

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## **Návrh montážní linky šroubových kompresorů**

### The Proposal of Assembly Line for the Screw Compressor

Student:

Bc. Pavel Říha

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Martin Zahrada

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Říha**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh montážní linky šroubových kompresorů**  
**Proposal of Assembly Line for the Screw Compressor**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Představení problematiky montáže šroubových kompresorů.
2. Popis současného stavu montáže.
3. Návrh variant řešení montážní linky.
4. Výběr optimální varianty řešení montážní linky.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

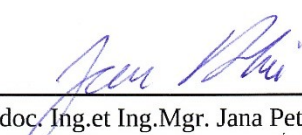
- [1] DUŠÁK, K. *Technologie montáže. Základy*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2005. 116 s. ISBN 80-7083-906-6.  
[2] PETRŮ, J.; ČEP, R. *Základy montáže*. Ostrava : Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012. s. 123. ISBN 978-80-248-2773-5.  
[3] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.  
[4] WHITNEY, Daniel E. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. Oxford : Oxford University Press, USA, 2004. 544 p. s. ISBN 978-01-951-5782-6.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 15. 5. 2017 .....

..... Pavel Říčan .....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 15.5.2017 .....

..... Pavel Říha .....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Pavel Říha

Adresa trvalého pobytu autora práce: Paseka 227, Paseka, 783 97.



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŘÍHA, P. *Návrh montážní linky šroubových kompresorů: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 57 s. Vedoucí práce: doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem montážní linky v podniku Ingersoll-Rand CZ s.r.o. V úvodu je popsána problematika mapování hodnotového toku materiálu, produktivity výroby a ergonomie práce. V praktické části je vypracován popis současného stavu výrobní linky, stručné seznámení s jednotlivými pracovišti a kapacitní výpočty současného stavu. Po zhodnocení stávajícího stavu jsou navrženy dvě varianty montážních linek. V závěru bylo provedeno ekonomické zhodnocení nového návrhu a posouzení zlepšení ergonomie práce a finanční návratnosti.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

ŘÍHA, P. *The Proposal of Assembly Line for the Screw Compressor: Master thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2017, 57 pages. Thesis head: doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

The master's thesis introduces a design of the assembly line in the company Ingersoll-Rand CZ, s.r.o. First the issue of mapping the value stream of material, manufacturing productivity and work ergonomics are described. In the practical part of the thesis a description of current state of production line, brief introduction to each workplace and capacity calculations of the current state are elaborated. After evaluation of the current state, two versions of solution are designed considering the ballast balance of particular workplaces. In conclusion, the economic evaluation of the new design and the improvement of ergonomics and financial return was carried out.

## Obsah

Seznam použitého značení .....	8
Úvod.....	9
1 Představení problematiky montáže šroubových kompresorů .....	10
1.1 Základní údaje o společnosti Ingersoll-Rand s.r.o.....	10
1.2 Technologie šroubových kompresorů.....	11
1.3 Štíhlá výroba .....	12
1.4 Systém Kanban .....	14
1.5 Metoda 5S.....	15
1.6 Systém MUDA - 8 hlavních forem plýtvání.....	16
1.7 Systém Poka Yoke .....	17
2 Popis současného stavu montáže .....	18
2.1 Představení zástupců strojů montovaných na lince .....	18
2.2 Zhodnocení současného stavu montážní linky .....	19
2.3 Popis jednotlivých pracovišť .....	24
2.4 Současné uspořádání pracovišť a Spaghetti diagram pohybu operátora .....	27
3 Návrh variant řešení montážní linky .....	29
3.2 Varianta uspořádání montážní linky č. 1 .....	31
3.3 Varianta uspořádání montážní linky č. 2 .....	33
3.4 Volba nejvhodnější varianty uspořádání montážní linky .....	34
4 Výběr optimální varianty řešení montážní linky.....	35
4.1 Zhodnocení nového stavu montážní linky .....	35
4.2 Popis jednotlivých pracovišť .....	35
4.3 Zvolené uspořádání pracovišť a Spaghetti diagram pohybu operátora .....	44
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	48
Závěr.....	53
Poděkování.....	54

Seznam použité literatury.....	55
Seznam příloh.....	57

## Seznam použitého značení

Označení	Význam	Jednotka
D	počet kalendářních dnů v roce	[dny]
$D_D$	počet dnů dovolené v kalendářním roce	[dny]
$D_N$	počet neděl v kalendářním roce	[dny]
$D_S$	počet sobot v kalendářním roce	[dny]
$D_V$	počet státních svátků v kalendářním roce	[dny]
$F_D$	fond počtu pracovních dní v kalendářním roce	[dny]
$F_P$	fond montážní linky za kalendářní rok	[hod/rok]
g	celkový počet pracovišť	[-]
H	počet hodin jedné směny	[hod]
$k_z$	firemní součinitel plánovaných prostojů	[%]
L	vzdálenost přesunu operátora pro jeden kus	[m]
$Q_R$	roční požadavek dílů	[ks]
S	počet směn	[-]
$T_{V1}$	takt vypočítaný	[min]
tcp	celkový průměrný čas montáže jednoho stroje	[min]

## Úvod

V dnešní době a nepřetržitém rozvoji musí každý podnik neustále sledovat konkurenci a reagovat na všechny její kroky. Je velice důležité neustále investovat do rozvoje nových a konkurence schopnějších technologií, moderních přístrojů a vybavení, nebo se i pokusit sloučit výrobu s dalšími podniky.

Společnost Ingersoll Rand se nepřetržitě a neustále snaží zvyšovat kapacitu své výroby, také ale klade velký důraz na efektivitu a ergonomii při montáži.

Cílem diplomové práce je prověřit současný stav montážní linky šroubových kompresorů a zvolit ze dvou navržených variant pro podnik nejvhodnější řešení. V úvodní části práce jsme seznámeni se základními částmi kompresoru, prvky štíhlé výroby a rozbohem současného stavu montážní linky. Po zhodnocení stavu budou navrženy dvě varianty montážní linky. V obou z těchto návrhů bude také kladen důraz na vyvážení pracnosti operací, aby byla co možná nejlépe rozložena časová náročnost jednotlivých na sebe navazujících pracovišť. Cílem navrhovaných řešení je definování času taktu na montážní lince, snížení zásoby materiálu na dva takty, zkrácení vzdálenosti přesunu operátora alespoň o 15 %, zredukování počtu pracovišť a eliminování nebezpečných operací montáže.

V závěru této práce budou vyhodnocena navrhovaná řešení a bude zvolena pro podnik nejvhodnější varianta.



*Obr. 1 Montovaný šroubový kompresor R190-225 NE [1]*

# 1 Představení problematiky montáže šroubových kompresorů

## 1.1 Základní údaje o společnosti Ingersoll-Rand s.r.o.

Společnost Ingersoll Rand (IR), jejíž centrála sídlí v New Jersey, USA, je významnou strojírenskou firmou a globálním poskytovatelem inovací a řešení se silnými značkami a vedoucí pozicí v rámci světového trhu. IR má přes 45 000 zaměstnanců ve stove výrobních závodů po celém světě. Do České republiky přišla společnost v roce 1992, do Kolína, kde vlastní závod na výrobu chladicích a klimatizačních jednotek pro nákladní automobily, autobusy a kolejová vozidla. Kromě toho má také pobočku v Uničově. V souhrnu Ingersoll Rand vyrábí v České republice stroje a zařízení o celkovém ročním objemu přes 6 miliard Kč. [2][3]

Ingersoll Rand v Uničově je nejmladším závodem společnosti Ingersoll Rand v České republice, který byl postaven na „zelené louce“ během sedmi měsíců a výroba byla zahájena v srpnu roku 2002. Závod v tomto městě se specializuje na montáž a testování stacionárních šroubových kompresorů ve výkonovém spektru od 1 do 350 kW a od října roku 2004 také na montáž dvou až čtyřválcových pístových kompresorů, určených pro chladicí okruhy nákladních automobilů a autobusů. Více než 98 % její produkce je směřováno na zahraniční trhy. Výrobní závod v České Republice je evropským distribučním centrem a v současné době je zde zaměstnáno více než 170 pracovníků nejrůznějších technických profesí. [3]



**Obr. 2** Sídlo podniku Ingersoll-Rand CZ s.r.o. v Uničově [3]

## 1.2 Technologie šroubových kompresorů

Základním a nejdůležitějším prvkem každého šroubového kompresoru je šroubový blok. Tento šroubový blok je tvořen ze dvou šroubovic s asymetrickým profilem rotujících proti sobě, které díky tomuto pohybu stlačují vzduch.



*Obr. 3 Šroubový blok [4]*

### Výhody tohoto typu kompresoru:

- efektivnější stlačování vzduchu (až 95 % nasávaného vzduchu při nižších nákladech),
- určení pro nepřetržitý provoz,
- výstupní tlak nekolísá, bez vibrací.

Šroubový kompresor je mnohem složitější ve srovnání s jednoduššími pístovými kompresory. Na obrázku níže lze vidět základní popis částí:

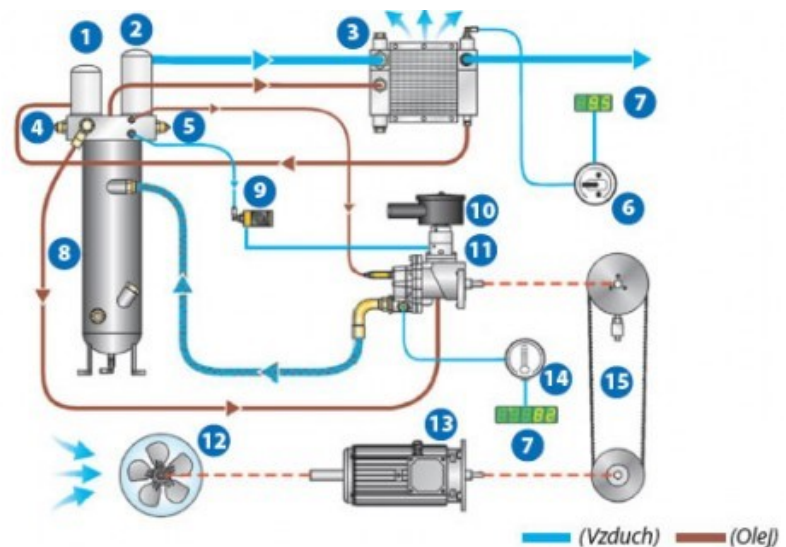


- |                    |                           |                             |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. filtrační panel | 6. vzduchový chladič      | 11. šroubový blok           |
| 2. nouzový stop    | 7. rozvaděč               | 12. motor                   |
| 3. řídicí jednotka | 8. frekvenční měnič       | 13. řemenový pohonný systém |
| 4. vzduchový filtr | 9. separační nádoba oleje | 14. klínové řemeny          |
| 5. olejový chladič | 10. axiální ventilátor    |                             |

*Obr. 4 Popis částí šroubového kompresoru [4]*

**Oběhový diagram**

- 1 - olejový filtr
- 2 - separátor vzduch/olej
- 3 - vzduchově-olejový chladič
- 4 - pojistný ventil
- 5 - termostatický ventil
- 6 - řízení tlaku
- 7 - displej
- 8 - olejová nádrž
- 9 - elektromagnetický ventil sání
- 10 - sací vzduchový filtr
- 11 - šroubový blok
- 12 - chladič ventilátor
- 13 - elektromotor EFF1
- 14 - kontrola teploty
- 15 - přenosová skupina

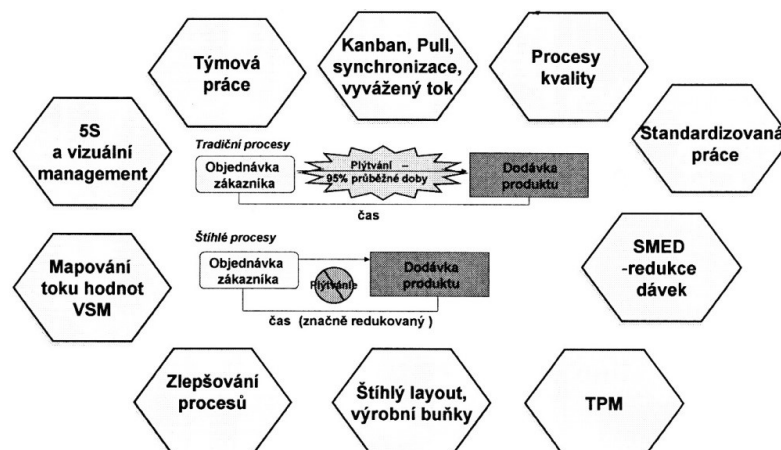


*Obr. 5 Oběhový diagram [4]*

### 1.3 Štíhlá výroba

Štíhlá výroba byla zavedena poprvé již v období 50–60. let 20. století v podniku Toyota v Japonsku. Vedení Toyoty vycházelo z předpokladu, že jsou oproti americké konkurenci prováděny zbytečné úkony navíc. Bylo rozhodnuto tyto zbytečné úkony eliminovat pro dosažení lepší a vyšší produktivity práce, při zachování maximální pružnosti výroby. [5].

Zavedení tohoto přístupu z teorie do praxe bylo připsáno jednomu z manažerů společnosti Toyota Taiichi Ohno. Zavedl v podniku novou a ojediněle postavenou výrobní linku s cílem zlepšení produktivity práce za snížení prostojů. Dělník zde tak obsluhoval i více různých strojů a díky tomuto nápadu se firmě úspěšně podařilo zvýšit produktivitu práce na téměř trojnásobek. [5]



*Obr. 6 Přehled metod štíhlé výroby [6]*



Štíhlost podniku znamená provádět jen takové nutné činnosti, které bojují proti plýtvání a jsou potřebné. Hlavním cílem je zde vyrábět ideálně bez neshodných výrobků, pokud je to možné, napoprvé a rychleji než konkurence, a tím získat ve výsledku více peněz pro podnik. Štíhlost podniku je o neustálém zlepšování a zvyšování efektivity i výkonnosti tak, že jsme schopni ve výrobním prostoru vyrobit více výrobků než konkurence. Díky této změně se nám podaří zajistit více objednávek a procesy ve výrobě standardizujeme tak, aby měly co nejmenší pracnost a vytvářely nám vyšší přidanou hodnotu. S minimalizací počtu vykonávaných činností můžeme vyrábět rychleji a vydělávat více peněz za menší dobu a při menším úsilí. [5]

Štíhlá výroba neznámá pro každou firmu jen snížení vlastních nákladů a zvýšení výroby, jde zde především o maximalizování přidané hodnoty samotnému zákazníkovi. Je zapotřebí také vytvořit co nejtěsnější spolupráci napříč jednotlivými odděleními, například s administrativou, logistikou, nebo samotnou technickou přípravou výroby podniku. Firmy často investují velké peníze do vývoje a analýz samotných procesů výroby podniku. [5]

Definice štíhlé výroby říká: „Štíhlá výroba znamená vyrábět jednoduše v samořízené výrobě. Koncentruje se na snižování nákladů přes nekompromisní úsilí po dosažení perfekcionismu. Ke každému dni ve výrobě patří principy kaizen aktivit, analýza toků a systémy kanban. Toto úsilí vtahuje do změn všechny pracovníky podniku – od vrcholového managementu až po pracovníky ve výrobě.“ [5]

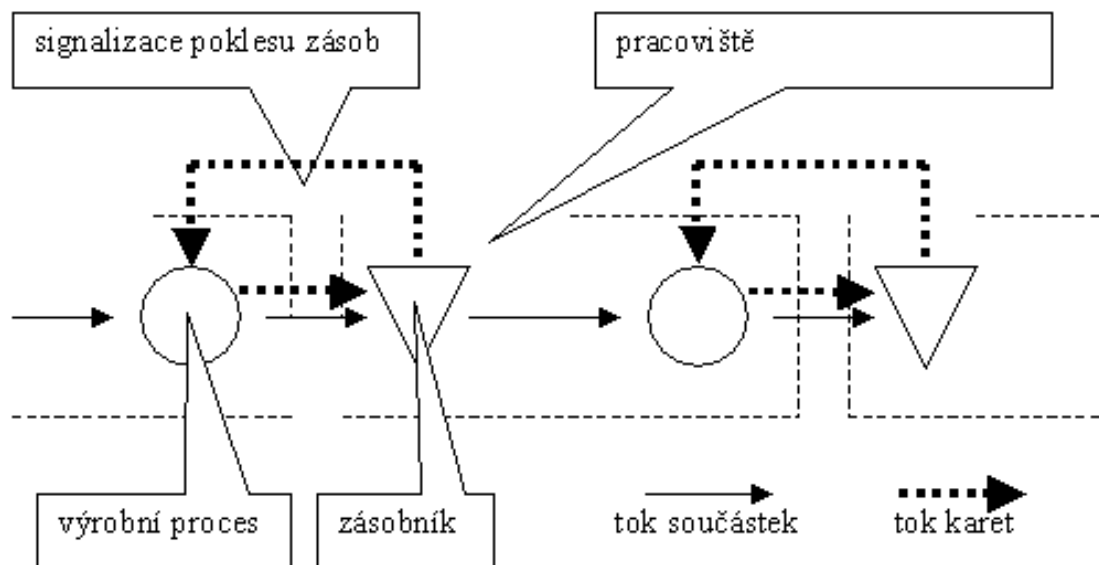
Jak tyto firmy rostou, velmi často začnou vyrábět více různých produktů v mnoha různých variantách pro uspokojení samotných potřeb zákazníků. Aby byly tyto firmy co možná nejefektivnější, zavádějí si procesní uspořádání hal, celých zařízení a firemních struktur. Často se u těchto analýz využívá tzv. **Spaghetti diagramu**. [7][6]

Spaghetti diagram slouží a zachycuje nutný pohyb pracovníka v daném časovém období. Do uspořádání montážní linky se zaznamenají jeho veškeré pohyby. Díky tomuto způsobu analýzy lze snadno a přehledně zaznamenat snímkování průběhu práce. Odhalí se tak množství chůze v pracovišti i mimo něj, což může být dobře viditelným podkladem na přeuspořádání pracoviště. Díky takovému schématu snadno zmapujeme prostor, ve kterém se operátor pohybuje. [7]

## 1.4 Systém Kanban

Systém KANBAN byl vyvinut zaměstnanci společnosti Toyota v Japonsku, jako součástí tzv. TPS (Toyota Production System). Systém Kanban funguje na principu tahového systému řízení. Vyrábí se pouze to, co opravdu požaduje zákazník, v čase a množství, v jakém je výrobek od zákazníka požadován. Finanční náklady na zavedení této metody jsou ve srovnání s jinými systémy dílenského řízení zanedbatelné. KANBAN v japonském jazyce znamená „karta“. Tento systém funguje na principu karet a jiných vizuálních signálů k řízení toku výroby nebo materiálu. [8][9]

Důležitým předpokladem pro tento systém řízení je existující okruh mezi odběratelským a dodavatelským stupněm výrobního procesu. Systém KANBAN vyznačuje pokles sledovaných zásob pod námi stanovenou hladinu. Tato informace je například pro předřazený výrobní stupeň pokynem k výrobě. Principy této metody jsou často využívány supermarketky a obchodními řetězci. [9][6]



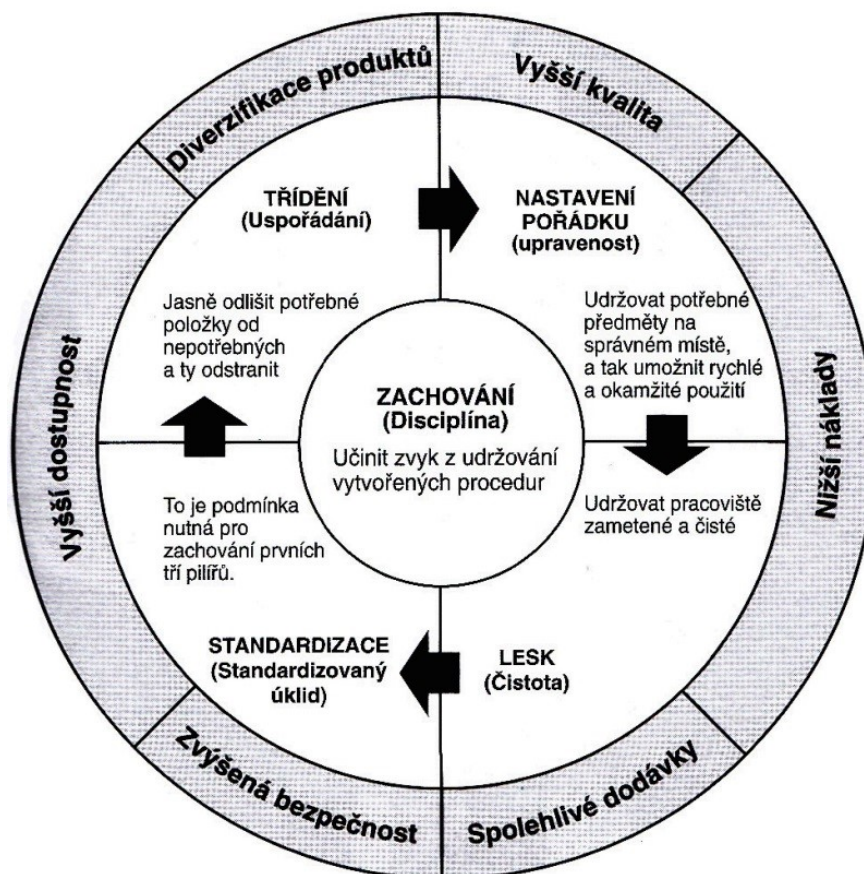
**Obr. 7** Princip činnosti systému řízení [9]

Po zavedení systému řízení KANBAN, dochází ke snižování velikostí výrobních dávek, a tím je možné lépe a pružněji reagovat na potřeby zákazníků. Při menších výrobních dávkách je v oběhu i méně dílů a materiálu, čímž je dosaženo menších požadavků na potřebný prostor. Nevyrábí se bez existující objednávky. [9]

## 1.5 Metoda 5S

Metoda 5S byla vyvinuta zaměstnanci společnosti Toyota v Japonsku, jako součást tzv. TPS (Toyota Production System). Důraz je zde kladen na efektivnost výroby i kvalitu dílů. 5S je zkratka 5-ti japonských slov, která začínají písmenem „S“. [10][11]

1. **Seiry (Sortovat)** – zachování potřebných věcí nutných pro uskutečnění dané práce a uklizení nepotřebných věcí mimo pracoviště.
2. **Seiton (Setřídít)** – umístění užívaných věcí (nářadí) tak, aby byly jednoduše k použití.
3. **Seiso (Stále čistit)** – udržování neustálé čistoty pracoviště i jeho okolí.
4. **Seiketsu (Standardizovat)** – pracovník musí vědět, co a jak používat, včetně předchozích tří metod (sortovat, setřídít a stále čistit).
5. **Shitsuke (Sebedisciplína)** – udržení pořádku na pracovišti. [10][12][19]



Obr. 8 Pět pilířů [10]

## 1.6 Systém MUDA - 8 hlavních forem plýtvání

Hlavní důraz je při zavedení tohoto systému štíhlé výroby kladen na snížení plýtvání na minimální možnou úroveň. [5][6]

**Osm nejčastějších druhů ztrát:**

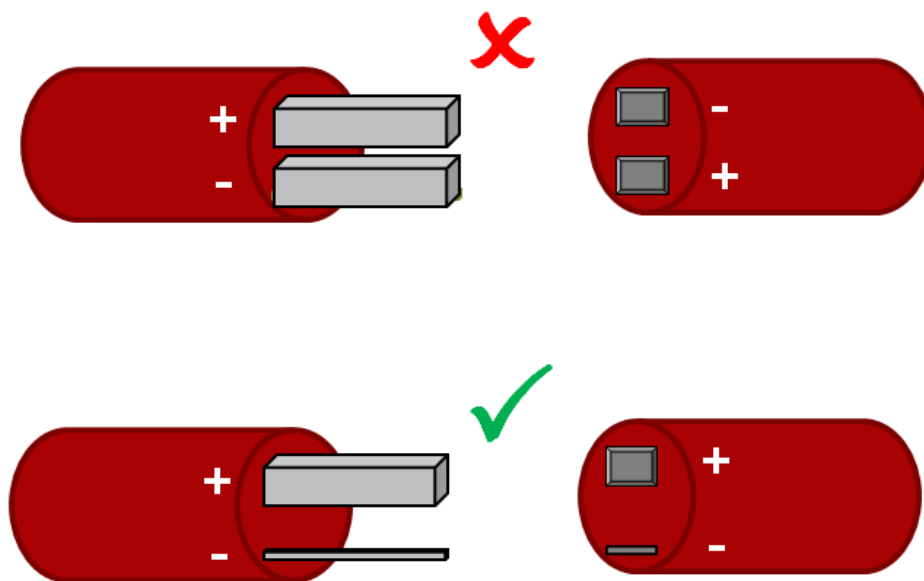
- **Chyby a neshodné výrobky** – snahou je předcházet chybám a vyrábět minimum neshodných výrobků.
- **Transport a manipulace** – každé pracoviště je třeba zásobovat materiálem. Snahou je minimalizovat každou zbytečnou manipulaci a dopravu.
- **Neefektivní práce** – vyrábět takovým způsobem, aby bylo minimum neshodných výrobků a případných budoucích oprav.
- **Nevyužití lidského potenciálu** – pracovníci na lince nejsou plně využiti po dobu taktu (směny).
- **Čekání** – pracovník čeká na navezení součástek, na materiál, nebo dokončení strojového cyklu. Na vině je například porucha stroje, nedostačující zásoba aj.
- **Zásoby** – skladování nadbytečného množství materiálu na skladě. Všechno tento materiál zabírá cenné místo.
- **Zbytečné pohyby** – zbytečné pohyby pracovníka (nejčastěji zbytečné pohyby z důvodů špatně uspořádaného pracoviště).
- **Nadvýroba** – vyrábí se bez existujících objednávek. [6][12]



*Obr. 9 Osm druhů plýtvání [12]*

## 1.7 Systém Poka Yoke

Systém Poka Yoke byl vyvinut zaměstnanci společnosti Toyota v Japonsku jako součást tzv. TPS (Toyota Production System). Poka Yoke v japonštině lze přeložit jako „chybu-vzdorný“. Tento systém je založen na mechanickém výrobním přípravku nebo mechanismu, díky kterému je pracovníkovi zabráněno způsobit vznik jakékoliv chyby. Hlavní myšlenkou tohoto systému je eliminace špatných výrobků za pomoci prevence a nápravy lidské chyby, která nejčastěji tyto defekty způsobuje. [13][14]



*Obr. 10 Ukázka Poka Yoke [15]*

## 2 Popis současného stavu montáže

### 2.1 Představení zástupců strojů montovaných na lince

Název: R90-160 I, IE, N, NE, SWC

Výkonnostní třída: 90-160 kW

Hmotnost: 3000 kg



*Obr. 11 R90-160 [16]*

Název: R200-250

R300-350

Výkonnostní třída: 200-250 kW

300-350 kW

Hmotnost: 6300 kg

6900 kg



*Obr. 12 R200-250 [17][18]*

Název:	R190-225 NE
Výkonostní třída:	190-225 kW
Hmotnost:	6000 kg



*Obr. 13 R190-225 NE [1]*

## 2.2 Zhodnocení současného stavu montážní linky

Výrobní program na této montážní lince obsahuje více typů šroubových kompresorů ve výkonovém rozsahu od 90 kW do 350 kW a současný požadavek zákazníka je 670 kusů výrobků za rok.

Prvním krokem bylo zanalyzovat současný stav, získat podrobná a potřebná data o chodu jednotlivých pracovišť a využít tyto údaje k návrhu nového layoutu.

Pro zjištění jednotlivých výrobních časů různých typů šroubových kompresorů bylo provedeno více měření v několika pracovních směnách.

V současnosti montážní linka šroubových kompresorů pracuje v jednosměnném provozu. Obsahuje celkem deset pracovišť, viz [Příloha č. 1], které jsou obsluhovány pomocí šesti operátorů. Pohyb výrobků po válečkové trati mezi pracovištěm HA02 a NF01 je řešen volným přesouváním obsluhou. Pro přesuny dílů šroubového kompresoru z palet a regálů na jednotlivá pracoviště, a poté na finální paletu, slouží jeřáb. Montážní sestava je



napříč linkou přesouvána pomocí tzv. vzduchových palet. Obsazená plocha montážní linky šroubových kompresorů činí v současném stavu **378 m<sup>2</sup>**.



*Obr. 14 Vzduchové palety*

### Využití jednotlivých pracovišť – současný stav

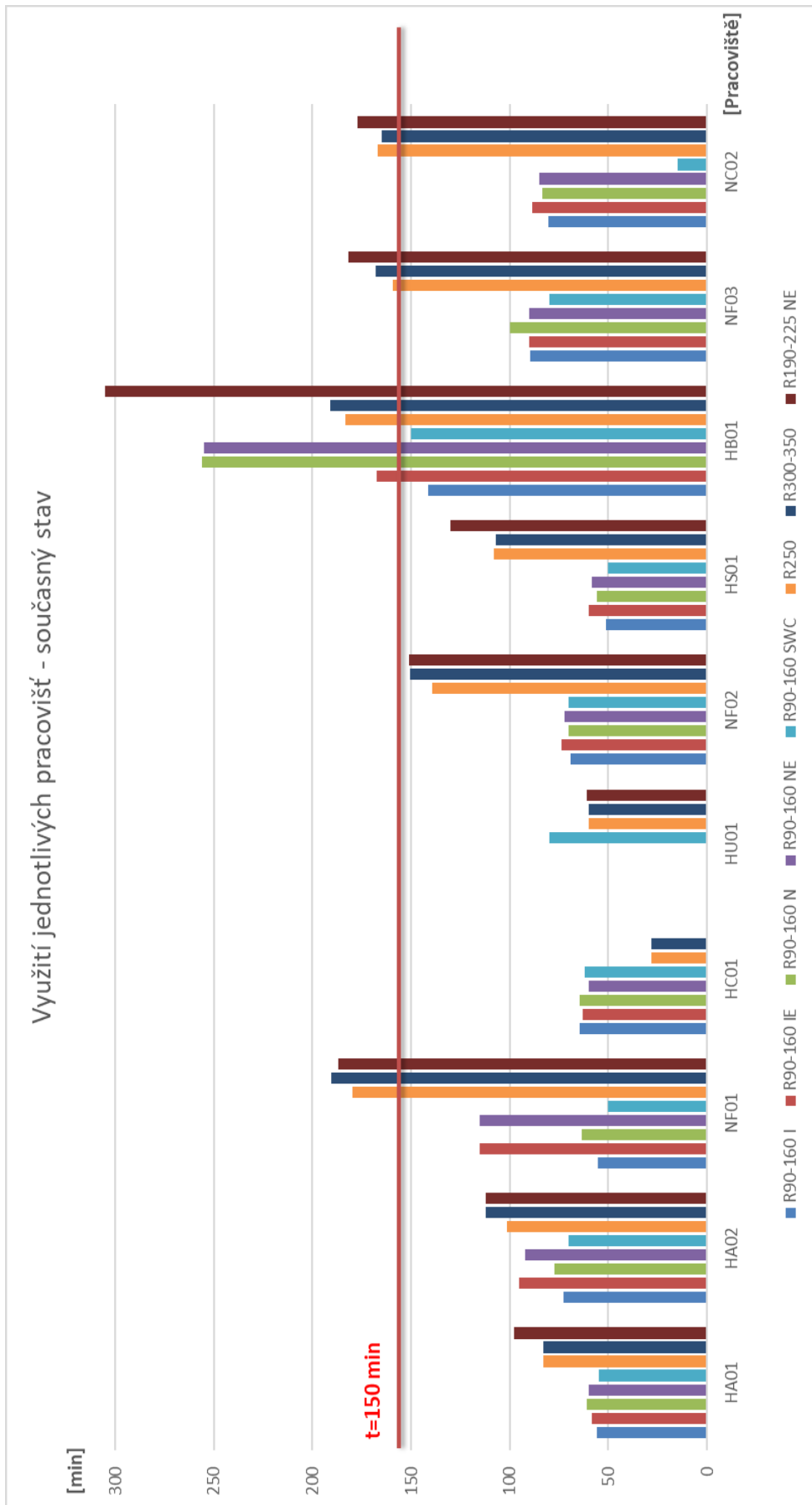
*Tab. 1 Využití jednotlivých pracovišť – současný stav*

	PRACOVISŤE [min]										Celkový čas [min]
	HA01	HA02	NF01	HC01	HU01	NF02	HS01	HB01	NF03	NC02	
<b>R90-160 I</b>	56	73	56	65	0	69	51	142	90	81	<b>680</b>
<b>R90-160 IE</b>	59	95	115	63	0	74	60	168	90	89	<b>811</b>
<b>R90-160 N</b>	61	78	64	65	0	70	56	256	100	84	<b>832</b>
<b>R90-160 NE</b>	60	92	115	60	0	72	59	255	90	85	<b>888</b>
<b>R90-160 SWC</b>	55	70	50	62	80	70	50	150	80	15	<b>682</b>
<b>R250</b>	83	102	180	28	60	139	108	183	159	167	<b>1209</b>
<b>R300-350</b>	83	112	191	28	60	150	107	191	168	165	<b>1255</b>
<b>R190-225 NE</b>	98	112	187	0	61	151	130	305	182	177	<b>1403</b>

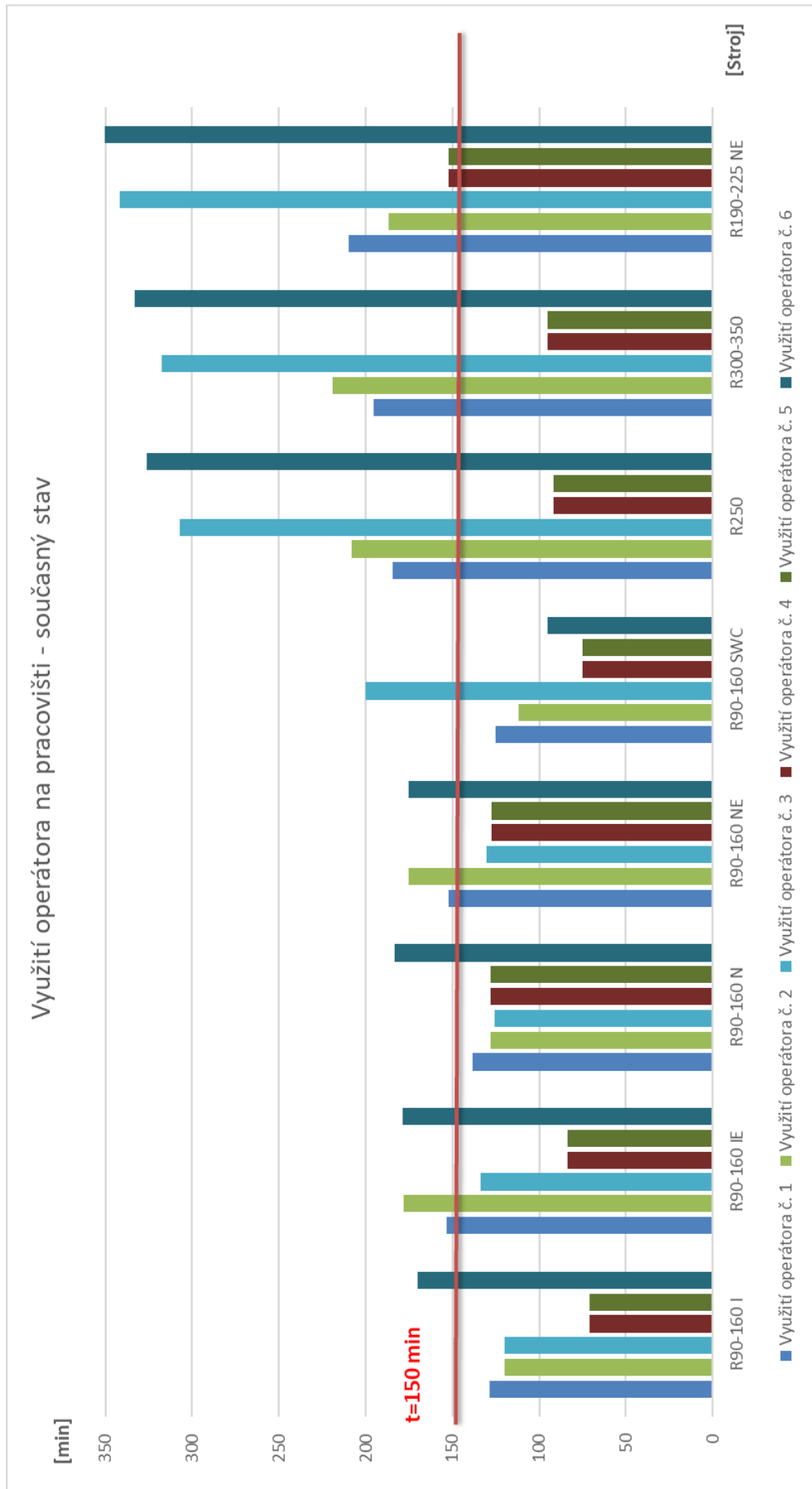


*Tab. 2 Využití operátora – současný stav*

	Využití operátora (min)					
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
<b>R90-160 I</b>	129	120	120	71	71	170
<b>R90-160 IE</b>	154	178	134	84	84	179
<b>R90-160 N</b>	139	128	126	128	128	184
<b>R90-160 NE</b>	152	175	131	128	128	175
<b>R90-160 SWC</b>	125	112	200	75	75	95
<b>R250</b>	184	208	307	92	92	326
<b>R300-350</b>	195	219	317	95	95	333
<b>R190-225 NE</b>	210	187	342	153	153	359



Obr. 15 Využití jednotlivých pracovišť – současný stav



Obr. 16 Využití operátora na pracovišti – současný stav

Na obrázku č. 15 a č. 16 lze pozorovat, že jednotlivá pracoviště nejsou vybalancována. Na lince nebyl dosud stanoven TAKT TIME, vyvážení jednotlivých pracovišť není dobré a v některých případech dochází k rozdílům větším než 90 %.

### 2.3 Popis jednotlivých pracovišť

V následujících odstavcích budou popsány úkony na jednotlivých pracovištích. Vzhledem k velmi rozsáhlému montážnímu postupu jednotlivých pracovních operací bude provedeno pouze jejich stručné shrnutí. Pro popis jednotlivých pracovišť byly poskytnuty podrobné detailní montážní postupy a kompletní výkresová dokumentace, ale vzhledem k interním směrnicím v podniku nemohou být tyto podklady v diplomové práci zveřejněny.

#### **Pracoviště HA01 + HA02:**

Operátor č. 1 obsluhuje tato dvě pracoviště. Nejdříve vloží sestavu ozubených kol do pece a nechá je nahřát na předepsanou teplotu 150 °C po dobu 30 minut. Mezitím provede kontrolu navezených hlavních dílů, kontrolu hodnot na štítku motoru a provede zevrubnou kontrolu, zda nejsou díly poškozeny. Pomocí jeřábu přemístí motor z palety na montážní stůl (válečkovou dráhu) a očistí výstupní hřídel elektromotoru od ochrany a konzervantu. Na hřídel nasune těsnění a provede kontrolu odporu vinutí motoru ohmmetrem. Po kontrole elektromotoru nasadí ochranné conduit (hadice) na kabelové svazky vedoucí z motoru. Dále na dosedací plochu elektromotoru namontuje přírubu sloužící k pozdějšímu spojení elektromotoru se šroubovým blokem. Na hřídele nasadí nahřátá ozubená kola a pomocí jeřábu provede přesun celé sestavy na válečkovou dráhu k dalšímu operátorovi.

#### **Pracoviště NF01 + HC01:**

Operátor č. 2 na tomto pracovišti provede montáž zátek do základny a montáž podpěr pod elektromotor a šroubový blok. Na tyto podpěry ustaví pomocí jeřábu celou sestavu z předchozího pracoviště. Na šroubový blok namontuje sací ventil a přepravní držáky, do základny namontuje patky pro chladič a do nich pomocí jeřábu také samotnou sestavu těchto chladičů, kterou si již připravil na svém druhém pracovišti. V posledním kroku přesune sestavu na následující pracoviště k dalšímu operátorovi.

**Pracoviště HS01 + HU01 + NF01:**

Operátor č. 3 si připraví sestavu separační nádoby oleje na pracovišti HS01, pomocí jeřábu zajistí a demontuje víko separační nádoby a zkontroluje její vnitřní části. Následně vloží do nádoby filtr a víko opět uzavře. Připojí zátky, šroubení a adaptéry. Na víko namontuje tlakový ventil. K výstupnímu otvoru zajistí teplotní ventil, připojí filtry a pomocí předepsaných momentových klíčů s definovanými momenty dotáhne veškerá šroubová spojení. Následně se operátor č. 3 přesune ke zbývajícím dvěma pracovištím a pomocí jeřábu ustaví sestavu separační nádoby do základny stroje. Posledním krokem je přesunutí sestavy na následující pracoviště k dalšímu operátorovi.



*Obr. 17 Montáž separační nádoby oleje*

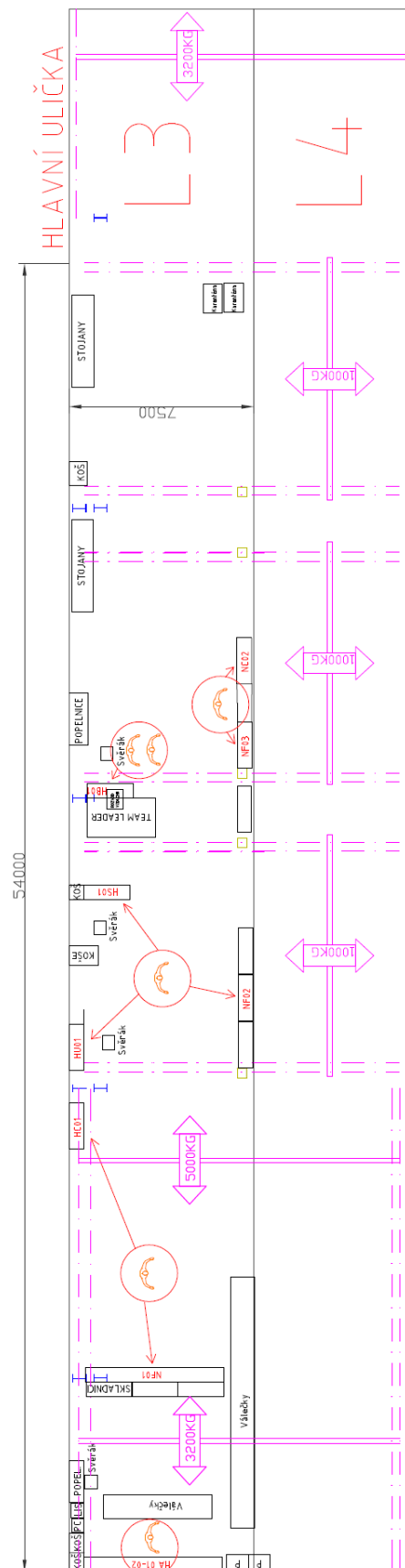
**Pracoviště HB01:**

Operátor č. 4 a operátor č. 5 (dva elektrikáři) demontují ochranný kryt z prostoru rozvaděče a pomocí jeřábu ustaví celý blok rozvaděče na základnu stroje. Ve svěráku si připraví sestavu tlakových převodníků a následně vytrasují a vyváží kabelové svazky a ovládací hadičky z tlakových převodníků po celém stroji. Svoji práci oba operátoři ukončí přesunem celé sestavy na následující pracoviště k poslednímu, šestému operátorovi.

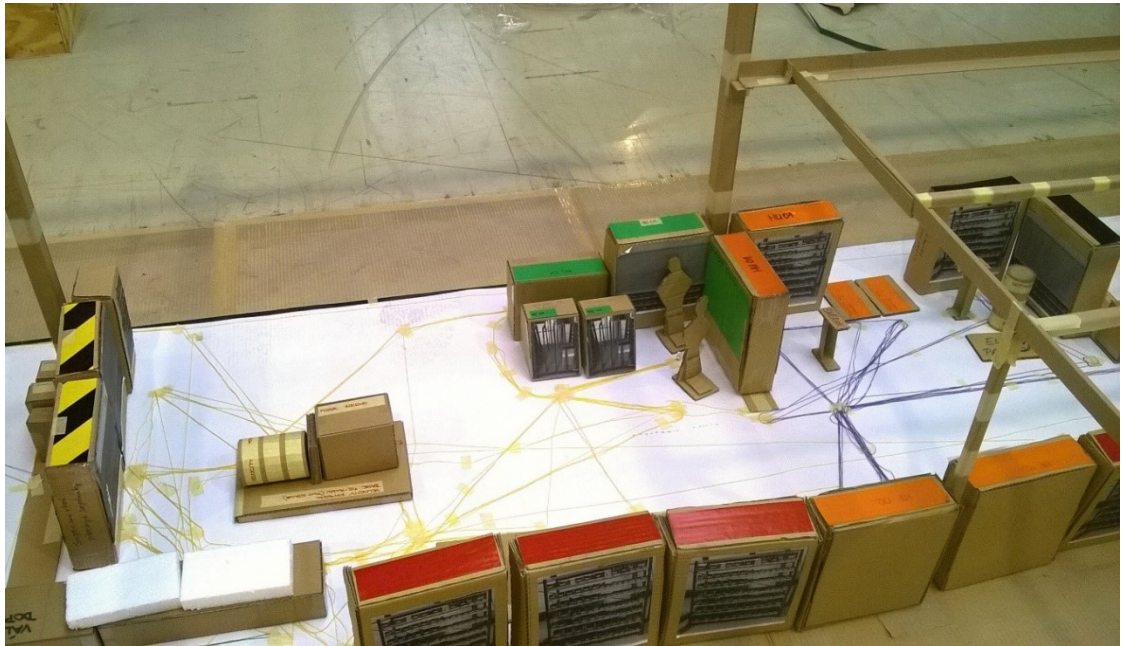
**Pracoviště NF03 + NC02:**

Operátor č. 6 provede montáž uzemňovacích kabelů a rohových panelů. Dále si připraví konstrukci pro bloky s tlumící vatou, ty namontuje do základny stroje a vyplní jednotlivé příčky tímto tlumícím materiálem. Operátor zajistí hlavní výstupní trubku, kterou namontuje k rohovému panelu. Následně ustaví boční a stropní sloupky a uzavře stroj montáží vnějších dveří a střešních panelů. Poslední operací při montáži kompresoru je načerpání předepsaného množství oleje do stroje a přesun kompletně smontovaného stroje na stanoviště před testovací buňku, kde budou otestovány základní výkonnostní parametry.

## 2.4 Současné uspořádání pracovišť a Spaghetti diagram pohybu operátora



Obr. 18 Rozložení současné linky



*Obr. 19 Spaghetti diagram současné linky*

Po odměření všech pracovišť byla naměřena pěší vzdálenost operátora na montážní lince pro výrobu jednoho kusu šroubového kompresoru v celkové délce **2150 metrů**.



### 3 Návrh variant řešení montážní linky

#### Informace k výpočtu:

Počet směn:	1 směnný provoz (5 směn týdně)
Počet minut v jedné směně:	510 minut
Celková délka přestávek ve směně:	30 minut (oběd)
Čistý pracovní čas bez přestávek:	480 minut
Potřebný počet vyrobených kusů ročně:	670 ks
Počet dnů dovolené v kalendářním roce:	25 dní
Firemní součinitel plánovaných prostojů:	0,85 (85%)

#### Kapacitní výpočty současného stavu montáže pro množství 670 kusů za rok:

##### Fond pracovního času dělníka (efektivní časový fond) za rok:

$$(1) F_D = D - D_S - D_N - D_V - D_D$$

D...počet dní v kal. roce [dny]

$$F_D = 365 - 52 - 52 - 9 - 25$$

D<sub>S</sub>...počet sobot v kal. roce [dny]

$$F_D = 227 \text{ dní}$$

D<sub>N</sub>...počet nedělí v kal. roce [dny]

D<sub>V</sub>...počet svátků mimo víkend [dny]

D<sub>D</sub>...dny dovolené v kal. roce [dny]

##### Fond výrobního času montážní linky za rok při jednosměnném provozu:

$$(2) F_P = g \cdot (F_D + D_D) \cdot S \cdot H \cdot k_Z$$

g...počet pracovišť [-]

$$F_P = 1 \cdot (227 + 25) \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,85$$

F<sub>D</sub>...fond pracovních dnů [dny]

$$F_P = 1713,6 \text{ hod/rok}$$

S...počet směn [-]

H...počet hodin jedné směny [hod]

k<sub>Z</sub>...součinitel prostojů [%]

**Výpočet taktu montážní linky pro výrobu 670 kusů za rok:**

$$(3) T_{V1} = \frac{F_P}{Q_R} \quad F_P \dots \text{fond mont. linky za rok [hod/rok]}$$

$$T_{V1} = \frac{1713,6}{670} \quad Q_R \dots \text{roční požadavek dílů [ks]}$$

$$T_{V1} = 2,56 \text{ h} = 153 \text{ min}$$

**Požadovaný počet pracovišť montáže:***Tab. 3 Celkový průměrný čas montáže jednoho stroje*

	Celkový čas [min]	Roční produkce [kusů]	Celkový čas za rok [min]
R90-160 I	680	235	159800
R90-160 IE	811	80	64880
R90-160 N	832	127	105664
R90-160 NE	888	74	65675
R90-160 SWC	682	54	36828
R250	1209	6	7252
R300-350	1255	53	66533
R190-225 NE	1403	41	57523

Průměr: tcp	842 minut
	14,03 hodin

$$(4) P = \frac{Q_R \cdot tcp}{60 \cdot S \cdot F_P} \quad Q_R \dots \text{roční požadavek dílů [ks]}$$

$$P = \frac{670 \cdot 842,02}{60 \cdot 1 \cdot 1713,6} \quad S \dots \text{počet směn [-]}$$

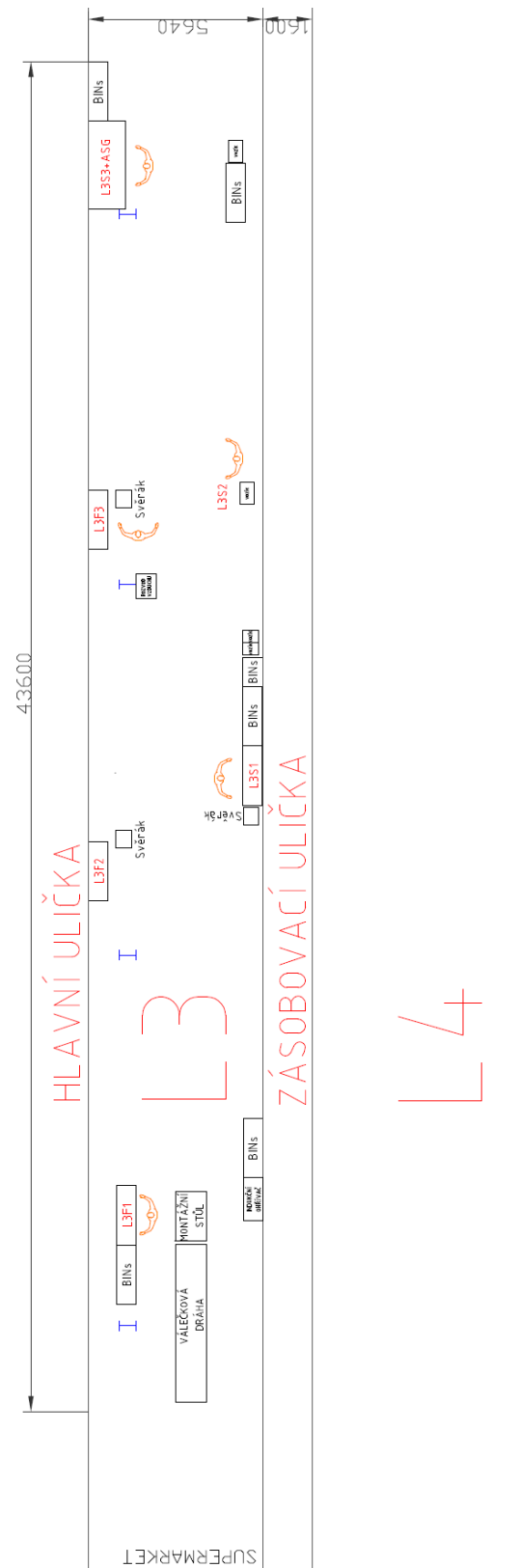
$$P = 5,49 = 6 \text{ pracovišť} \quad tcp \dots \text{celkový průměrný čas montáže jednoho stroje [min]}$$

$$F_P \dots \text{fond mont. linky za rok [hod/rok]}$$

Z výpočtu vyplývá, že při výrobě 670 strojů ročně a při taktu 150 minut bude potřeba šesti pracovišť. Vzhledem ke specifikům montáže a velikosti dílů bylo rozhodnuto vytvořit pracovišť sedm, z toho jedno z nich bude pracoviště pro montáž speciálních konfigurací.

### 3.2 Varianta uspořádání montážní linky č. 1

Návrh rozmístění pracovišť na montážní lince:



Obr. 20 Varianta uspořádání montážní linky č. 1

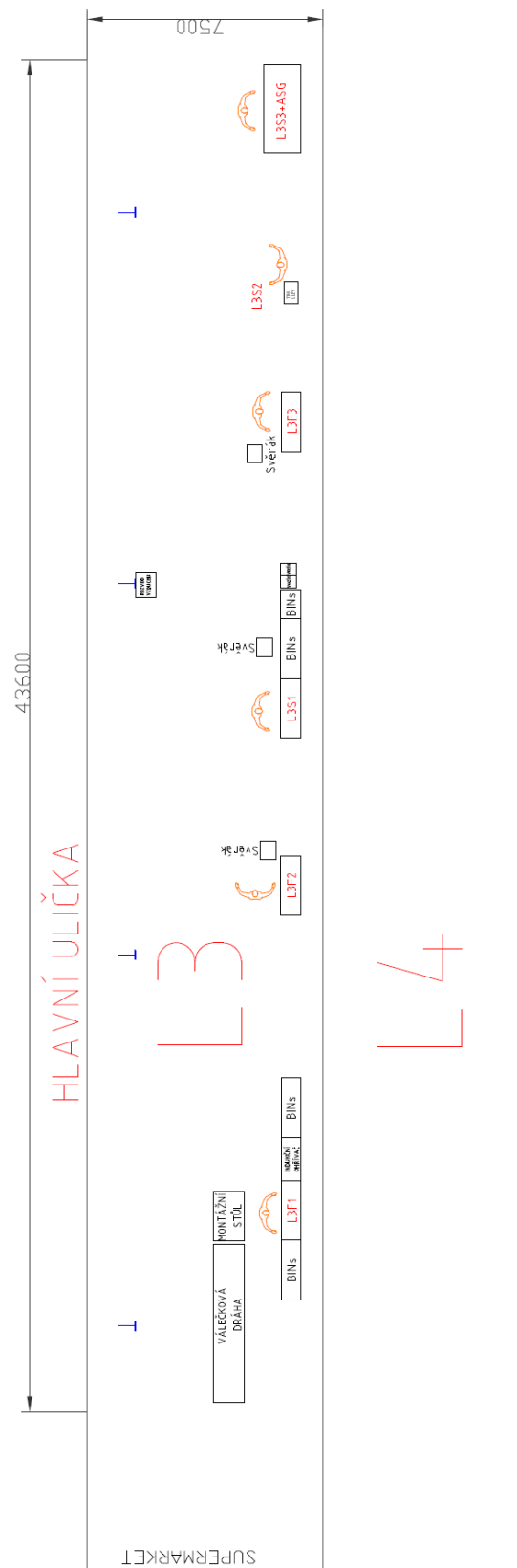
V této navržené variantě montážní linky šroubových kompresorů se pracuje v jednosměnném provozu. Byla vhodněji rozdělena pracoviště a ve výsledku je zde celkem sedm pracovišť montáže, z nichž jedno je určeno pro stroje speciálních úprav. Došlo zde také k lepšímu vybalancování jednotlivých pracovišť. V porovnání s původním počtem deseti pracovišť montáže se redukcí na sedm dosáhlo i ušetření potřebného množství montážního nářadí a klíčů.

Výhodou tohoto řešení je vytvoření uličky k doplňování zásobníků s materiálem zadní částí regálů a také k navázení méně častých kusových dílů. Mezi další výhody patří i efektivnější využívání jednotlivých pracovišť a samotných operátorů. Také se podařilo linku umístit na menší plochu než v původní variantě. Montážní linka je ve srovnání s původním stavem lépe uspořádána a s lepším tokem materiálu. Jedna z válečkových drah byla odstraněna a druhá je přesunuta na první pracoviště.

Jednou z nevýhod tohoto řešení může být čas potřebný k přestavbě celé montážní linky během probíhající výroby.

### 3.3 Varianta uspořádání montážní linky č. 2

Návrh rozmístění pracovišť na montážní lince:



Obr. 21 Varianta uspořádání montážní linky č. 2

V této druhé navržené variantě montážní linky šroubových kompresorů se také uvažuje s prací v jednosměnném provozu. Byla jinak rozmístěna pracoviště a ve výsledku je zde opět sedm montážních pracovišť, včetně jednoho pro stroje speciálních úprav. Jednotlivá pracoviště byla lépe vybalancována. Úsporou tří montážních pracovišť se dosáhlo také snížení potřebného množství montážního nářadí a klíčů.

Výhodou tohoto řešení je získání většího pracovního prostoru na lince a možnost navážení veškerého materiálu hlavní uličkou. Další výhodou je i efektivnější využití jednotlivých pracovišť a samotných operátorů. I zde se podařilo linku umístit na menší plochu než v původní variantě s deseti pracovišti. Montážní linka je ve srovnání s původním stavem lépe uspořádána, s lepším tokem materiálu a na menší ploše. Jedna z válečkových drah byla odstraněna a druhá přesunuta na první pracoviště.

Nevýhodou tohoto řešení je čas potřebný k přestavení celé montážní linky během probíhající výroby. Při zásobování linky materiálem méně častým a větší velikosti se budou také skladníci pohybovat v prostoru operátorů a může docházet k vzájemným omezením a kolizím.

### **3.4 Volba nejvhodnější varianty uspořádání montážní linky**

Po zhodnocení a porovnání veškerých výhod i nevýhod každé z variant návrhu montážní linky byla zvolena **varianta č. 1**, která z porovnání vychází pro podnik výhodněji.

## 4 Výběr optimální varianty řešení montážní linky

### 4.1 Zhodnocení nového stavu montážní linky

V tomto nově zvoleném návrhu montážní linky šroubových kompresorů se pracuje v jednosměnném provozu. Obsahuje celkem sedm montážních pracovišť, viz [Příloha č. 2], které jsou obsluhovány pomocí pěti operátorů. Přesuny dílů šroubového kompresoru z palet, regálů a mezi jednotlivými pracovišti jsou řešeny pomocí jeřábu a vzduchových palet. Obsazená plocha montážní linky šroubových kompresorů v tomto návrhu činí **246 m<sup>2</sup>**.

Výrobní program této montážní linky je stejný jako v předchozím roce. Počet šroubových kompresorů pro zákazníka je tedy 670 kusů za rok.

Nejdříve bylo nutné krok za krokem zanalyzovat současný stav, získat veškerá podrobná a potřebná data všech pracovišť, pohybu materiálu a využít tyto údaje co nejlépe k návrhům nového layoutu.

### 4.2 Popis jednotlivých pracovišť

V nadcházejících odstavcích budou vysvětleny a popsány úkony na jednotlivých pracovištích. Vzhledem k velkému rozsahu celého montážního postupu a jednotlivých pracovních operací bude pro nastínění uveden pouze jejich stručný popis.

#### **Pracoviště L3F1:**

Operátor č. 1 vloží sestavu ozubených kol do indukčního ohříváče, ve kterém nechá kola nahřát na předepsanou teplotu 150 °C. Mezitím provede kontrolu navezených hlavních dílů, kontrolu hodnot na štítku motoru a provede zevrubnou kontrolu, zda nejsou díly povrchově poškozeny. Pomocí jeřábu přemístí motor z palety na montážní stůl (válečkovou dráhu) a očistí výstupní hřídel elektromotoru od ochrany a konzervantu. Na hřídel nasadí těsnění a provede kontrolu odporu vinutí motoru ohmmetrem. Po provedení kontroly elektromotoru navlékne ochranné conduitu na kabelové svazky vedoucí z motoru. Dále na dosedací plochu elektromotoru namontuje přírubu, která slouží k následnému spojení elektromotoru se šroubovým blokem. Operátor na tomto pracovišti také provede montáž zátek do základny, montáž podpěr pod elektromotor a šroubový blok. Na tyto podpěry ustaví pomocí jeřábu celou připravenou sestavu z válečkové dráhy. Dále na

šroubový blok namontuje sací ventil a přepravní držáky. Po ukončení všech svých montážních prací přesune celou sestavu na následující pracoviště k dalšímu operátorovi.

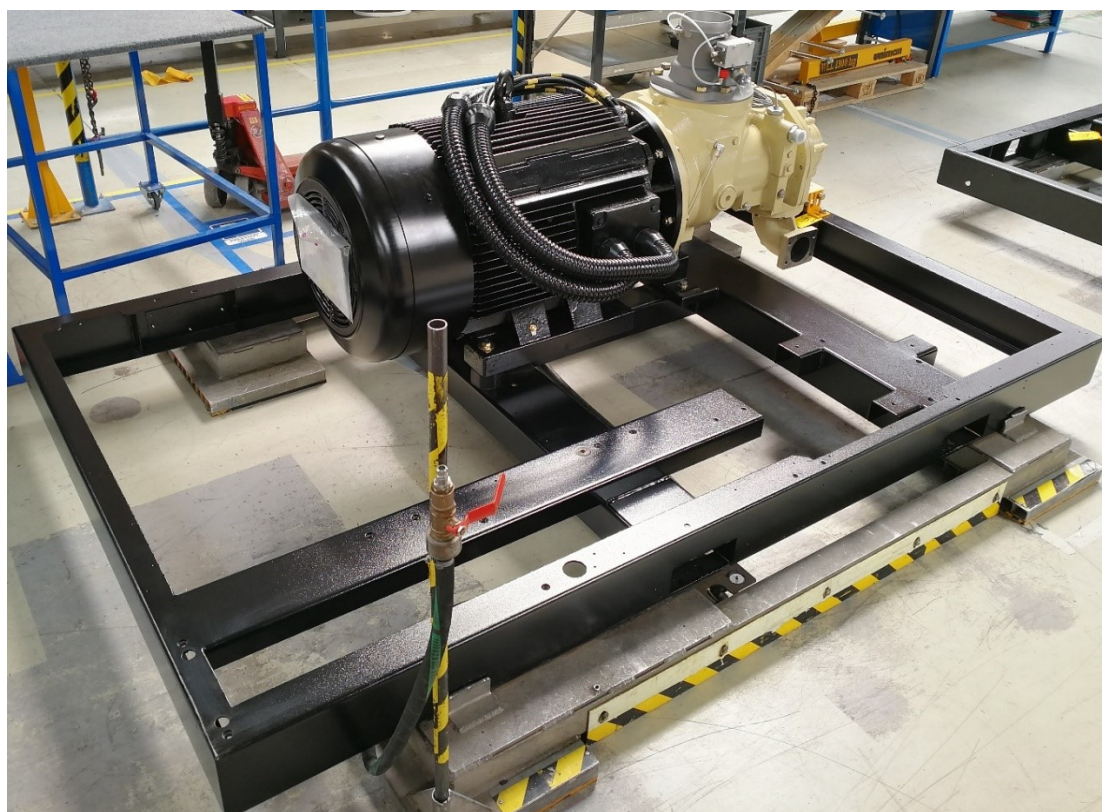


*Obr. 22 Pracoviště L3F1*



*Obr. 23 Pracoviště L3F1 (spojení motoru se šroubovým blokem)*





*Obr. 24 Pracoviště L3F1 (základna a vzduchové palety)*



*Obr. 25 Indukční ohřivač*

**Pracoviště L3F2:**

Montáž na tomto pracovišti je zajištěna jedním z pěti operátorů ze zbývajících pracovišť, dle aktuální konfigurace stroje na montážní lince. Nejdříve připraví sestavu separační nádoby oleje a pomocí jeřábu přesune tento díl do montážního vozíku. S pomocí jeřábu zajistí a demontuje víko separační nádoby a zkontroluje vnitřní části. Následně vloží do nádoby filtr a víko opět uzavře. Dále usadí tlakové ventily, zátky, šroubení a adaptéry. Na víko namontuje ventil. K výstupnímu otvoru připojí teplotní ventil, filtry a pomocí předepsaných momentových klíčů s definovanými momenty dotáhne veškerá spojení. Závěrem přesune sestavu separační nádoby na navazující pracoviště k dalšímu operátorovi.



*Obr. 26 Pracoviště L3F2 (vlevo), ustavovací přípravek (vpravo)*

**Pracoviště L3S1:**

Operátor č. 2 do základny namontuje držáky na chladič a do nich pomocí jeřábu také kompletní sestavu chladičů, kterou si již dříve připravil. Následně provede montáž motoru s vrtulí do skříně ventilátoru a všech hadic mezi chladiči, šroubovým blokem a separační nádobou. Po provedení všech těchto úkonů přesune sestavu na následující pracoviště k dalšímu operátorovi.





*Obr. 27 Pracoviště L3S1*



*Obr. 28 Pracoviště L3S1*

### **Pracoviště L3F3 + L3S2:**

Operátor č. 3 a operátor č. 4 (dva elektrikáři) demontují ochranný kryt z prostoru rozvaděče a pomocí jeřábu usadí celý blok rozvaděče na základnu stroje. Ve svěráku si připraví sestavu tlakových převodníků a následně vytrasují a vyváží kabelové svazky a ovládací hadičky z tlakových převodníků po celém stroji. Závěrem přesunou sestavu na následující pracoviště k poslednímu pátému operátorovi.





*Obr. 29 Pracoviště L3F3 a L3S2*



*Obr. 30 Přípravek na pracovišti L3F3*



*Obr. 31 Pracoviště L3S2*

### **Pracoviště L3S3:**

Operátor č. 5 provede montáž uzemňovacích kabelů a rohových panelů. Dále si připraví konstrukci pro bloky s tlumící vatou, ty namontuje do základny stroje a vyplní jednotlivé příčky tímto tlumícím materiálem. V dalším kroku provede montáž hlavní výstupní trubky a její zajištění k rohovému panelu. Po namontování bočních a stropních sloupků se uzavře stroj montáží vnějších dveří a střešních panelů. V závěru operátor natankuje do stroje předepsané množství oleje a přesune sestavu kompletně smontovaného stroje na stanoviště před testovací buňku, kde budou otestovány základní výkonnostní parametry.





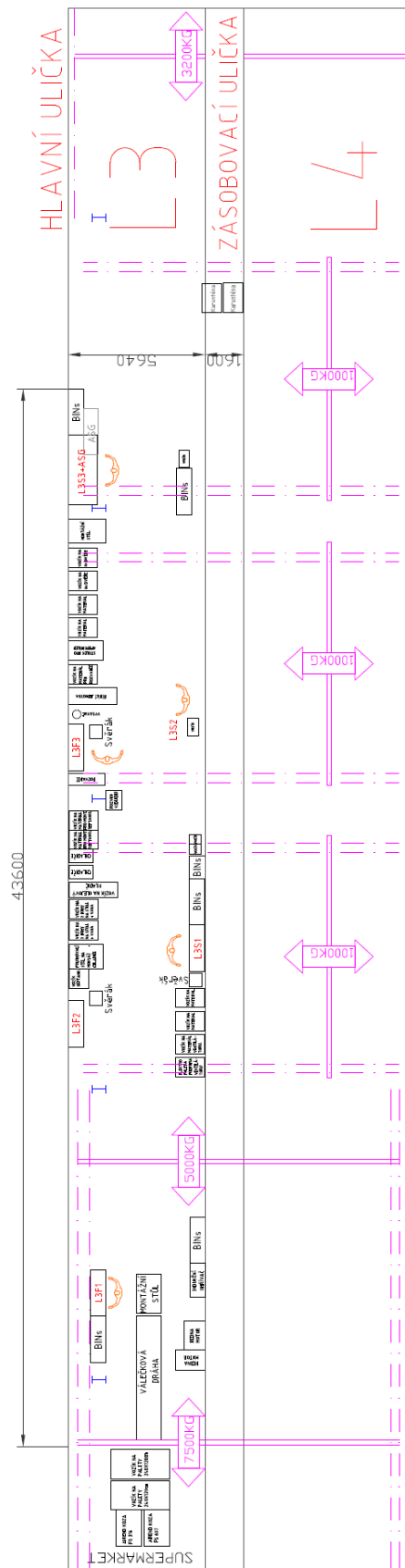
*Obr. 32 Pracoviště L3S3*



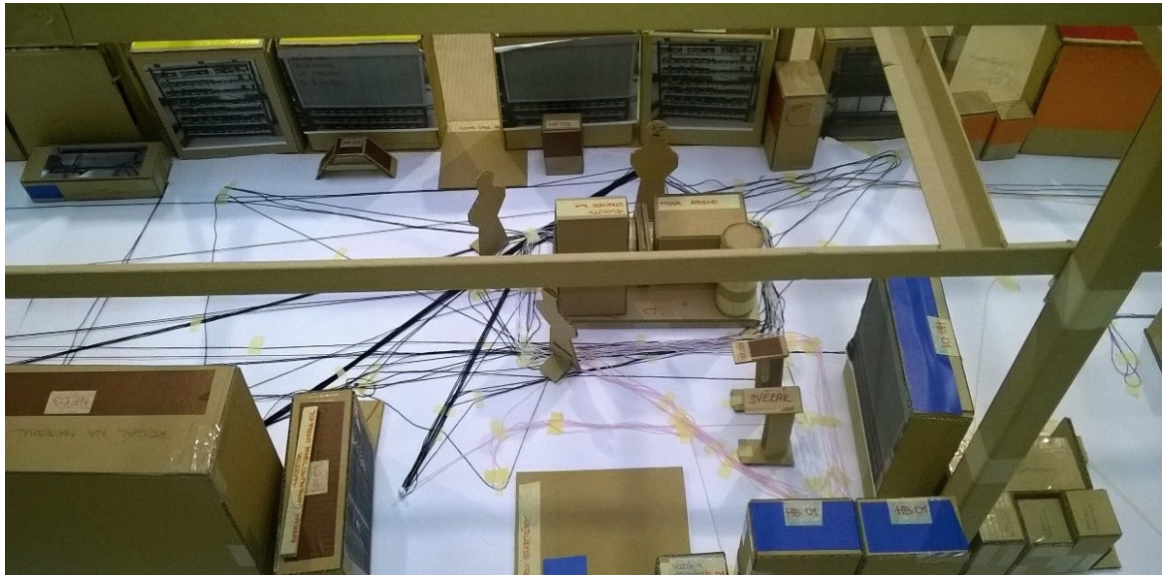
*Obr. 33 Vakuový přípravek pro montáž střešních panelů*



### 4.3 Zvolené uspořádání pracovišť a Spaghetti diagram pohybu operátora



Obr. 34 Rozložení nové linky



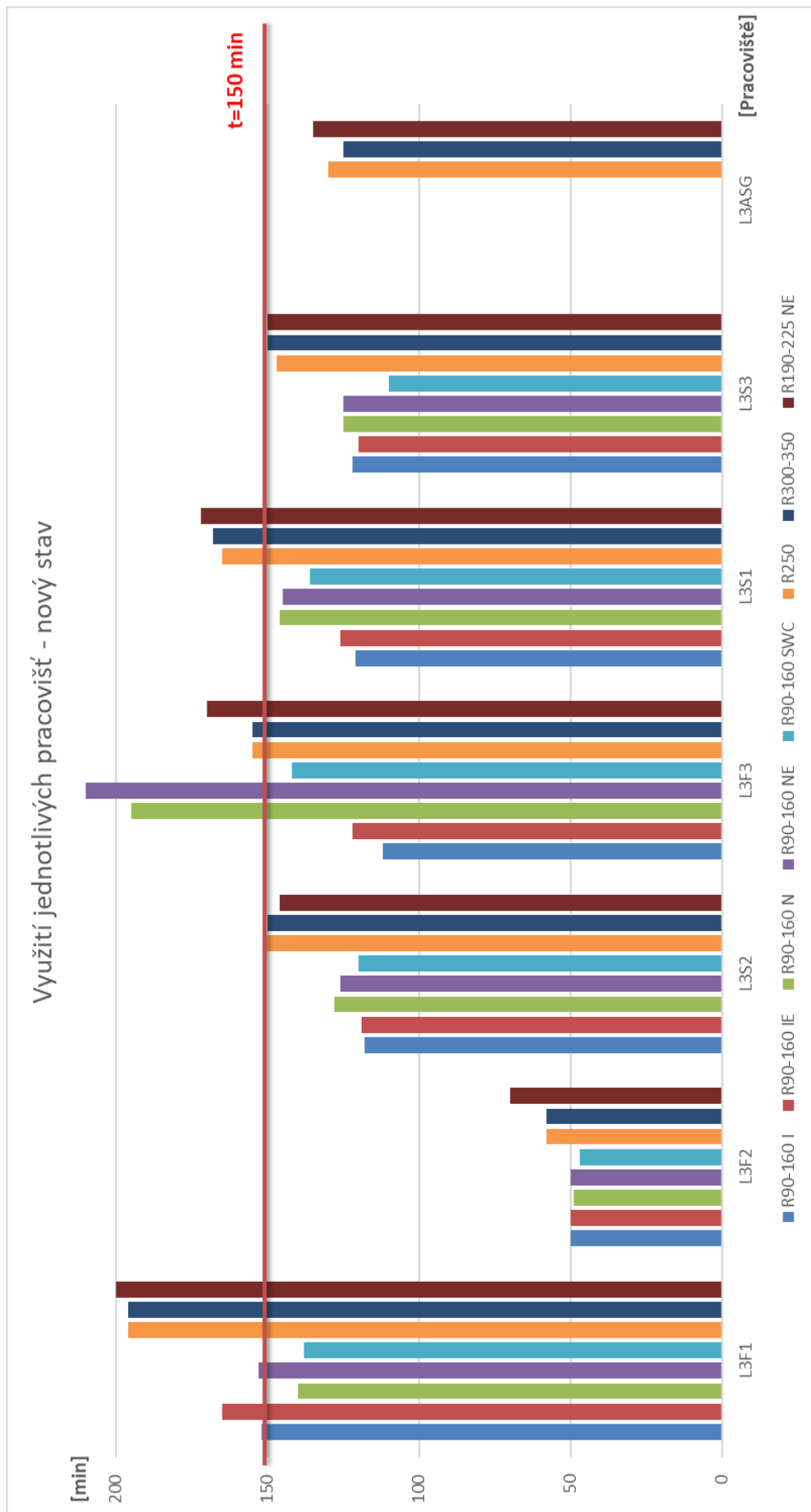
*Obr. 35 Spaghetti diagram nové linky*

Po proměření a sečtení všech pohybů jednotlivých operátorů na montážních pracovištích byla stanovena pěší vzdálenost operátora na montážní lince pro výrobu jednoho kusu šroubového kompresoru. Tato pěší vzdálenost je v navržené variantě **1192 metrů**.

#### Využití jednotlivých pracovišť – nový stav

*Tab. 4 Využití jednotlivých pracovišť / operátorů – nový stav*

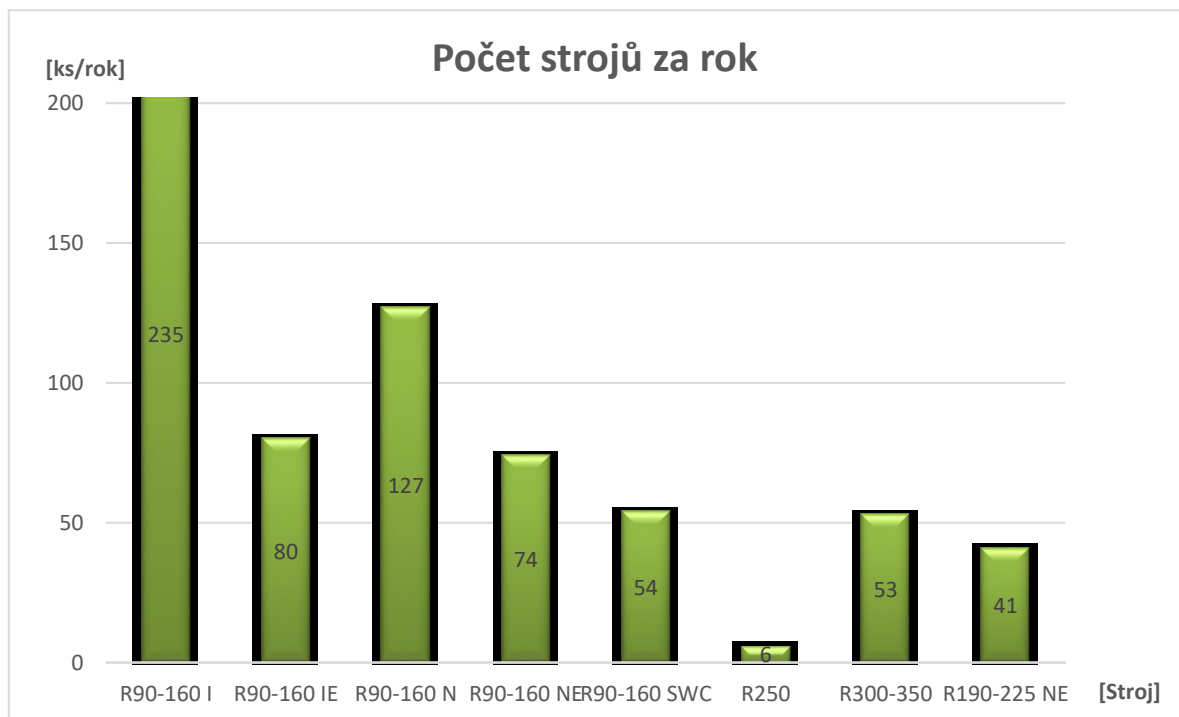
	PRACOVISTĚ [min]/Využití operátora							Celkový čas [min]
	L3F1	L3F2	L3S2	L3F3	L3S1	L3S3	L3ASG	
<b>R90-160 I</b>	152	50	118	112	121	122	0	<b>675</b>
<b>R90-160 IE</b>	165	50	119	122	126	120	0	<b>702</b>
<b>R90-160 N</b>	140	49	128	195	146	125	0	<b>783</b>
<b>R90-160 NE</b>	153	50	126	210	145	125	0	<b>809</b>
<b>R90-160 SWC</b>	138	47	120	142	136	110	0	<b>693</b>
<b>R250</b>	196	58	151	155	165	147	130	<b>1002</b>
<b>R300-350</b>	196	58	150	155	168	150	125	<b>1002</b>
<b>R190-225 NE</b>	200	70	146	170	172	150	135	<b>1043</b>



Obr. 36 Využití jednotlivých pracovišť – nový stav

Na obrázku č. 36 lze pozorovat, že jednotlivá pracoviště jsou časově výrazně lépe vybalancována než v původní variantě. Pro potřebnou roční montáž 670 kusů šroubových kompresorů je tato nově navržená montážní linka při jednosměnném provozu dostačující.

Roční produkce strojů R250, R300-350 a R190-225 NE je velmi nízká (viz obr. 37) a navíc stroje R250 a R300-350, které časově mírně překračují TAKT TIME, jsou také stroje výběhové, a tedy během následujících měsíců bude ukončena jejich montáž. Z tohoto důvodu mírné překročení TAKT TIME v navržené variantě nemá pro výrobní podnik zásadní význam.



*Obr. 37* Roční produkce jednotlivých strojů

## 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V podniku Ingersoll Rand jsem byl členem týmu, který měl za úkol zlepšit současný stav a efektivitu montážní linky šroubových kompresorů, optimalizovat využití jednotlivých pracovišť a zlepšit ergonomii při prováděné montáži. Velký důraz byl především kladen na eliminaci některých z velmi nebezpečných pracovních úkonů. Největším z nich byla například práce pod zavěšeným břemenem jeřábu. Tato nebezpečná situace se eliminovala použitím vhodných přípravků. Také se podařilo vhodněji rozdělit vytížení jednotlivých operátorů na pracovištích, a to i při snížení počtu operátorů z šesti na pět. Sloučením pracovišť jsme ušetřili zhruba 30 kusů momentových klíčů a dalšího náradí s odhadovanou cenou 150 tis. Kč. Místo elektrické pece byl zakoupen nový indukční ohřívač, díky kterému jsme schopni nahřát materiál na velmi přesnou nastavenou teplotu a za kratší čas. Z hlediska ergonomie byl zakoupen násobič momentu, díky kterému můžeme dotahovat velké momenty nad 1000 Nm i v menším manipulačním prostoru.

### Pěší vzdálenost operátora nutná pro výrobu jednoho kusu kompresoru:

Pěší vzdálenost operátora nutná pro výrobu jednoho kusu kompresoru na montážní lince činila v původním stavu linky **2150 metrů**. Po realizaci nového návrhu se snížila tato vzdálenost na hodnotu **1192 metrů**.

$$(5) L = 100 - \left( \frac{1192}{2150} \cdot 100 \right)$$

$$L = 45 \%$$

Z výpočtů došlo ke zkrácení potřebné pěší vzdálenosti, nutné při montáži jednoho kusu šroubového kompresoru o **45 %**.

### Úspora plochy montážní linky:

Obsazená plocha montážní linky šroubových kompresorů činila v původním stavu **378 m<sup>2</sup>**. Po realizaci nového návrhu se snížila tato plocha na hodnotu **246 m<sup>2</sup>**.

$$(6) 378 - 246 = 132 \text{ m}^2$$

$$(7) 100 - \left( \frac{246}{378} \cdot 100 \right) = 35 \%$$

Z výpočtů došlo k úspoře místa o **132 m<sup>2</sup> (35 %)**.

Podarilo se docílit snížení zásoby materiálu na lince na dva takty, na rozdíl od stavu kdy v původní variantě docházelo k hromadění nejrůznějšího materiálu napříč celou linkou i na týdenní zásobu, což zapříčinilo snížení pracovního prostoru montáže.

Na každém pracovišti byl vytvořen systém rychlého hlášení problémů ANDON, který slouží operátorům přímo ze svého pracoviště hlásit pomocí majáku vzniklé problémy a zabezpečit tak rychlou reakci ze strany zodpovědných osob.



*Obr. 38 ANDON systém*





*Obr. 39 Skladování materiálu na dva takty montáže (oranžová a zelená vyhrazená plocha)*

V původním stavu montážní linky byly palety skladovány přímo na podlaze. Pro zlepšení ergonomie montáže jsou veškeré palety ukotveny v manipulovatelných vozících, které umožňují jednoduchou manipulaci i navážení materiálu ze skladu na montážní linku. Také došlo k přeuspořádání zásobníků s materiálem v regálech tak, aby se nenacházel žádný materiál do výše 40 cm od podlahy, z důvodů rizikových pohybů operátora při ohýbání a zvedání.





*Obr. 40 Umístění materiálu v regálu*

Byla vytvořena samostatná ulička, která slouží k doplňování materiálu zadní částí regálů po celé lince L3 a v příštím roce se počítá s využitím této zásobovací uličky k zásobování sousední montážní linky L4. V původním stavu byl materiál navážen na paletách a umístěn na různých volných místech napříč montážní linkou.





*Obr. 41 Pohled na zásobovací uličku montážní linky*

Během měsíce **září 2016** byl tento projekt úspěšně zrealizován a zvolený návrh montážní linky šroubových kompresorů kompletně použit.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo definování času taktu na montážní lince, snížení zásoby materiálu na dva takty, zkrácení vzdálenosti přesunu operátora alespoň o 15 %, zredukování počtu pracovišť a eliminování nebezpečných operací montáže. Všech těchto cílů se úspěšně podařilo dosáhnout.

Zpracovány byly dvě různé varianty řešení montážních linek. **První varianta** spočívá ve zredukování počtu pracovišť úměrně k počtu operátorů, čímž také došlo po sloučení pracovních stanic ke snížení potřebného množství montážního nářadí. Byla vytvořena samostatná ulička, která je určena k doplňování zásobníků s materiálem zadní částí regálů po celé lince. Při tomto navážení nejsou skladníci v prostoru operátorů a nehrozí tak jejich vzájemné omezování a kolize. Také došlo k úspoře potřebné plochy pro montážní linku.

**Druhá varianta** spočívá ve zredukování počtu pracovišť stejně jako v první variantě. Sloučením pracovních stanic dojde ke snížení potřebného množství montážního nářadí. Veškerý materiál je třeba navážet pracovní plochou linky. Výhodou je možnost kdykoliv montovaný kompresor odstavit z linky pomocí hlavní uličky. Také by došlo ke snížení potřebné plochy linky. Mezi nevýhody patří právě doplňování materiálu, kde se budou skladníci pohybovat v prostoru společně s operátory.

Po vyhodnocení veškerých výhod i nevýhod každé varianty navržené montážní linky byla pro podnik zvolena výhodnější **varianta č. 1**. U této varianty bylo dosaženo snížení zásoby materiálu na montážní lince na dva takty, vytvoření času taktu, redukce počtu pracovišť z deseti na sedm, eliminace nebezpečných operací montáže a zkrácení potřebné pěší vzdálenosti, nutné při montáži jednoho kusu šroubového kompresoru o 45 %.

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D. z katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava za odborné vedení a poskytování cenných rad v celém průběhu vypracovávání diplomové práce. Zvláštní poděkování patří také Ing. Martinu Zahradovi a celému týmu z firmy Ingersoll Rand s.r.o. za odborné konzultace a podnětné připomínky, díky kterým byla tato práce zdárně dokončena.

## Seznam použité literatury

- [1] 190-225kW / 250-300hp 2stg VSD. *Ingersoll Rand – Products* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.ingersollrandproducts.com/en-us/air-compressor/products/rotary-contact-cooled-air-compressors/190-225kw-250-300hp-2stg-vsd.html>
- [2] Ingersoll Rand expanduje v Dobříši, přesouvá sem i panevropské školicí středisko. *CZECHINVEST* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/ingersoll-rand-expanduje-v-dobrisi-presouva-sem-i-panevropske-skolici-stredisko>
- [3] Ingersoll Rand Uničov. *Ingersoll Rand* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.ingersoll-rand.cz/unicov/>
- [4] Šroubové kompresory. *KOMPRESORY – VZDUCHOTECHNIKA s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/n/sroubove-kompresory-mark>
- [5] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-86851-38-9.
- [6] Ingersoll-Rand CZ s.r.o., Šumperská 1345, 783 91 Uničov. *LEAN FLOW*. 2006. 172 s.
- [7] Časové studie – nástroj průmyslového inženýrství. *API – Akademie produktivity a inovací, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://e-api.cz/article/68428.casove-studie-8211-nastroj-prumysloveho-inzenyrstvi/>
- [8] *Pull production for the shopfloor*. New York: Productivity Press, 2002. ISBN 978-1-56327-274-5.
- [9] Kanban. *DYNAMIC FUTURE s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.dynamicfuture.cz/priklady-z-praxe/kanban>
- [10] HIRANO, Hiroyuki. *5S for operators: 5 pillars of the visual workplace*. Portland, Or.: Productivity Press, 1996. ISBN 1-56327-123-0.

- [11] 5S - pořádek na pracovišti. *Vlastní cesta s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/5s-poradek-na-pracovisti/>
- [12] Plýtvání. *SVĚT PRODUKTIVITY* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/clanek/metodika-plytvani.htm>
- [13] Poka Yoke. *MANAGEMENT MANIA* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/poka-yoke>
- [14] Poka Yoke. *Produktívne* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.produktivne.sk/metody-stihlej-vyroby2/poka-yoke/>
- [15] Poka Yoke. *MyLeanFactory* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.mylean.de/>
- [16] 90-160kW / 125-200hp rotary air compressors. *Ingersoll Rand – Products* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.ingersollrandproducts.com/en-us/air-compressor/products/rotary-contact-cooled-air-compressors/90-160kw-125-200hp.html>
- [17] 200-250kW / 250-450hp. *Ingersoll Rand – Products* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.ingersollrandproducts.com/en-us/air-compressor/products/rotary-contact-cooled-air-compressors/200-250kw-250-450hp.html>
- [18] 200-350kW / 250-500hp 2stg. *Ingersoll Rand – Products* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.ingersollrandproducts.com/en-us/air-compressor/products/rotary-contact-cooled-air-compressors/200-350kw-250-500hp-2stg.html>
- [19] Metoda 5S (5S Method). *MANAGEMENT MANIA* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/metoda-5s>

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1** – Výkres montážní linky před realizací návrhu

**Příloha č. 2** – Výkres montážní linky po realizaci návrhu