trubky do robotu	V	A 3 B 0 G 3	A 3 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	150	5,40	
7	Upnutí šesti upínek	R	A 3 B 0 G 1	M 1 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	100	3,60	
8	Stisknutí tlačítka START	R	A 3 B 0 G 1	M 1 X 220 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	2250	81,00	
9	Nalepení štítku na výrobek zkontrolovaný v leak testeru	V	A 10 B 0 G 3	A 1 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	200	7,20	
10	Naskenování nalepeného štítku	NR	A 1 B 0 G 0	A 0 B 0 P 0	R 1	A 0 B 0 P 3	A 0					1	50	1,80	
11	Čekání na uvolnění výrobku z leak testeru	R	A 0 B 0 G 0	M 0 X 3 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	30	1,08	
12	Vyjmutí výrobku z leak testeru a uložení do přepravy	V	A 3 B 0 G 3	A 16 B 3 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	310	11,16	
13	Založení vychladnutého výrobku do leak testeru	V	A 16 B 0 G 3	A 6 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	1	280	10,08	
14	Upnutí tří upínek	R	A 1 B 0 G 3	M 1 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	70	2,52	
15	Založení prvního gumového držáku	V	A 1 B 0 G 1	A 1 B 0 P 6	A 0	0	0	0	0	0	0	1	90	3,24	
16	Upnutí čtvrté upínky	R	A 6 B 0 G 1	M 1 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	80	2,88	
17	Založení druhého gumového držáku	V	A 1 B 0 G 1	A 1 B 0 P 3	A 0	0	0	0	0	0	0	1	60	2,16	
18	Stisknutí tlačítka START	R	A 3 B 0 G 1	M 3 X 0 I 0	A 0	0	0	0	0	0	0	1	70	2,52	
1	Vyjmutí, kontrola svarů a pověšení	NT	A 6 B 0 G 3	A 6 B 0 P 1	T 10	A 1 B 0 P 3	A 3					1	330	11,88	
119,16															

Průměrná naměřená délka cyklu byla 124 sekund, délka cyklu analyzovaná metodou MOST má 119,16 sekund. Rozdíl je tedy 4,84 sekundy. Sekvence 9 až 18 (44,64 sekund) probíhají za běhu stroje, který běží 82 sekund od sekvence 8, operátor má tedy dost času obsloužit leak tester a uložit hotový výrobek do přepravy.

Tabulka 8-2 Rozšířené srovnání výsledků MOST a chronometráže

		MOST	chronometráž	rozdíl	procentuální rozdíl	výkonnost operátorů
operátoři před změnou	1. operátor	137,52 s	143 s	5,48 s	3,98 %	97 %
	2. operátor	104,40 s	108 s	3,60 s	3,45 %	97 %
	3. operátor	36,36 s	39 s	2,64 s	7,26 %	93 %
operátor po změně	operátor	119,16 s	124 s	4,84 s	4,06 %	96 %
průměrný procentuální rozdíl					4,69 %	96 %

Zprůměrované procentuální rozdíly vycházejí do 5 % a výkonnost operátorů všech čtyř analýz 96 %, což je přijatelné.

9 Vyčíslení změn

Oproti původnímu stavu byla tedy vytíženost cyklu zvýšena z původních 70,10 % na 87,32 % a vytíženost samotné práce z původních 32,68 % na 57,75 %, viz Obrázek 9-1. Dále pak byla navýšena produkce z původních 125 kusů za směnu na 180 kusů. A nejzásadnější změnou je ušetření dvou pracovníků na lince, což ve dvousměnném provozu činí čtyři pracovníky. S měsíčními náklady na jednoho pracovníka, činícími 1 000 EUR za měsíc, je to úspora 4 000 EUR za měsíc, tedy 48 000 EUR za rok. Při přepočtu kurzem 1 EUR = 27 CZK tak vzniká úspora 1 296 000 CZK za rok. Dalším ukazatelem je produktivita práce, kterou lze spočítat takto:

Disponibilní čas pracovníka na lince v hodinách:

$$\frac{25\,500}{3\,600} = 7,083 \text{ hodin} \quad (18)$$

Hodinový výkon linky v původním stavu tedy byl:

$$\frac{125}{7,083} = 17,648 \text{ kusů / hodinu} \quad (19)$$

Hodinový výkon linky po změně je:

$$\frac{180}{7,083} = 25,413 \text{ kusů / hodinu} \quad (20)$$

17,648 kusů za hodinu = 100 %

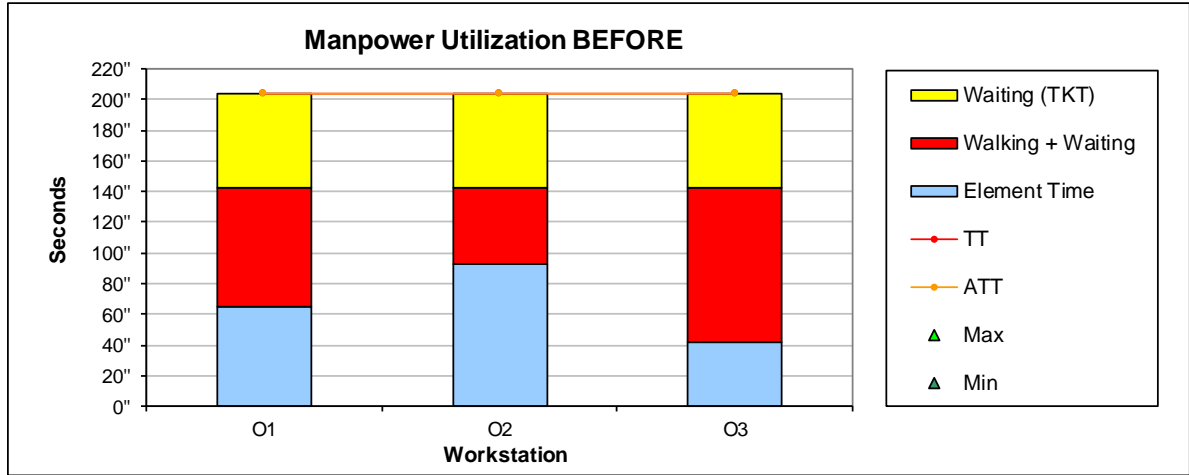
25,413 kusů za hodinu = 143,999 %

Produktivita práce se tedy zvýšila o 44 %.

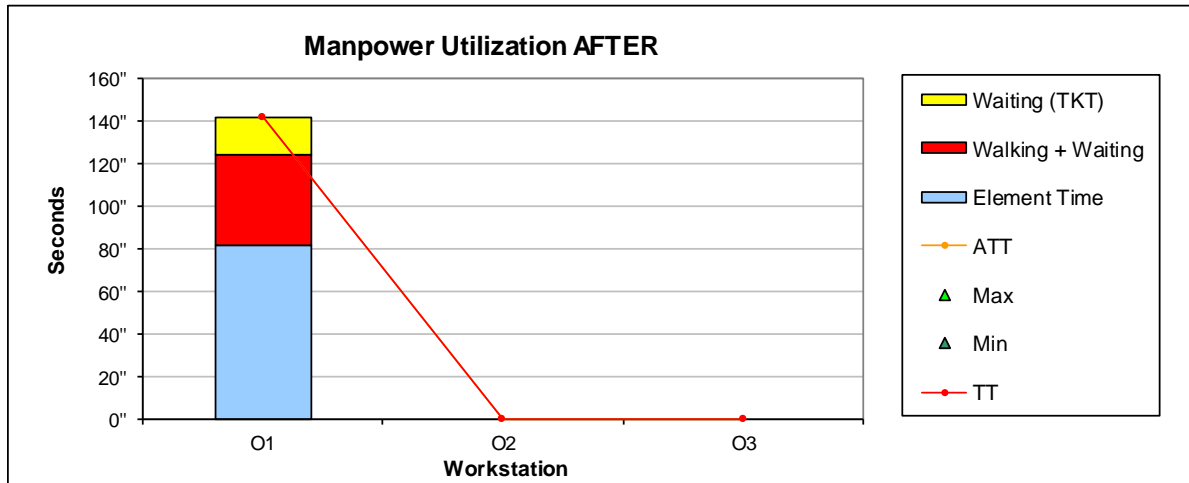


TEAM MEMBER BALANCE CHART

TT 204" ATT 204"



$\sum \frac{ET}{ATT} = \frac{200''}{612''} = 32,68\%$	<div style="border: 1px solid black; background-color: #e0ffe0; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">BEFORE</div> Date: 17.7.2015
$\sum \frac{CT}{ATT} = \frac{429''}{612''} = 70,10\%$	



$\sum \frac{ET}{ATT} = \frac{82''}{142''} = 57,75\%$	<div style="border: 1px solid black; background-color: #ffe0ff; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">AFTER</div> Date: 9.3.2017
$\sum \frac{CT}{ATT} = \frac{124''}{142''} = 87,32\%$	

Obrázek 9-1 Srovnání vybalancování linky 2

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo nastudovat teorii štíhlého podniku, především pak štíhlé výroby. Nejprve byli zmapovány důležité metody průmyslového inženýrství, které se snaží výrobu zeštíhlovat. Důraz byl kladen na metody analýzy stavu výrobních linek, hlavně pak na metody měření času výrobních operací, kterými jsou chronometráž, a metody předem určených časů MTM a MOST. Tyto dvě metody byly popsány velice podrobně. Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vybalancovat výrobní linku pro dosažení co největší úspory času a lidských zdrojů, a dalším cílem bylo ověřit naměřené časy metodami předem určených časů MTM a MOST. Metoda MTM nebyla nakonec použita, jelikož je určena pro operace do 30 sekund, a proto není vhodná pro ověření operací na analyzované lince. Proto byly provedeny čtyři MOST analýzy, nejprve tři pro počáteční stav linky a poté jedna pro jednoho operátora na lince po změně. Průměrná odchylka naměřených časů a časů analyzovaných metodou MOST vyšla 4,69 % což je přijatelné.

Výsledky balancování výrobní linky jsou velmi kladné, došlo k zefektivnění vytiženosti cyklových časů z původních 70,10 % na nynějších 87,32 % a k navýšení produkce z původních 125 kusů na nynějších 180 kusů za směnu. Nejlepším výsledkem je však úspora čtyř pracovníků (dva pracovníci na směně při dvousměnném provozu), což sníží náklady firmy o 1 296 000 CZK za rok, pokud budeme odhadovat průměrné měsíční náklady na jednoho pracovníka na 1000 EUR. Linka v konfiguraci pro 3 pracovníky dokázala vyprodukovat 125 kusů za směnu. V konfiguraci pouze pro jednoho operátora nyní dokáže vyprodukovat 180 kusů za směnu. Všechna uvedená opatření vedou k tomu, že se produktivita na lince zvýšila o 44 %.

Seznam použité literatury

- [1] BUREŠ, M.: Tvorba a optimalizace pracoviště, e-book. Plzeň: SmartMotion, 2013. ISBN: 978-80-87539-32-3.
- [2] EDL, M., KUDRNA, J.: Metody průmyslového inženýrství, e-book. Plzeň: SmartMotion, 2013. ISBN: 978-80-87539-40-8.
- [3] IMAI, M.: Kaizen – metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku. Brno, Computer press 2004, ISBN: 978-80-251-1621-0.
- [4] KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z. a kolektiv.: Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, s. r. o., 2006. ISBN: 80-86851-38-9.
- [5] KRÁL, M.: Metody a techniky užití v ergonomii. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2001. 154 s. ISBN: 80-238-7930-8.
- [6] ŠIMON, M. *Průmyslové inženýrství 2007*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007, CD-ROM s. ISBN: 978-80-7043-619-6
- [7] *Zákon č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník* [online]. [Cit. 12.11.2016]. Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pravo/zakony/obchzak/cast1.aspx>
- [8] *Deming Cycle, PDCA* [online]. [Cit. 13.11.2016]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/dictionary/deming-cycle-pdca/>
- [9] *Our Founder – Karel Bos* [online]. [Cit. 23.11.2016]. Dostupné z: <http://www.bosal-towbars.co.uk/our-founder-karel-bos>
- [10] *About Bosal* [online]. [Cit. 26.11.2016] Dostupné z: <http://www.bosal.com/en/about-bosal>
- [11] *Deming Cycle: The Wheel of Continuous Improvement* [online]. [Cit. 13.11.2016]. Dostupné z: <https://totalqualitymanagement.files.wordpress.com/2009/02/deming-wheel4.png>
- [12] *Tugger trains for Lean production* [online]. [Cit. 14.11.2016]. Dostupné z: <http://ke-intralogistik.com/en/facts/tugger-trains-for-lean-production.html>
- [13] *VSM Value Stream Mapping* [online]. [Cit. 14.11.2016]. Dostupné z: <http://leanmanufacturingtools.org/549/vsm-value-stream-mapping/>
- [14] NAEYE, P.: Bosal 5S training standard. Interní dokumentace BOSAL ČR, spol. s.r.o.
- [15] *Moving from “Visuals“ to “Visual Management“ and to Broader Lean Thinking* [online]. [Cit. 16.11.2016]. Dostupné z: <http://www.leanblog.org/2015/08/moving-from-visuals-to-visual-management-and-lean-thinking/>
- [16] BUREŠ, M.: Výukové materiály předmětu Řízení a organizace práce
- [17] KURKIN, O., BUREŠ, M. Evaluation of operational times by MTM methods in the digital factory environment. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of The 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna: DAAAM International Vienna, TU Wien, 2011. s. 671-672. ISBN: 978-3-901509-83-4, ISSN: 1726-9679
- [18] *Tecnomatix* [online]. [Cit. 5.12.2016]. Dostupné z: http://www.priemyselneinzierstvo.sk/?page_id=1546

- [19] *Metody a nástroje* [online]. [Cit. 5.12.2016]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/24882-metody-a-nastroje>
- [20] *BOSAL VÝFUKOVÉ SYSTÉMY* [online]. [Cit. 6.12.2016]. Dostupné z: http://www.mjauto.cz/vyfuky_BOSAL.htm
- Emission Control Systems* [online]. [Cit. 6.12.2016]. Dostupné z: <http://www.bosal.com/en/products-services/original-equipment-market/emission-control-systems>

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Pilíře štíhlého podniku [19]	9
Obrázek 2-1 PDCA cyklus [11]	12
Obrázek 2-2 Vizualizace jednokartového a dvoukartového systému KANBAN [2].....	13
Obrázek 2-3 Milkrun cyklus [12]	13
Obrázek 2-4 Value Stream Mapa [13]	14
Obrázek 2-5 JIDOKA cyklus [2]	16
Obrázek 2-6 Návod na výměnu nástroje pro operátora [interní dokumentace Bosal]	18
Obrázek 2-7 Stav před 5S vlevo a stav po zavedení 5S vpravo [14]	19
Obrázek 2-8 Vizualní management použitý pro krabičky na stole [15].....	19
Obrázek 2-9 Spaghetti diagram [interní dokumentace Bosal]	20
Obrázek 3-1 Reálné pracoviště (nahore) a model pracoviště (dole) [17].....	23
Obrázek 3-2 Tecnomatix Process Designer [18].....	24
Obrázek 3-3 Podmínky symetrie podle metody MTM [1].....	29
Obrázek 3-4 Moment měření [16].....	33
Obrázek 4-1 Výrobní závod BOSAL ČR [20]	34
Obrázek 4-2 Výfukový systém Bosal [10]	34
Obrázek 5-1 Náskres výrobku	35
Obrázek 5-2 Původní layout linky	36
Obrázek 5-3 Původní vytížení operátorů na lince	41
Obrázek 7-1 Layout linky po změně	46
Obrázek 7-2 Srovnání vybalancování linky	48
Obrázek 9-1 Srovnání vybalancování linky 2	55

Seznam tabulek

Tabulka 3-1 Porovnání výsledných časů [17]	22
Tabulka 3-2 Rozdělení pohybů podle metody MTM [1]	26
Tabulka 3-3 Tabulka pohybů podle metody Basic MOST [1]	31
Tabulka 3-4 Metody chronometráže [16]	32
Tabulka 5-1 Náhled rozpadu cyklu 1. operátora	38
Tabulka 5-2 Náhled rozpadu cyklu 2. operátora	39
Tabulka 5-3 Náhled rozpadu cyklu 3. operátora	40
Tabulka 6-1 MOST sekvence 1. operátora	42
Tabulka 6-2 MOST sekvence 2. operátora	43
Tabulka 6-3 MOST sekvence 3. operátora	44
Tabulka 6-4 Srovnání výsledků MOST a chronometráže	44
Tabulka 7-1 Náhled rozpadu cyklu operátora po změně	47
Tabulka 7-2 Rozpadu cyklu operátora po změně a korekci robotu	50
Tabulka 8-1 MOST sekvence operátora po změně	52
Tabulka 8-2 Rozšířené srovnání výsledků MOST a chronometráže	53

Seznam příloh

Příloha č. 1: Rozpad cyklu prvního operátora před změnou

Příloha č. 2: Rozpad cyklu druhého operátora před změnou

Příloha č. 3: Rozpad cyklu třetího operátora před změnou

Příloha č. 4: Rozpad cyklu operátora po změně

Příloha č. 5: Rozpad cyklu operátora po změně a korekci robotu

PŘÍLOHA č. 1

Rozpad cyklu prvního operátora před změnou

PŘÍLOHA č. 2

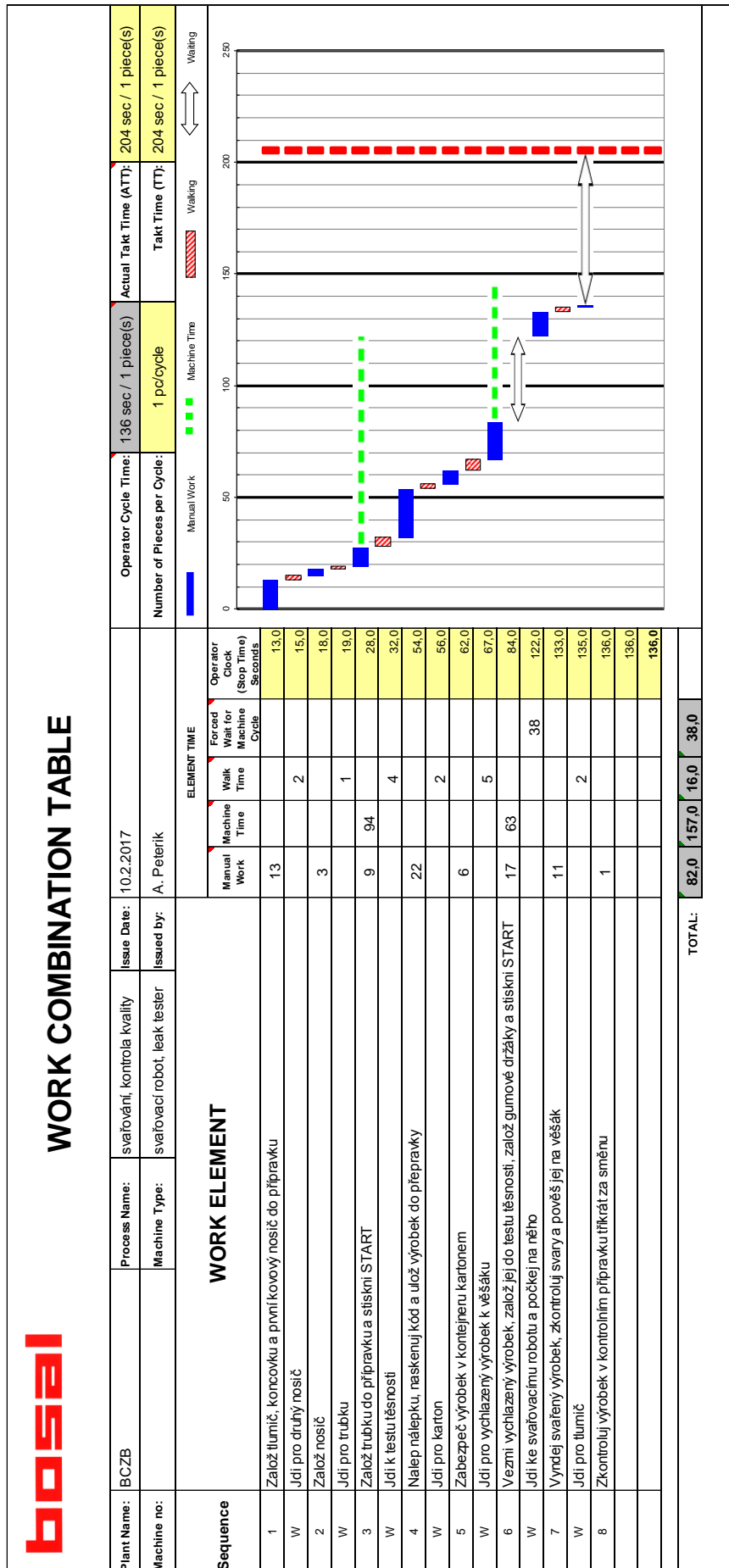
Rozpad cyklu druhého operátora před změnou

PŘÍLOHA č. 3

Rozpad cyklu třetího operátora před změnou

PŘÍLOHA č. 4

Rozpad cyklu operátora po změně



PŘÍLOHA č. 5

Rozpad cyklu operátora po změně a korekci robotu

