



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

**Ústav technologie obrábění,
projektování a metrologie**

**Optimalizace procesu montáže hydraulického
rozvaděče rypadla**

**Excavator Hydraulic Main Control Valve
Assembly Process Optimization**

Diplomová práce

Praha

2020

Autor práce: Bc. Jakub Kala

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kyncl Ph.D.

Studijní program: N 2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kala** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **437288**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace procesu montáže hydraulického rozvaděče rypadla

Název diplomové práce anglicky:

Excavator Hydraulic Main Control Valve Assembly Process Optimization

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky montážních procesů.
2. Rešerše metod analýzy a optimalizace procesů.
3. Analýza procesu montáže hydraulického rozvaděče.
4. Návrh optimalizačních řešení.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení návrhů.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

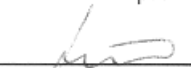
Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., 12134


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

23.6.2020

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D. za vstřícný přístup a přínosné rady k zpracování této závěrečné práce. Také bych chtěl poděkovat kolektivu oddělení výrobního inženýrství firmy Doosan Bobcat EMEA s.r.o. za možnost zpracování této závěrečné práce, podporu a rady při tvorbě její tvorbě. Dále děkuji své rodině za podporu během celé doby studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Optimalizace procesu montáže hydraulického rozvaděče rypadla“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kyncla Ph.D., s použitím literatury, která je uvedena na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 31. 7. 2020

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem montážní linky hydraulických rozvaděčů pro kompaktní pásová rypadla ve spolupráci se společností Doosan Bobcat EMEA s.r.o. V rešeršní části práce pojednává o problematice montážních procesů a analýze a optimalizaci procesů. Optimalizace se provádí především z důvodu zlepšení přesnosti utažení šroubových hydraulických spojů na požadovaný utahovací moment. V rámci práce proběhla optimalizační analýza vybraného typu rozvaděče, na základě které, se určil montážní postup. Dále byly navrženy celkem čtyři varianty nové montážní technologie, a pro zvolenou variantu se provedlo technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Hydraulický rozvaděč; Utahovací moment; Montážní proces; Optimalizace; Six sigma

Abstract

This diploma thesis is focuses on the design of the assembly line of hydraulic main control valve for compact tracked excavators in cooperation with the Doosan Bobcat EMEA company ltd. The research deals with assembly processes in hand with an analysis and optimization of processes. The optimization is done to improve the accuracy of tightening the screw hydraulic connections to the required torque. As part of the thesis, an optimization analysis of the selected type of hydraulic main control valve was performed, on which base the assembly procedure was determined. In the end, four variants of the new assembly technology were proposed. For the chosen variant, there was a technical and economic evaluation performed.

Key words

Hydraulic main control valve; Torque; Assembly processes; Optimization; Six sigma

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
1 Úvod.....	10
2 Představení společnosti Doosan Bobcat	12
2.1 Doosan Bobcat EMEA s.r.o.	13
3 Rešerše problematiky montážních procesů.....	16
3.1 Výrobní proces	16
3.2 Montážní proces	18
3.2.1 Dělení montáže	20
4 Rešerše metod analýzy a optimalizace procesů	26
4.1 Optimalizace výrobního procesu.....	27
4.2 Racionalizace	28
4.3 Štíhlá výroba	31
4.3.1 3 Mu – Muda, Mura, Muri.....	32
4.3.2 Just in time	35
4.3.3 Metoda 5S	37
4.3.4 DFMA	42
4.4 Six Sigma	44
4.4.1 DMAIC	48
4.5 Analýza a měření práce	49
4.5.1 Metody studií spotřeby času	51
4.5.2 Methods Time Measurment	54
5 Analýza procesu montáže hydraulického rozvaděče	59
5.1 Popis výrobního závodu a montážní linky	59
5.2 Proces montáže hydraulického rozvaděče	62
5.3 Zhodnocení současného stavu.....	73
6 Návrh optimalizačních řešení	77

6.1	Optimalizační proces.....	78
6.1.1	Definování vyrovnání součásti pro 3D souřadnicové měřicí stroje.....	79
6.1.2	Analýza výkresové dokumentace a specifikací	79
6.1.3	Identifikace kritických parametrů v procesu	80
6.1.4	Tvorba seznamu dílů a jejich klasifikace podle vrstev	81
6.1.5	Tvorba modelů procesu (procesní mapa, montážní sekvence).....	88
6.1.6	Definování technologie, stroje a náradí pro konkrétní aplikaci.....	91
6.2	Návrh optimalizované montážní linky hydraulických rozvaděčů.....	95
6.2.1	Varianta 1.....	97
6.2.2	Varianta 2.....	98
6.2.3	Varianta 3.....	99
6.2.4	Varianta 4.....	100
6.3	Výběr montážní technologie a rozložení pracoviště	101
7	Technicko-ekonomické zhodnocení návrhů	108
7.1	Technické zhodnocení návrhu optimalizace	108
7.2	Ekonomické zhodnocení návrhu	113
7.2.1	Zhodnocení nákladů na optimalizaci	113
7.2.2	Zhodnocení potencionálních úspor získaných optimalizací	115
7.2.3	Doba návratnosti investice.....	121
8	Závěr	123
9	Seznam použité literatury	125
10	Seznam obrázků.....	130
11	Seznam tabulek	133
12	Seznam příloh	135

Seznam použitých zkratek a symbolů

CNC	-	Computer Numerical Control
PDCA	-	Plan Do Check Act
TPS	-	Toyota production system
JIT	-	Just in time
DFMA	-	Design for manufacturing and assembly
DFM	-	Design for manufacturing
DFA	-	Design for assembly
DMAIC	-	Define measure analyze improve control
MTM	-	Methods time measurement
MOST	-	Maynard Operation Sequence Technique
TMU	-	Time measurment unit
SAE	-	Society of Automotive Engineers
ST X	-	Stanoviště linky X
Nm	-	Newton metr
t	-	Tuna
σ	-	Směrodatná odchylka
Cp	-	Koeficient způsobilosti procesu
Cpk	-	Koeficient využití způsobilosti procesu

1 Úvod

Moje diplomová práce s názvem optimalizace procesu montáže hydraulického rozvaděče rypadla má za hlavní cíl optimalizaci montážního procesu. Diplomová práce zahrnuje rešerši problematiky montážních systémů a také rešerši metod analýzy a optimalizace procesů. V rámci návrhu optimalizace montážního procesu proběhne analýza současného procesu montáže, návrh optimalizačních řešení a technicko-ekonomické zhodnocení navrženého optimalizačního řešení.

V první kapitole práce je představena společnost Doosan Bobcat EMEA s.r.o., její historie a výrobní program. Dále je zde představen výrobní závod na Dobříši, ve kterém jsem práci zpracovával. V této části jsou zmíněné důležité milníky, objem výroby a prováděné inovace na trhu kompaktní stavební techniky ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Druhá kapitola je rešeršního charakteru a zabývá se problematikou montážních procesů. V úvodu je zde popsán samotný proces, poté výrobní proces, a nakonec montážní proces, u kterého jsou zmíněny problémy v jeho automatizaci a zastoupení jednotlivých činností v rámci tohoto procesu. Také je zde uvedeno dělení montážního procesu podle různých kritérií a charakteristika montážních linek.

Další kapitola je také rešeršního typu a zaměřuje se na metody analýzy a optimalizaci procesů obecně. První část této kapitoly se zabývá optimalizací. Nejdříve jsou zmíněny cíle optimalizace a popsána samotná optimalizace a racionalizace procesů. Poměrně moderním trendem v rámci optimalizace je princip štíhlé výroby, proto jsou tu zmíněny vybrané metody této metodiky. Dále je tu zmínka o další moderní metodě optimalizace s názvem six sigma. Druhá část této kapitoly se zaměřuje na metody analýzy a měření práce. V této části jsou zmíněny především metody měření spotřeby času, včetně metody předem stanovených časů.

V následující kapitole této práce s názvem analýza procesu montáže hydraulického rozvaděče jsou představeny vybrané modely kompaktních rypadel, prostorová dispozice výrobního podniku Doosan Bobcat EMEA s.r.o., montážní linka párových rypadel, a především montážní celek, kterým je hydraulický rozvaděč. V této kapitole je popsán současný proces montáže a je zde zmíněna současná montážní technologie. Dále je zde proveden sběr a sumarizaci dat pro navržení konkrétního řešení.

Cílem předposlední kapitoly je návrh optimalizační opatření pro vybraný proces montáže. Jedná se konkrétně o proces montáže hydraulického rozvaděče pro kompaktní pásová rypadel. Na začátku této kapitoly jsou představeny vytyčené cíle optimalizace. Poté je tu důkladně popsán samotný optimalizační proces, vytvořena klasifikace dílů dle vrstev v sestavě, na základě kterých, se sestavila pravidla pro tvorbu montážní sekvence. Na základě klasifikace dílů dle vrstev se vytvoří procesní mapa a určí detailní montážní sekvence pro vybraný hydraulický rozvaděč. Pro zvolený montážní proces jsou zde celkem čtyři návrhy použité montážní technologie a zvolen finální návrh, který se v další kapitole použije pro technicko-ekonomické zhodnocení. V této kapitole je také představeno nové dispoziční řešení montážní linky hydraulických rozvaděčů a detailně popsán proces montáže na nově navržených utahovacích stanicích.

V závěru práce bude zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení navržených optimalizačních řešení. V technické části bude zpracováno posouzení splnění předem stanovených cílů optimalizace. V ekonomické části budou vyčísleny náklady na navrženou optimalizaci a také úspory získané navrženým řešením. Tyto dva údaje se vzájemně porovnají a je z nich vypočtena doba návratnosti investice.

2 Představení společnosti Doosan Bobcat

Tato diplomová práce je psaná ve spolupráci s průmyslovým partnerem, konkrétně s firmou Doosan Bobcat EMEA s.r.o., proto je představení této společnosti součástí práce. V následující kapitole je představena společnost Doosan Bobcat, stručně zmíněna její historie. Dále je popsána evropská odnož společnosti s názvem Doosan Bobcat EMEA s.r.o. se sídlem na Dobříši.

Historie společnosti Doosan Bobcat sahá do roku 1947, kdy Edward Gideon Melroe založil v USA, státě Severní Dakota a městě Gwinner společnost s názvem Melroe Manufacturing Company, která z počátku vyráběla především zemědělskou techniku. Průlom nastal v roce 1958, kdy podnik představil první nakladač s názvem M60. Impulzem pro výrobu kompaktního nakladače byl poznatek od chovatele krocanů, který měl problém s čištěním prostorů stodoly. Jeho traktor nemohl v úzkých uličkách stodoly manévrovat, a proto potřeboval kompaktnější stroj. O rok později společnost představila vylepšenou verzi, nakladač M200. [1]



Obrázek 1 - Porovnání nakladače M200 (vlevo) a současného modelu pásového nakladače (vpravo) [1]

V roce 1960 společnost vyrobila první čtyřkolý smykem řízený nakladač, který je doposud symbolem značky Bobcat. Od roku 1989 se k vyráběnému portfoliu firmy připojila také kompaktní rypadla. V roce 2000 začala společnost Bobcat expandovat do Evropy, když koupila francouzského výrobce hydraulických telehanderů Sambron, který měl výrobní závod ve městě Pont Château ve Francii. Evropská expanze pokračovala v roce 2001 zakoupením českého výrobce traktor-nakladačů Superstav ve městě Dobříš. Tehdejší vlastník společnosti Bobcat – skupina Ingersoll-Rand prodala Bobcat jihokorejské společnosti Doosan Infracore za 4,9 miliardy dolarů (asi 98 miliard Kč). Jednalo se o velmi

významnou (jednu z největších) zámořskou akvizici v korejské historii a společnost Doosan Infracore se tak dostala mezi sedm předních světových výrobců stavebních strojů.

V současnosti provozuje společnost Doosan Bobcat celkem 10 výrobních závodů po celém světě. Pět výrobních závodů je v USA, jeden ve Francii, jeden v ČR, dva v Indii a jeden v Číně. [1], [2]

2.1 Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Jak již bylo zmíněno, tak historie evropské větve společnosti Doosan Bobcat sahá do počátku třetího tisíciletí, kdy společnost Bobcat poprvé expandovala s výrobou mimo USA. V roce 2001 vstoupil Bobcat s výrobou na český trh. V následující tabulce jsou popsány významné milníky v historii české pobočky. [2]

Tabulka 1 - Důležité milníky v historii společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [2]

Rok	Událost
2001	Bobcat koupil Superstav v Dobříši (výroba traktor-nakladač-rypadel).
2003	Otevřeno vývojové centrum.
2004	První vyrobený Bobcat – smykem řízený nakladač v původní firmě Superstav, ve starém závodě v Dobříši.
2005	Zahájení výroby malých kompaktních bagrů.
2007	Dokončen nový závod a tréninkové centrum v Dobříši v ČR.
2009	Doosan Infracore koupil společnost Bobcat.
2014	Výstavba distribučního centra.
2014	Otevření nového inovačního centra a následný vznik Dobříšského kampusu.
2014	Bobcat jako první vyrobil 1 000 000 kompaktních nakladačů.
2015	Rozšíření tréninkového centra.
2017	Přejmenování společnosti Doosan Bobcat Manufacturing, s.r.o. na Doosan Bobcat EMEA, s.r.o.
2019	Otevření nové budovy ředitelství společnosti Doosan Bobcat EMEA, s.r.o.

V současnosti se ve výrobním podniku na Dobříši vyrábí na 3 linkách nakladače, kompaktní pásová rypadla (hmotnost 1 až 6 tun) a minirypadla s hmotností do 1 tuny. Mimo samotné výrobní haly je součástí areálu taky budova inovačního centra s prototypovou dílnou, klimatickými komorami a akustickou komorou, budova evropského

ředitelství společnosti a školící tréninkové centrum pro demonstrace strojů a školení dealerů značky Bobcat. [2]



Obrázek 2 - Sortiment strojů Bobcat vyráběných v ČR – kompaktní pásové rypadlo (vlevo) a smykem řízený nakladač (vpravo) [3]

Objem výroby strojů už několik let v řadě stále roste. Dle výroční zprávy za rok 2018 vyrobila společnost celkem 17 206 strojů, což je o 9 % více než na rok 2017. Z celkového počtu strojů bylo celkem 7 989 nakladačů (o 10 % více než v roce 2017) a 9 217 pásových rypadel (o 7 % více než v roce 2017). [4]

Jak již bylo zmíněno, tak v areálu se nenachází pouze výrobní závod, ale i inovační centrum, kde probíhá výzkum a vývoj nových stavebních strojů. Jednou z novinek z roku 2019 je model elektrického pásového minirypadla E10e. Jedná se o první elektrické jednotunové minirypadlo na světě, vychází z předchozího diesellového modelu. Největší výhodou tohoto modelu jsou nulové emise a tichý provoz. Díky nulovým emisím je tento elektrický model vhodný pro použití ve vnitřních prostorech a kvůli sníženému hluku lze rypadlo použít i v prostorech, kde se klasický hlučnější model nemůže použít (např. nemocnice či hřbitovy). [5]



Obrázek 3 - První elektrické minirypadlo E10e sjíždí z výrobní linky [5]

V této kapitole byla představena společnost Doosan Bobcat a její evropská odnož Doosan Bobcat EMEA s.r.o., včetně stručné ukázky produktů této firmy. Společnost byla představena z důvodu, že tato práce vznikla ve spolupráci s ní.

3 Rešerše problematiky montážních procesů

Tématem této práce je optimalizace montážního procesu, konkrétně montáž hydraulického rozvaděče rypadla, proto je součástí zadání práce také rešerše problematiky montážních procesů. V první části jsou popsány procesy obecně a výrobní procesy. Druhá část je zaměřená konkrétně na montážní proces.

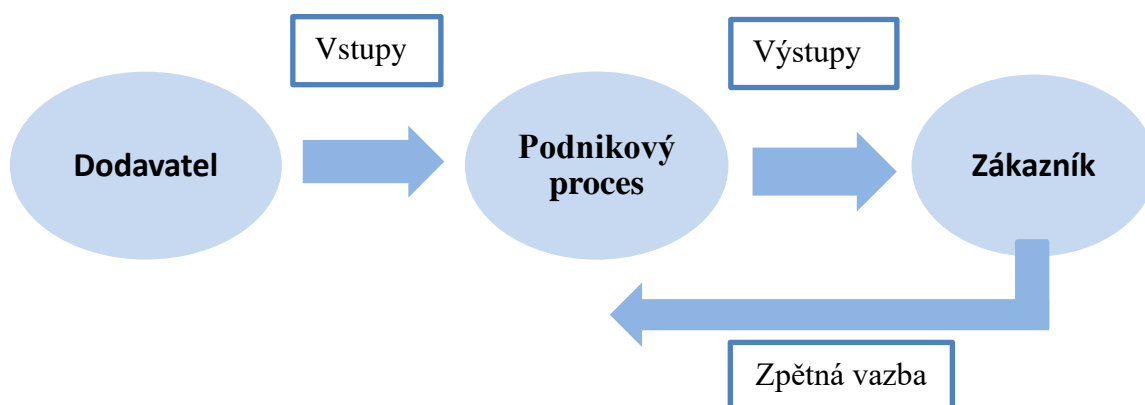
3.1 Výrobní proces

Každý typ výroby je složen z několika návazných výrobních procesů. Pro dosažení co nejlepší kvality a řízení procesu, je důležité definovat výrobní proces a jeho dělení. Z tohoto důvodu je zde kapitola o výrobním procesu.

Norma ČSN EN ISO 9000 Systémy managementu kvality – základní principy a slovník, konkrétně dnes již neplatná verze z roku 2001, která byla poslední přeloženou verzí této normy (novější verze jsou již jen harmonizované), definuje slovo proces jako:

„Proces je souborem vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících činností, který přeměňuje vstupy na výstupy.“ [6]

Pojem výrobní proces je charakterizován souhrnem technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, které mají za účel změnu tvaru, složení, jakosti a spojení výchozích materiálů a polotovarů podle požadovaných technicko-ekonomických podmínek daného výrobku.



Obrázek 4 - Základní schéma podnikového procesu [7]

Výrobní proces se dále dělí na:

- Hlavní výrobní proces – výroba konečných produktů určených k další distribuci
- Pomocný výrobní proces – výroba pomocných zařízení a přípravků pro hlavní proces
- Obslužný výrobní proces – zajišťuje dodávky energií a služeb (procesní kapaliny atd.)

Výrobní proces je uskutečňován pomocí výrobních systémů, které lze obecně charakterizovat jako věcné, technologické, časové, prostorové seskupení hmotných zdrojů (materiálu, energie, pracovních a výrobních prostředků) a pracovních sil, určených pro výrobu vybraných výrobků. Zjednodušeně lze říci, že samostatný výrobní proces (činnost) probíhá na výrobním systému (stroje a vybavení). Konkrétní návrh a provedení výrobních systémů záleží na vzájemném působení velké řady faktorů. Nejdůležitějšími faktory jsou:

- Výrobek – tvar a konstrukčně technologické požadavky
- Materiál a polotovary
- Výrobní stroje, dopravní a kontrolní technika
- Technologie (obrábění, svařování, montáž, tváření atd.)
- Pracovníci (odbornost, zkušenosti, kvalifikace, pracovní prostředí apod.)
- Energie (druh, způsoby dodání, množství atd.)
- Organizace (časová a prostorová struktura)

Každou operaci výrobního procesu při změně z polotovaru na finální výrobek je nutné přesně popsat a následně stanovit jejich pořadí. Seřazením jednotlivých výrobních procesů za sebou se získá výrobní postup. Výrobní postup se dále dělí na technologický a pracovní postup. Technologickým postupem se rozumí postup obsahující pouze sled technologických operací. Příkladem technologického procesu je samotný proces obrábění v CNC obráběcím centru. Pracovní postup se zabývá pouze činnostmi pracovníků a předepisuje jim sled pracovních operací nutných pro výrobu. Spojením technologického a pracovního postupu vznikne výrobní postup. Pro případ robotického svařování je pracovním postupem svářeče sestavení, nastehování a upnutí svařence do robotického pracoviště a technologickým postupem je předem naprogramovaný proces robotického svařování. [8]

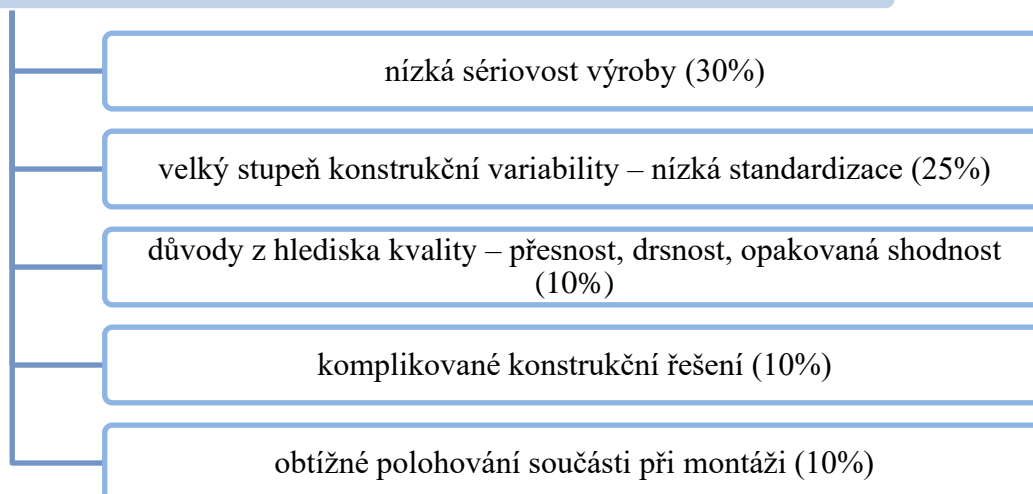
V této části práce byl stručně představen výrobní proces, jeho význam, dělení a faktory, které ho nejvíce ovlivňují. Následující kapitola se zaměřuje na montážní proces.

3.2 Montážní proces

Montážní proces je finální a často také nejsložitější část výrobního procesu. Montáž také zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu a spolehlivost výrobků. Tato etapa výrobního procesu značně ovlivňuje dobu výroby, produktivitu práce a efektivnost celého systému. Montáž nelze chápat jen jako seřizování polohy a spojování součástí v montážní celky, ale do procesu montáže je potřeba započítat také transport, manipulaci a kontrolu součástí.

V průběhu výroby strojírenských výrobků představuje pracnost montáže asi 30-50 % (v průměru 38 %) z celkové doby výroby. Podíl pracovníků ve výrobním procesu montáže je asi 32 % z celkového počtu. Tyto hodnoty jsou závislé především na technologičnosti konstrukce pro montáž, stupni mechanizace či automatizace a technicko-organizační formě montáže. U sériových, a hlavně hromadných typů výrobků klesá podíl pracnosti montáže, a to především kvůli vyššímu důrazu na technologičnost dílů a zvýšené specializaci a automatizaci pracovišť. Vysoká časová náročnost montáže je dána především nízkým stupněm automatizace a mechanizace montážních procesů. Až 70% montáže je prováděno pouze ručně. Tímto procentem ruční práce se montáž řadí mezi nejméně automatizované výrobní procesy. Důvody nízkého stupně automatizace jsou vypsány na následujícím obrázku. V závorce je vždy uvedeno, zhruba z kolika procent se důvod na obtížné automatizaci montáže podílí. [9], [10]

Důvody nízkého stupně automatizace a mechanizace



Obrázek 5 - Důvody nízkého stupně automatizace a mechanizace [9], [10]

V následující tabulce je vyznačený podíl činností při montážním procesu. S vyšší sériovostí výroby se snižuje procentuální podíl přizpůsobovacích prací a montáže s opakovanou demontáží na úkor činností typu manipulace a spojování.

Tabulka 2 - Struktura činností v kusové a malosériové montáži [10]

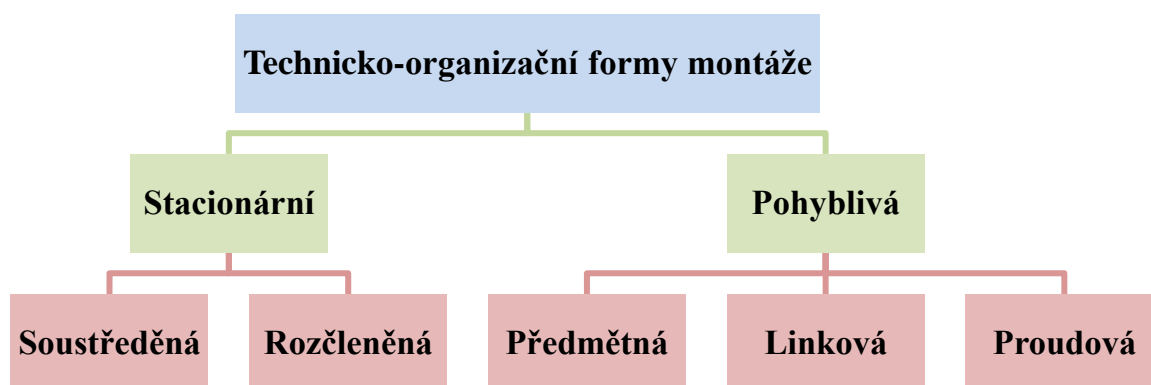
Činnosti v montážním procesu	% podíl	Montážní činnost v operaci	% podíl
Doprava	4		
Přizpůsobovací práce	43		
Příprava montáže	13		
Montáž	27	Ruční manipulace	11
		Spojování	37
		Kontrola	26
		Seřizování polohy	15
		Demontáž a opětovná montáž	11
Skladování (prodleva)	13		

V této části práce byl definován montážní proces, jeho specifika, časová náročnost a problémy v průběhu procesu. Největším z nich je obtížná automatizace procesu. V následující kapitole je popsáno několik způsobů dělení montáže.

3.2.1 Dělení montáže

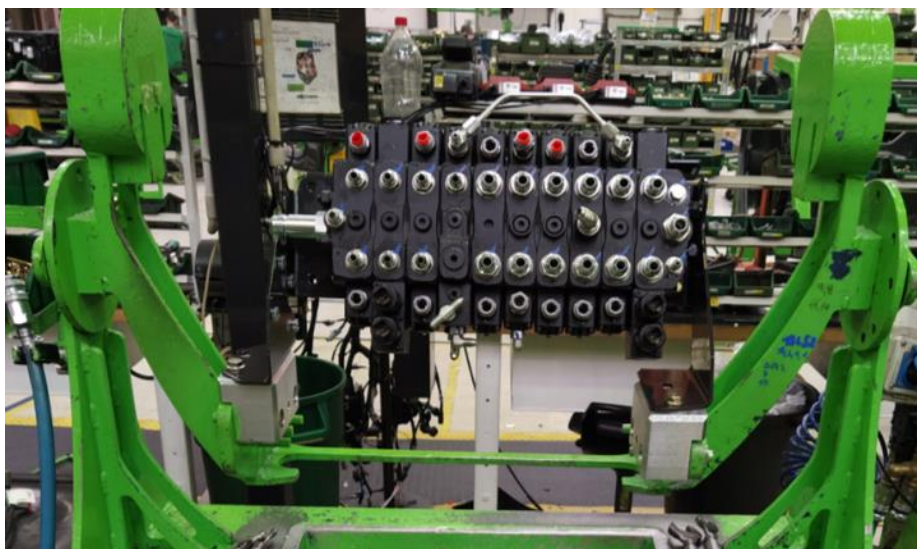
Proces montáže lze dělit podle více kategorií. V předchozím odstavci bylo představeno dělení podle stupně automatizace či mechanizace. Z tohoto hlediska se montáž velmi liší od ostatních typů výrobních procesů. V této kapitole je dále zmíněno dělení podle místa vykonání montáže na interní a externí montáž a dále podle technicko-organizační formy na stacionární a pohyblivou montáž.

Montáž se dělí podle místa vykonání na dva základní typy – interní a externí montáž. V případě interní montáže probíhá proces uvnitř podniku. U rozměrných výrobků se využívá sestavení jednotlivých montážních celků, poté se výrobek dopraví k zákazníkovi, kde dojde ke konečnému smontování výrobku a následnému ověření funkčnosti. Při odhalení zásadních problémů se výrobek musí znovu rozebrat a dopravit zpět do podniku. Druhou variantou interní montáže je úplná montáž v podniku, včetně otestování funkčnosti. Úplná interní montáž se využívá hlavně u menších výrobků a dopravních prostředků. Externí montáž probíhá mimo podnik, ve většině případů u zákazníka. Při externí montáži je snaha o co nejlepší přípravu dílů nebo montážních celků ve výrobním podniku. Externí montáž se využívá hlavně u rozměrově velkých konstrukcí, například u velkých manipulačních zařízení, potrubních systémů či stožárových konstrukcí. [9]



Obrázek 6 - Technicko-organizační formy montáže [11]

Stacionární montáž je nepohyblivá (montážní sestava je nehybná) a může být zároveň prováděna jedním či více pracovníky. Tento typ montáže se dále dělí na dvě základní podkategorie, a to na soustředěnou a rozčleněnou. V případě soustředěné montáže dochází ke spojování součástí na jednom místě a používá se nejčastěji klasické montážní nářadí bez speciálně vyrobených jednoúčelových nástrojů a přípravků. Nevýhodou soustředěné montáže je dlouhá doba a nepravidelný průběh práce. Vyšší nároky jsou také na kvalifikaci a samostatnost pracovníků. Výhodou stacionární montáže je velká flexibilita pracoviště. V případě stacionární rozčleněné montáže probíhá práce současně na více pracovištích – každý pracovník má svůj vlastní montážní celek a tyto celky se na dalších stanovištích kompletují dohromady. Vzhledem k návaznosti pracovišť na sebe je třeba počítat s určitou časovou rezervou při přesunu na další stanoviště. Podle charakteru časové rezervy lze dále dělit rozčleněnou montáž na montáž s volným taktem a montáž s pevným taktem. [11]



Obrázek 7 - Pracoviště nestacionární rozčleněné montáže hydraulického rozvaděče

Při pohyblivé (nestacionární) montáži dochází k rozdělení montážních operací po různých pracovištích. Přesun mezi stanovišti může být skupinově uskutečněn pomocí jeřábů, vozíků, palet či kontinuálně, pomocí dopravníků nebo manipulátorů. Pohyblivá montáž se dále dělí na předmětnou, linkovou a proudovou. Předmětná montáž se vyznačuje pohybem montovaného výrobku mezi pracovišti, na kterých každý pracovník vykonává opakující se činnosti. Tento typ linek bývá často vícepředmětný a proto má každé pracoviště univerzální vybavení. Předmětná montáž se používá při malosériové a velkosériové výrobě. Dalším typem pohyblivé montáže je linková montáž. Montážní celek opět putuje mezi pracovišti, která jsou ale zaměřená na více než jednu operaci a nepoužívá se univerzální vybavení pracovišť. Takt linky může být periodický nebo se může přesun na další pracoviště zajistit pomocí kontinuálního pohybu. Proudová montáž je nejvyšší formou nestacionární montáže. Na tomto typu linek je nutné zajistit sladění práce a vybalancování všech pracovišť pro plynulý a bezproblémový přesun na další pracoviště. V tomto typu výroby se používají jednoúčelové přípravky a nástroje. Proudová montáž je charakteristická pro hromadnou výrobu, a především pro automobilový průmysl. [12], [11]

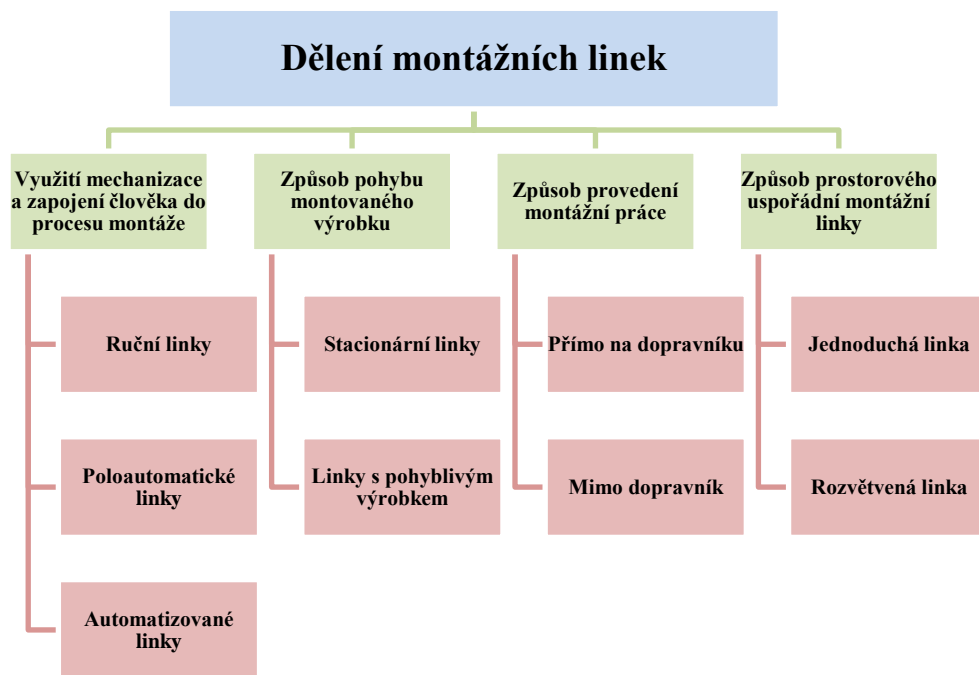
Jak již bylo zmíněno, tak při montáži lze využít jednotlivá montážní stanoviště nebo montážní linku. Z počátku 20. století byla manipulace při montáži a samotná montáž prováděna výlučně ručně. S nástupem velkosériové a hromadné výroby, především v automobilovém průmyslu, se postupně začal objevovat koncept montážní linky. První pohyblivý montážní pás se použil v automobilové továrně Ford v Detroitu. Sloužil

k propojení montážních pracovišť a kontinuální dopravě materiálů. Dělníci byli rozdělení podél montážního pásu a v předem stanoveném pořadí prováděli jednotlivé montážní operace.



Obrázek 8 - Pohyblivý montážní pás v automobilce Ford [12]

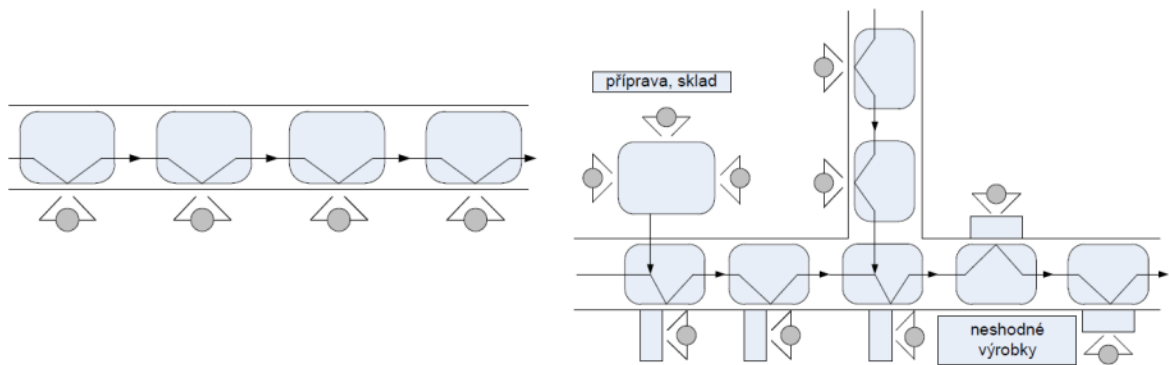
Montážní linku lze popsat jako soubor pracovišť, který je propojený mezioperační dopravou a je určený k provádění stanovených technologických operací při montáži finálního výrobku nebo jeho částí. Montážní linky lze dělit například podle kritérií zobrazených na následujícím obrázku.



Obrázek 9 - Dělení montážních linek [12]

Samotná montážní linka kompaktních rypadel v podniku Doosan Bobcat EMEA s.r.o. je kombinací více různých způsobů. Jedná se o rozvětvenou linku s pohyblivým výrobkem. Pohyblivá linka je jednoduchá (přímá) a má 10 stanovišť. Na tuto pohyblivou linku navazují předmontážní stacionární linky, na kterých se kompletují pod sestavy rypadla, například sestava motoru, násady a výložníku nebo právě hydraulického rozvaděče, který je předmětem této práce.

Na nadcházejícím obrázku je vlevo schéma přímé montážní linky, které představuje samotnou pohyblivou montážní linku rypadel. Vpravo je znázorněné schéma celé linky včetně přípravných a předmontážních pracovišť. Samotná montážní linka rypadel ve firmě Doosan Bobcat EMEA s.r.o. bude podrobněji představená v jedné z následujících kapitol této práce.

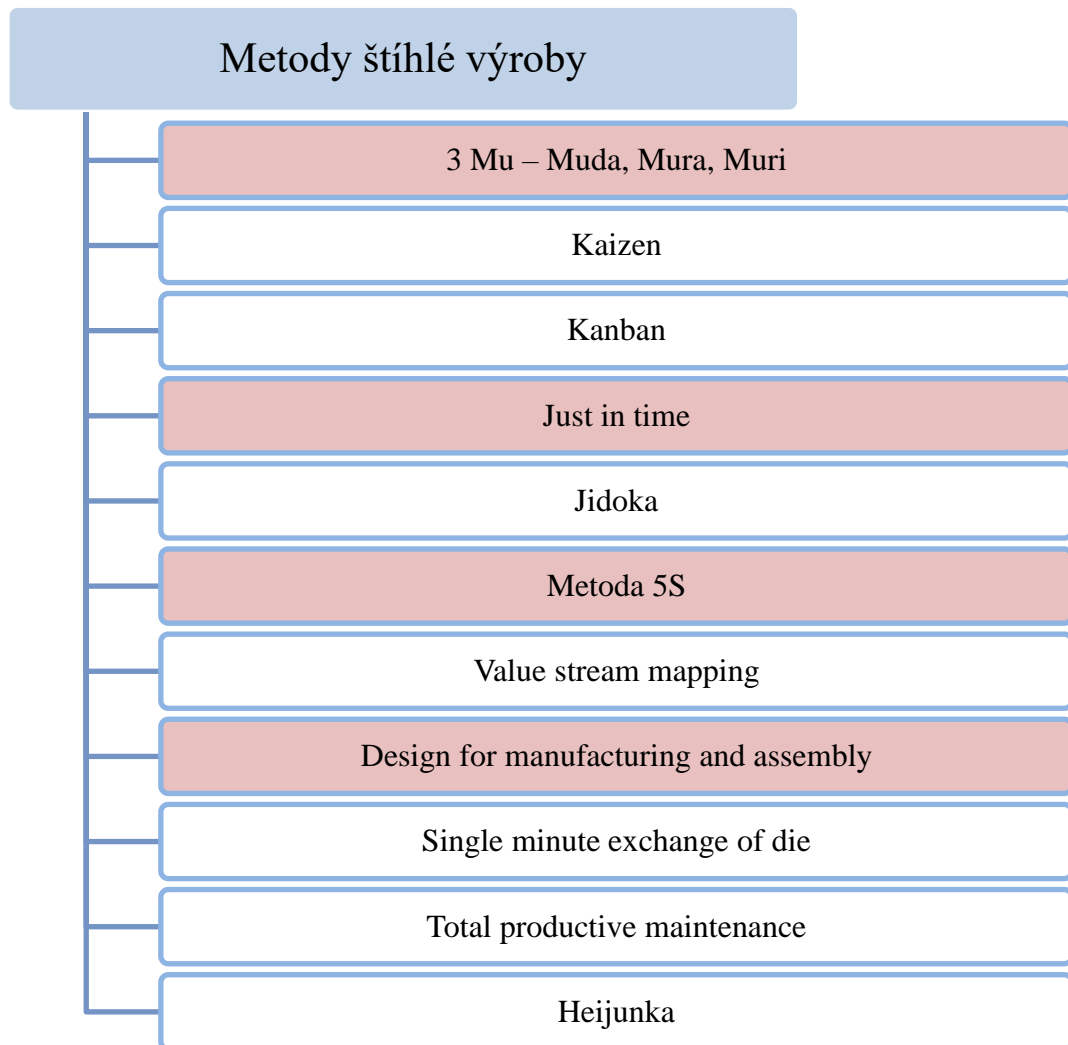


Obrázek 10 - Schéma přímé (vlevo) a rozvětvené (vpravo) montážní linky [12]

Náplní této kapitoly byla řešení problematiky montážních procesů. V první části byl shrnut proces obecně, poté výrobní proces a v druhé polovině montážní proces, dělení montáže, způsobů automatizace montáže a zmínění problémů s automatizací montáže. V závěru této části bylo uvedeno dělení montážních linek a stručně popsána montážní linka rypadel ve výrobním závodě společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

4 Rešerše metod analýzy a optimalizace procesů

Hlavním cílem této práce je optimalizace procesu montáže, z toho důvodu je v této části popsán proces optimalizace výrobního procesu, důvody optimalizace a moderní trendy v optimalizaci procesů (hlavně metody štíhlé výroby a také six sigma). V průběhu této kapitoly se zjistí, jak jsou důležitá přesná vstupní data před samotnou optimalizací a proto je tu uveden i přehled metod analýzy výroby.

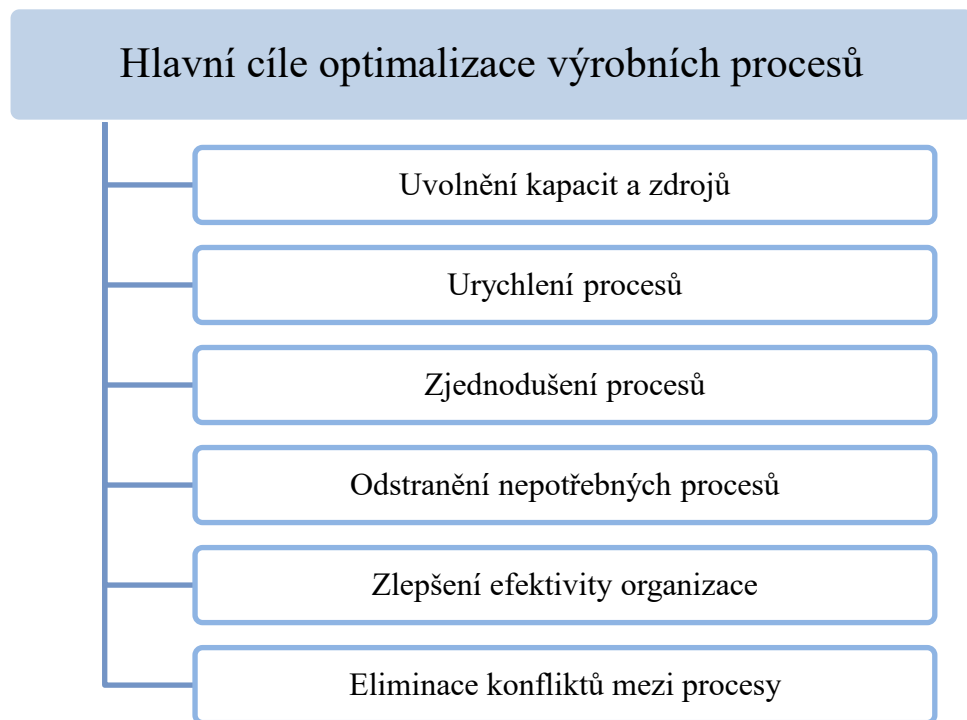


Obrázek 11 - Přehled metod štíhlé výroby

V případě metod štíhlé výroby jsou vybrané metody červeně označené na dalším obrázku. Výběr zmíněných metod nebyl náhodný, ale vybraly se takové metody, které se přímo týkají předmětu této práce.

4.1 Optimalizace výrobního procesu

Snahou každé firmy je neustálé zlepšování a optimalizace výroby. Správné nastavení vnitřních procesů značně ovlivňuje náklady a celkovou efektivitu podniku. V rámci optimalizace lze odhalit rezervy, duplicitní procesy a zbytečné činnosti. Při správné optimalizaci výrobních procesů dochází k ušetření zdrojů podniku – lidských, finančních a materiálových a souběžně také ke zkrácení času výroby. Na následujícím obrázku jsou vypsány hlavní cíle optimalizace výrobních procesů. [7]

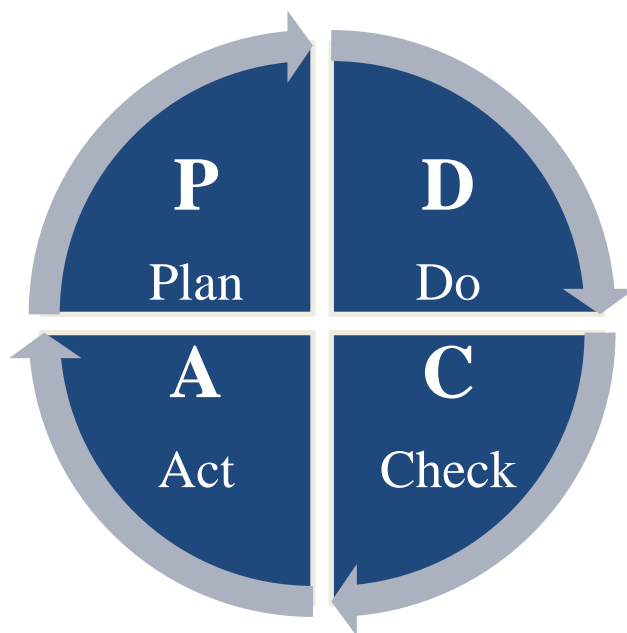


Obrázek 12 - Hlavní cíle optimalizace výrobních procesů [7]

Základní metodikou pro zlepšování jakosti procesů je Demingův nebo také PCDA cyklus. Tento model se skládá ze 4 základních částí, ve kterých by měly probíhat změny ve výrobních procesech. Jedná se o nekonečný cyklus – pro potřeby neustálého zlepšování by se měl stále opakovat.

Čtyři základní části cyklu PDCA (Plan, Do, Check, Act) jsou:

- **P** Plan (Naplánuj) – analýza současného stavu a tvorba plánu pro zlepšení
- **D** Do (Proveď) – realizace předem naplánovaných činností
- **C** Check (Ověř) – Mapování a analýza dosažených výsledků
- **A** Act (Jednej) – Vyhodnocení dosažených výsledků a provedení dodatečných úprav [13]



Obrázek 13 - PDCA diagram [13]

V podkapitole s názvem optimalizace výrobního procesu byly popsány hlavní důvody, proč je optimalizace důležitá. Také tu byl zmíněn Demingův cyklus, podle kterého by měla optimalizace probíhat.

4.2 Racionalizace

Jedním ze základních způsobů optimalizace procesů je racionalizace. Termín racionalizace a důvody pro aplikaci ve výrobě jsou popsány v této podkapitole.

Pojem racionalizace pochází z ekonomie a jedná se o úsilí o zdokonalení výroby, organizace výroby a jejího řízení. Racionalizace je součástí souhrnu opatření vedoucích k účelnějšímu a hospodárnějšímu způsobu vykonání práce a výroby. Komplexní racionalizace se netýká pouze samotné výroby, ale i oblastí řízení. Na racionalizaci se kladou stále větší a větší požadavky. Snahou racionalizace je hledání možností, jak zvýšit efektivita pracovišť, kanceláří, výrobních systémů a celých výrobních podniků. [14]

Za počátky racionalizace a optimalizace výroby lze označit přelom 19. a 20. století, kdy Američan Frederick Winslow Taylor jako provozní vedoucí v podniku Midvale Steel Company zformuloval čtyři základní principy řízení práce. Tyto zásady publikoval o několik let později v práci s názvem *The Principles of Scientific Management*.

4 principy řízení dle Taylora jsou:

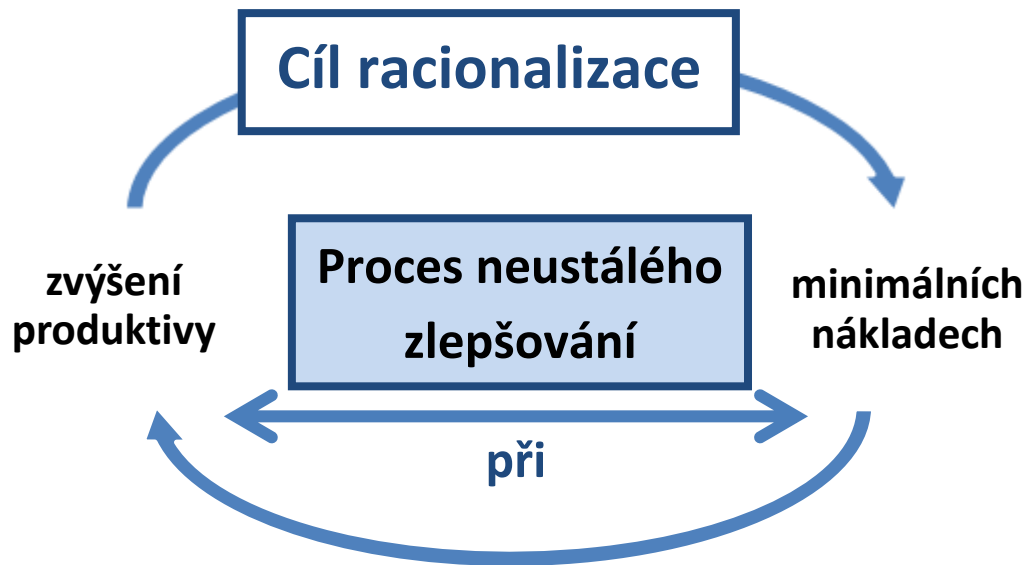
- Hodnocení práce jednotlivce metodou osahání práce má být nahrazeno vědeckým přístupem.
- Vědecky volit postup trénování a rozvoje každého zaměstnance.
- Potřeba spolupráce s pracovníky za účelem získání jistoty, že pracovníci provádějí práci dle vědecky stanoveného postupu.
- Dělbba práce a odpovědnosti mezi pracovníky a manažery. Manažeři aplikují vědecké metody při plánování práce a pracovníci je skutečně vykonávají. Pravomoc a odpovědnost za provedení všech prací patří vedoucím pracovníkům. [15]

Taylor také definoval základní metodiku a předpoklady pro úspěšnou optimalizaci jako:

- Všechny pracovní úkony je potřeba rozdělit na základní pracovní pohyby, ze kterých se vytvoří pohybová a časová studie. Na základě těchto studií se vylepší pracovní postupy a zdokonalí pracovní podmínky.
- Neúkolovat dělníka pomocnými a přípravnými pracemi. Místo toho na tyto práce použít specializované dělníky, kteří budou pomocné práce vykonávat rychleji a lépe.
- Volit dělníky podle jejich kvalifikace a odpovědnosti. Provádět školení. [16]

Základním principem racionalizace výroby je nepřetržité zdokonalování výrobního systému. Podniky, které chtějí dlouhodobě uspět v náročném tržním prostředí, by se měly neustále snažit zvyšovat produktivitu práce v zájmu zlepšení jejich ekonomických výsledků a také zvýšení konkurenceschopnosti. V podstatě se jedná o snahu, aby se výrobní proces uskutečňoval na stále vyšší úrovni techniky, technologie, organizace práce, výroby a řízení. Racionalizace se jeví jako rozumové vládnutí pracovního úseku. Základem je vyloučení zbytečných ztrát a využití organizačních rezerv.

Racionalizační opatření lze chápat jako soubor technickoorganizačních a psychologických metod, postupů a opatření, které vedou ke zvýšení produktivity práce. Cílem racionalizace je maximální zvyšování produktivity za současné potřeby co nejmenších investic. Hranice dosaženého zlepšení produktivity práce jsou však těžko stanovitelné, protože se jedná o postup neustálého zdokonalování. [14]



Obrázek 14 - Cíle racionalizace výroby [14]

Základní nástroje racionalizace jsou:

- Optimalizace provádění pracovních operací
- Ergonomie pracoviště – uspořádání a vybavení pracoviště
- Technické úpravy pracovišť – přípravky, držáky atd.
- Technologičnost konstrukce
- Uspořádání pracovišť

Samotná racionalizace výroby probíhá dle následného pořadí:

- Poznání (analýza) pracovního systému
- Posouzení funkce současného pracovního systému
- Generování racionalizačních opatření
- Realizace opatření
- Vyhodnocení přínosů [14]

V této části práce byla přestavena racionalizace výroby. Jedná se o základní způsob zlepšení stavu produkce, při co nejmenších nákladech na inovace.

4.3 Štíhlá výroba

Jedním z poměrně moderních způsobů optimalizace výroby je využití principů štíhlé výroby. Základním cílem všech metod štíhlé výroby je úspora času a snížení počtu neshodných dílů ve výrobním procesu. Štíhlá výroba se používá ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o., a proto je tu zmíněna.

Pojem štíhlá výroba je tradičně spjatý se společností Toyota a období po 2. světové válce, ale kořeny štíhlé výroby sahají hlouběji. Už v továrnách v 19. století lze najít první známky úsporných procesů. Prvním průkopníkem myšlenek štíhlé výroby byl již dříve zmíněný Frederick W. Taylor.

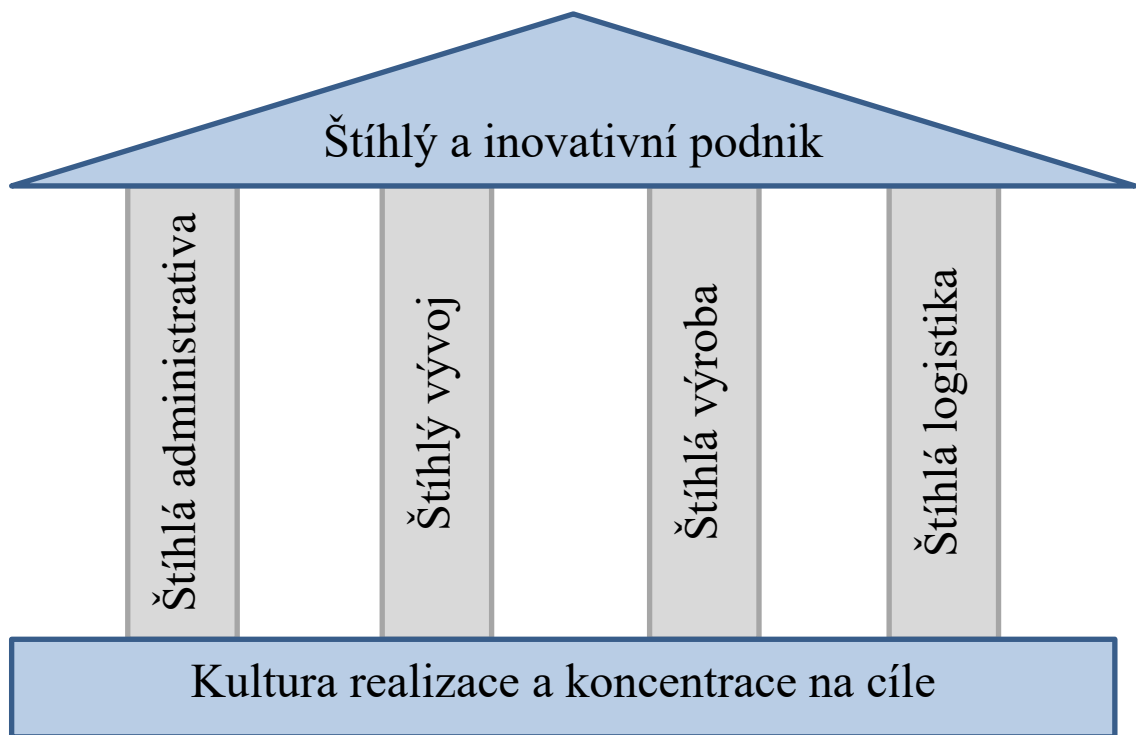
Významným jménem v historii štíhlé výroby je Henry Ford a jeho automobilka Ford. Koncept štíhlé výroby v podniku Ford spočíval v tom, že výroba byla soustředěna do formy uspořádané výrobní linky. Jednotlivá pracoviště na sebe navazovala a nevznikaly tak zbytečné prostoje. Lze říct, že Henry Ford provedl první zavedení myšlenek štíhlé výroby do praxe.

Moderní historie štíhlé výroby je spjatá s podnikem Toyota v období 50. let 20. století. Po 2. světové válce byl japonský průmysl v troskách. Byla potřeba průmysl znovu nastartovat, a proto japonští inženýři začali studovat americký průmysl a jeho metody (hlavně ve firmě Ford). Z USA v tomto období přijelo několik konzultantů. Jedním z konzultantů byl i Edwards Deming, který se později stal manažerem ve společnosti Toyota. V podniku Toyota si všimli, že systém Fordu je už značně zastaralý a má své rezervy, zejména v oblasti lidských zdrojů. Přístup Fordu k dělníkům byl příliš tvrdý a neúčinný. Demingova skupina udělala postupně z dělníků také pracovníky kontroly a inovací. Toyota se poučila z dřívějších chyb Fordu, které už neopakovala.

Vrcholní zástupci Toyoty Eiji Toyoda a Taiichi Ohno se s Demingovou pomocí snažili neustále zlepšovat procesy a vymýšlet nové způsoby výroby pro zefektivnění podniku. Jejich inspirací byly také americké supermarketové a způsob jejich fungování – zde poznali, že je potřeba nakupovat jen to, co žádají jejich zákazníci a nakupovat takovým stylem, aby byly skladové zásoby co nejmenší. Toyoda a Ohno založili v 50. letech 20. století metodu Toyota Production System (TPS), který se stal prvním moderním způsobem štíhlé výroby. V počátku byly základem TPS hlavně koncepty Just in Time a Jidoka, později se (díky supermarketům) přidala metoda, která se dnes označuje 5S. Systém TPS byl velmi rychle úspěšný a pomohl firmě Toyota propracovat se na přední místo v oboru

kvality výroby automobilů. V 60. letech dále se ve společnosti Toyota pokračovalo v myšlence TPS a Shiego Shingo definoval metodu Poka-yoke. [17], [18]

Koncept štíhlého podniku se skládá z více různých štíhlých oddělení. Štíhlá výroba je určitě nejznámější z nich, dále existuje například štíhlý vývoj či štíhlá logistika. Základní pilíře štíhlého podniku jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obrázek 15 - Základní pilíře štíhlého podniku [19]

V následujících bodech jsou popsány některé metody štíhlé výroby. Vybrány jsou ty metody, které se budou týkat této práce diplomové práce a používají se ve firmě Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

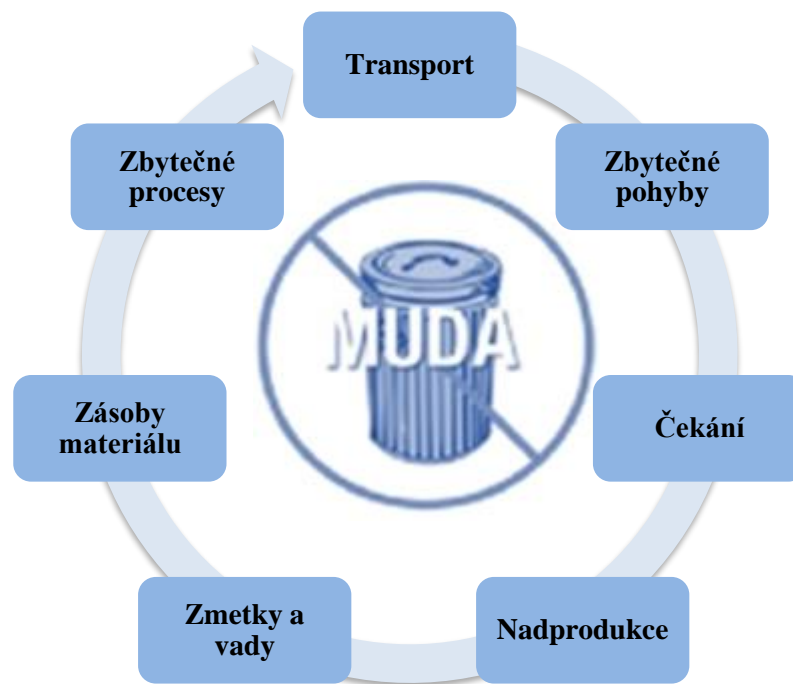
4.3.1 3 Mu – Muda, Mura, Muri

Jedním ze základních cílů štíhlé výroby je omezení plýtvání, a to jak plýtvání penězi, tak i lidskými zdroji. Proto je zde zmíněn koncept 3 Mu, který se zabývá plýtváním, nerovnoměrností a přetěžováním ve výrobě.

Jedním ze základních pojmů štíhlé výroby jsou japonská slova muda, mura a muri. Muda znamená v překladu plýtvání, mura nerovnoměrnost a muri je přetěžování.

Muda neboli plýtvání je jedním z největších nedostatků výroby a jeho eliminace je jedním ze stěžejních úkolů štihlé výroby. Muda se obvykle dále dělí na 7 základních typů a to:

- Transport – materiálu od dodavatelů, transport po výrobním podniku
- Zbytečné pohyby – špatný návrh pracoviště, operátor musí celý den vykonávat zbytečné pohyby, které mají za důsledek únavu a nižší produktivitu
- Čekání – na polotovary, materiál, objednávku rozhodnutí atd.
- Nadprodukce – nadbytečná výroba na sklad, nutné platit skladování
- Zmetky a vady – zbytečná náklady na opravy zmetků a výbavu pracovišť opravy
- Zásoby materiálu – velké skladové zásoby zvyšují požadavky na skladovací prostor
- Zbytečné procesy – příliš složité procesy, které nepřinášejí zlepšení, důsledkem zbytečných procesů může být zpomalení výroby. [21], [22]



Obrázek 16 - Sedm druhů plýtvání [20]

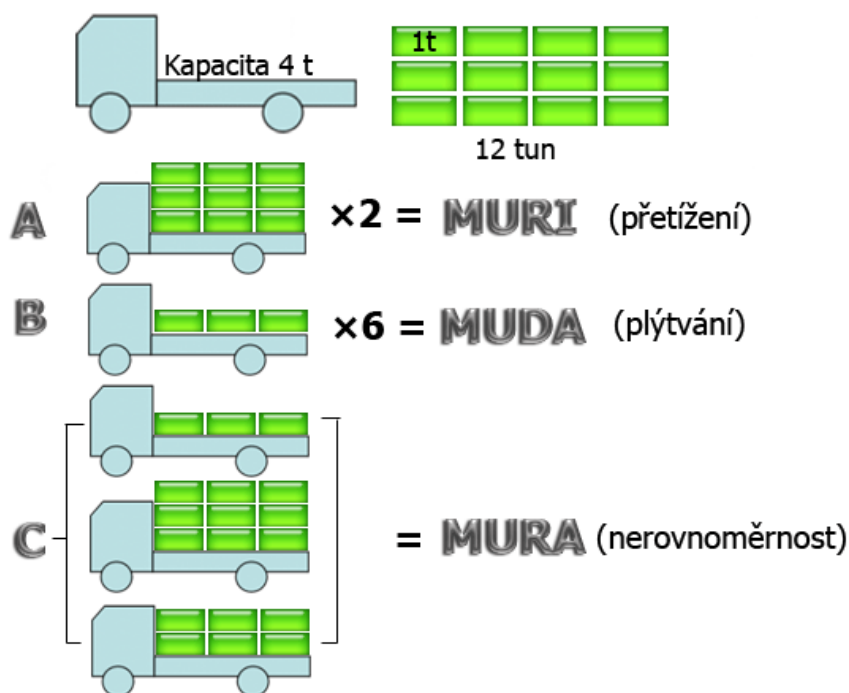
Od vzniku tohoto dělení bylo specifikováno mnoho dalších druhů plýtvání. Pravděpodobně nejznámějším je nevyužití lidské tvořivosti a potenciálu.

Dalším pojmem je mura (nestejnomyšlnost, nerovnoměrnost, nepravidelnost či nevyrovnanost). Mura se nejčastěji dává do souvislosti s transportem materiálu a metodou JIT lze bojovat proti nevyváženosti především v oblasti materiálových toků. Mura je ale problém i mnoha dalších oblastí, například:

- Nerovnoměrná poptávka po vyráběném zboží od zákazníků
- Kolísavá velikost skladových zásob – někdy málo a někdy moc
- Nerovnoměrná rychlost výroby nebo změna množství vyráběného zboží
- Nepravidelnosti v kvalitě vyráběných kusů
- Nepravidelný pracovní rytmus
- Nevyvážené proškolení zaměstnanců
- Nerovnoměrné rozložení pracovní zátěže

Muri znamená přetěžování zdrojů, především lidí. Pod pojmem muri si lze představit i oblasti materiálů, strojního vybavení či organizace. Muri v oblasti lidských zdrojů znamená především:

- Příliš dlouho trvající práce
- Manipulace s těžkými břemeny
- Nevhodné držení těla či nedostatečná ergonomie
- Moc velký hluk na pracovišti
- Příliš snadné či naopak příliš náročné úkoly
- Nadměrný stres a cokoli co vede k vyhoření nebo vyčerpání
- Nedostatek tréninku [21], [22]



Obrázek 17 - Znázornění pojmů muda, mura a muri [23]

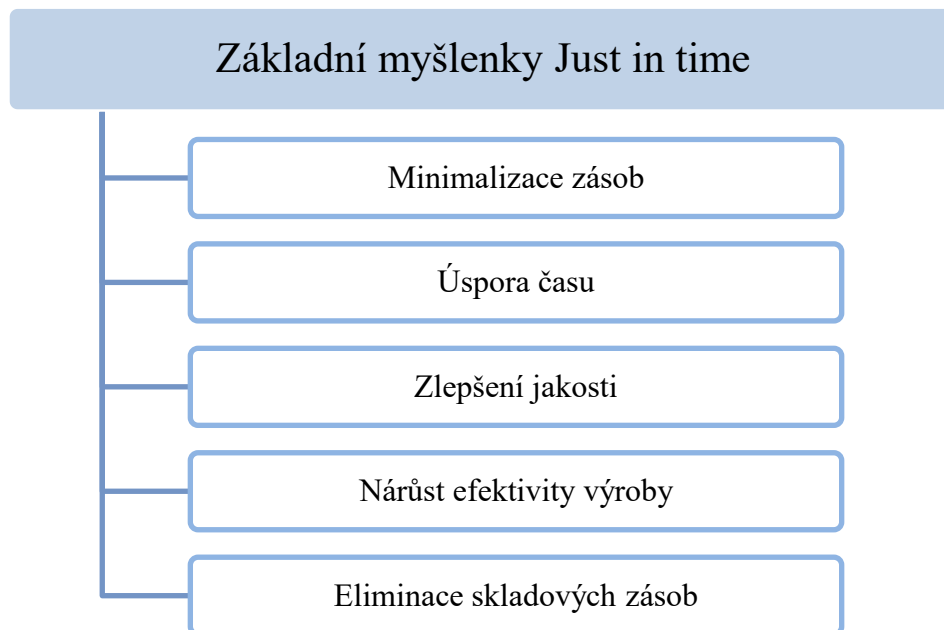
V této podkapitole byl zmíněný koncept 3 mu, především plýtvání (muda). Správné využití zdrojů a identifikace plýtvání, přetížení a nerovnoměrnosti je základním předpokladem pro úspěšné zavedení štíhlé výroby.

4.3.2 Just in time

Náklady na nevýrobní prostory tvoří značnou část nákladů na výslednou cenu výrobu. Z toho důvodu je snaha co nejvíce snížit podíl nevýrobních prostorů, kde se nevytváří přidaná hodnota na úkor co nejvyššího podílu výrobních prostor. Jedním ze způsobů, jak tohoto stavu docílit je použití myšlenek just in time (JIT).

S myšlenkou just in time přišel Kiichorio Toyoda ve chvíli, kdy během cesty po Anglii kvůli menšímu zpoždění nestihl vlak. Vlak přijel včas, ale Toyoda se zpozdil a kvůli krátkému zpoždění musel čekat delší čas na další spoj. To ho přivedlo na myšlenku analogie ve výrobních podnicích. Pokud materiál dorazí se zpožděním, vznikají zbytečné prostoje ve výrobě. Materiál, který dorazí příliš brzy, naopak zbytečně zabírá prostor a vznikají další dodatečné náklady na uskladnění. Materiál do výroby proto musí dorazit právě včas – Just in time. [24]

Dnes Just in time (JIT) patří mezi nejznámější logistické nástroje, jeho hlavními myšlenky jsou znázorněné na následujícím obrázku.



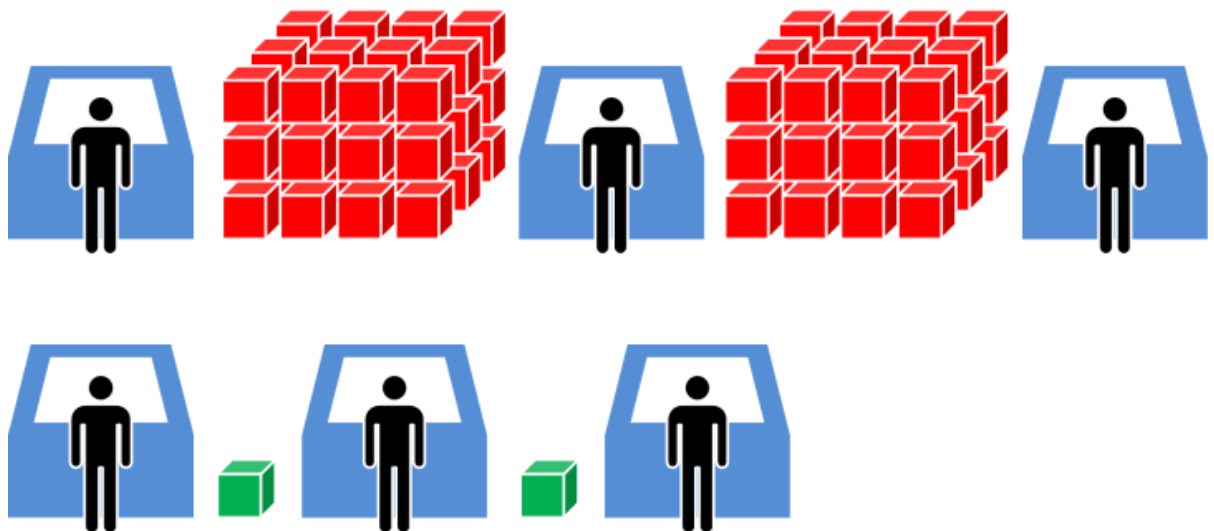
Obrázek 18 - Základní myšlenky Just in time

Pomocí těchto kroků se JIT snaží o snížení času procesu a s tím spojenou úsporou finančních zdrojů podniku. Jedná se tedy o komplexní proces snižování výrobních časů pomocí redukce výrobní dávky, optimalizaci toků materiálů a informací a dále minimalizaci času seřizování při změně výroby.

JIT se v praxi může aplikovat v různých směrech, například jako:

- Nástroj pro eliminaci ztrát a neustálého zlepšování díky spolupráci všech dělníků.
- Nástroj pro řízení výroby pomocí dalších faktorů.
- JIT pro řízení výroby a její plánování. Pro synchronizaci výroby lze použít další nástroje, například kanban.

Zásadním přínosem JIT je úspora prostor podniku – jak skladových, tak výrobních. Nároky na skladové prostory jsou nižší, díky menšímu množství zásob. Úspory výrobních ploch se dosáhne pomocí redukcí mezioperačních zásob nebo rozpracované výroby. Díky úspoře těchto ploch může podnik využít více prostoru pro samotnou výrobu a tím se zvýší celková produktivita výroby. [25], [26]



Obrázek 19 - Omezení skladových zásob v rámci metody Just in time [24]

Ve zkratce lze JIT definovat jako proces, díky kterému výroba produkuje výrobky v právě požadovaný čas a v právě vyžadovaném množství, bez zbytečně velkých skladových zásob.

4.3.3 Metoda 5S

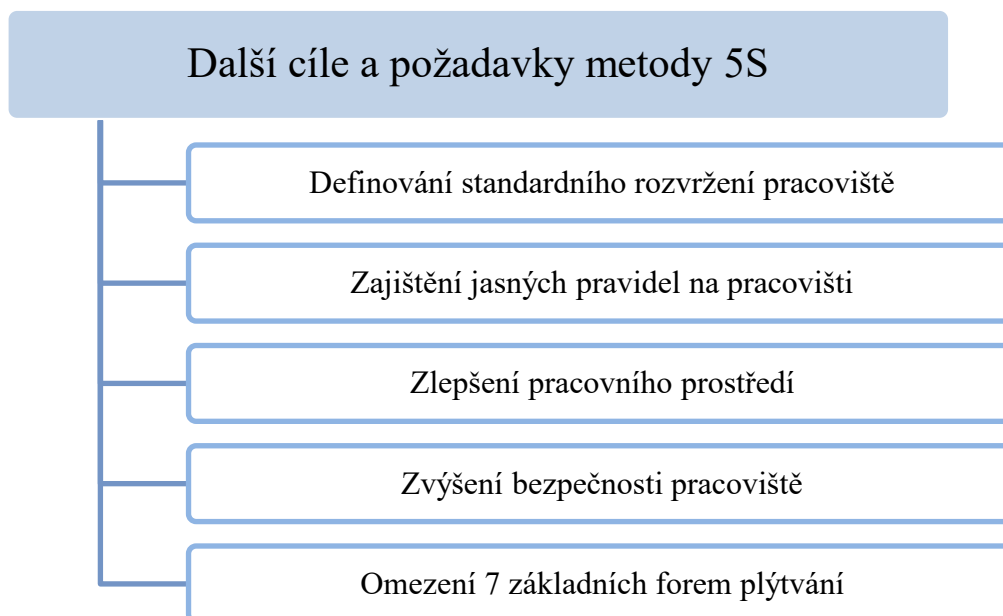
Metoda 5S je velmi známá a hojně používaná v průmyslu. Jedná se o základní metodu štíhlé výroby, jejímž cílem je zamezení plýtvání na pracovišti. Po zavedení 5S by mělo být pracoviště přehledné, bez zbytečných předmětů, čisté a standardizované. Na takovém pracovišti by měla probíhat bezchybná výroba. Ve zkratce lze říct, že se jedná o vytvoření a udržování pořádku a organizaci na pracovišti.

Jak již název napovídá, tak metoda je rozdělena do 5, na sebe navazujících kroků. Metodika 5S má svůj původ v Japonsku a písmeno S v názvu značí počáteční písmeno názvů jednotlivých kroků v japonštině. Konkrétně se jedná o kroky s názvy Seiri, Seiton, Sieso, Seiketsu a Shitsuke. Jejich anglické a české ekvivalenty jsou uvedeny v následující tabulce. [27]

Tabulka 3 - Přehled japonských, anglických a českých názvů kroků 5S [27], [28]

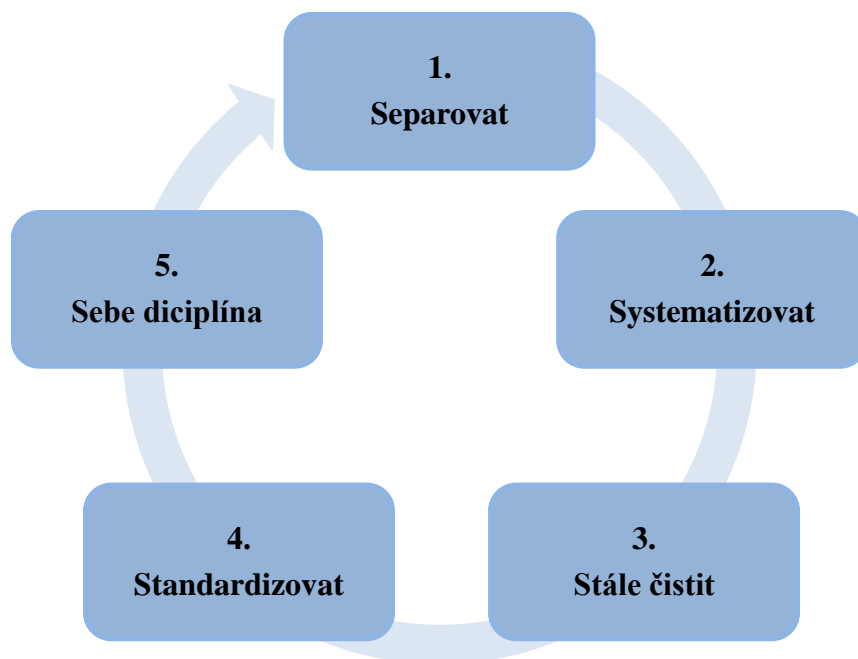
Číslo kroku	Japonský název	Anglický název	Český název
1	Seiri	Sorting	Separovat
2	Seiton	Set in order	Systematizovat
3	Seiso	Shining	Stále čistit
4	Seiketsu	Standardizing	Standardizovat
5	Shitsuke	Sustaining	Sebe disciplína

Na pracovišti se časem obvykle vytvoří velký soubor různých předmětů, pomůcek, přípravků a dokumentace. Často je na pracovišti řada neaktuálních věcí, které akorát překáží a zbytečně zabírají místo. Hledání konkrétního nástroje často zbytečně zabírá čas a někdy je nadbytek předmětů dokonce nebezpečný. Hlavním cílem 5S je vytvoření štíhlého pracoviště, na kterém se nacházejí pouze předměty nutné k výrobě předmětu. Kromě tohoto základního požadavku jsou další cíle znázorněné na následujícím obrázku.



Obrázek 20 - Další cíle a požadavky metody 5S

Na následujícím obrázku je znázorněno 5 kroků metody 5S. A dále je podrobněji uveden postup aplikace 5S včetně popisu jednotlivých kroků.



Obrázek 21 - Znázornění metody 5S

- **1. krok Separovat – Seiri:**

Na pracovišti se mají vyskytovat pouze předměty, které jsou k dané práci nutné. Předměty, které se používají velmi často, by měly být co nejbližší a předměty, které se používají zřídka, mohou být dále a předměty, které se nepoužívají vůbec, nemají na pracovišti být. Důležité je udělat tento první krok opravdu důkladně a projít všechny zásuvky, skříně a boxy na pracovišti.

- **2. krok Systematizovat – Seiton:**

Cílem druhého kroku je najít vhodné umístění pro pomůcky a nástroje, které se vyskytují na pracovišti. Pomůckou pro volbu umístění předmětů může být např. frekvence použití. Po úspěšném provedení tohoto kroku má každá položka, vyskytující se na pracovišti svoji předem danou a označenou pozici.

- **3. krok Stále čistit – Seiso:**

Základem tohoto kroku je vyčištění pracoviště. Pracovní prostředí musí být neustále čisté, aby se zabránilo zbytečným poraněním z důvodu chybějícího řádu na pracovišti. V průběhu 3. kroku je ideální se zamyslet nad zdrojem znečištění na pracovišti a pokusit se ho eliminovat. Součástí je pořízení fotografie pracoviště pro porovnání stavu před a po aplikaci metody 5S.

- **4. krok Seiketsu – Standardizovat**

Je nutné, aby byla stejná práce vždy prováděna stejným způsobem. Pracovníci jsou proškoleni na předcházející 3S. Je definován určitý standard například pro úklid, kde se definuje, co se čistí, čím se to čistí, kdy se to čistí a jak dlouho to trvá.

- **5. krok Sebe disciplína – Shitsuke**

Posledním krokem v metodě 5S je zajištění trvale udržitelného stavu na pracovišti. Ve zkratce jde o to, aby se stav časem nevrátil do situace před zavedením 5S. Zaměstnanci se kontrolují navzájem a stav se zaznamenává do karty kontroly. [27], [28]



Obrázek 22 - Porovnání stavu před a po aplikaci metody 5S [29]

V dnešní době je už původní koncept 5S neaktuální a zastaralý, pořád se z něj ale vychází, jen se přidávají další kroky navíc. Často se lze setkat s termíny 7S nebo dokonce 9S.

- **6. krok 5S Bezpečnost:**

Jak již název napovídá, tak tento krok se soustředí především na bezpečnost pracoviště a minimalizaci rizik spojených s prací. V ideálním stavu se na pracovišti nestávají žádné úrazy. V rámci tohoto kroku se předepisují ochranné pracovní pomůcky, školí se správné postupy při používání nástrojů a také je kladen důraz na eliminaci všech rizik pro zaměstnance z hlediska bezpečnosti.

- **7. krok 5S Ekologie a životní prostředí:**

V rámci průmyslové výroby se tento krok zaměřuje především na odpadové hospodářství, ochranu vod, ovzduší a půdy. Odpadové hospodářství podle 5S se zaměřuje především na ukládání a správné třídění odpadu, dodržování barevného rozlišení odpadových nádob, označení kontejnerů a případnou tvorbu mapy s umístěním absorpčních prostředků.

Pokud je metoda 5S správně provedena a neustále vylepšována, lze očekávat zlepšení o 10-15%. Důležité je zapojení všech pracovníků do procesu změn. [28]

Na následujícím obrázku je ukázka použití metody 5S v praxi, konkrétně se jedná o označení různých sektorů na pracovišti pomocí barevných čar. Díky tomu je naprosto jasné kde se má vozík, odpadková nádoba či montážní přípravek nacházet.



Obrázek 23 - Příklad aplikace 5S na montážní lince hydraulických rozvaděčů [44]

Správně aplikované a udržované 5S má za cíl odstranit zbytečné nástroje a nářadí z pracoviště, dále zavést a udržovat systém a pořádek na pracovišti. 5S se velkým používá v řadě strojírenských firem včetně společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o., a proto je zde 5S zmíněné.

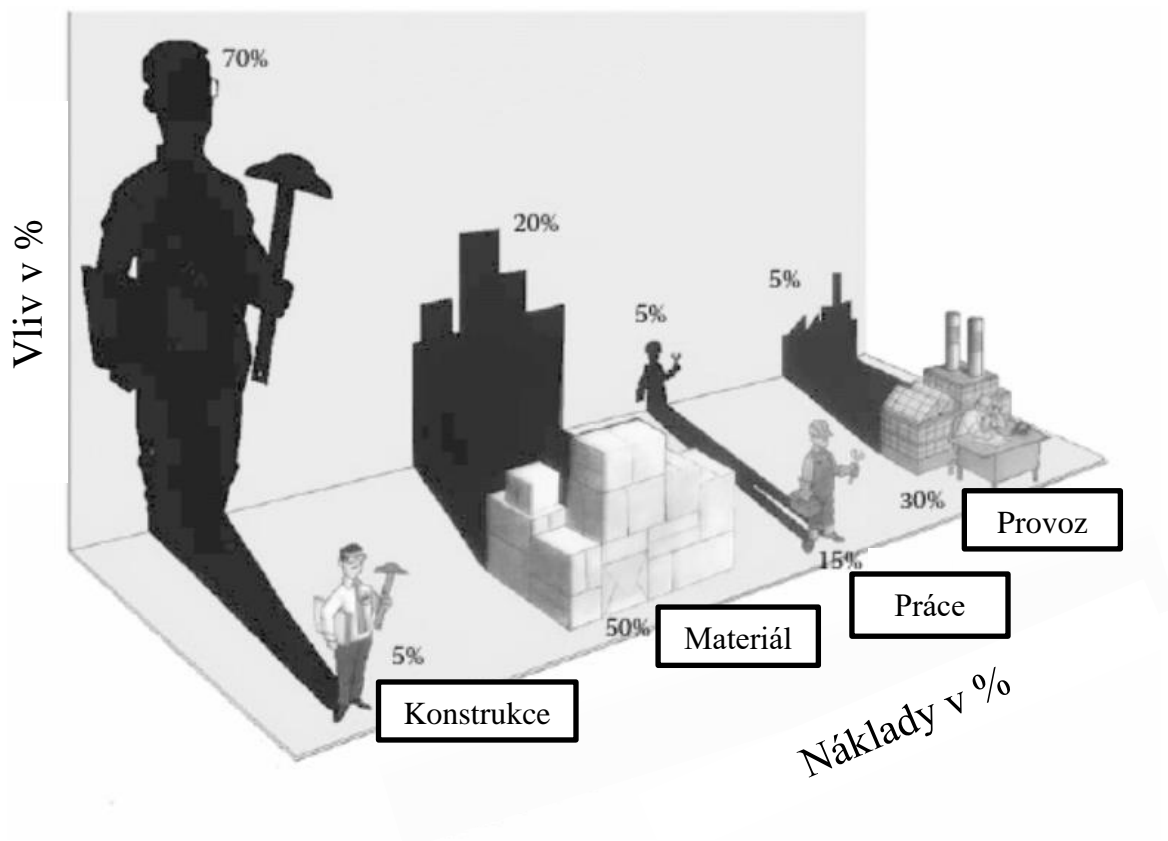
4.3.4 DFMA

Na výsledné náklady na výrobu produktu má největší vliv jeho konstrukce. Obtížně vyrobitelný či zbytečně komplexní návrh může výslednou výrobu značně prodražit. Pro uzpůsobení dílů pro montáž a výrobu se používá metoda štíhlé výroby s názvem DFMA.

Zkratka DFMA znamená v angličtině design for manufacture and assembly, což lze přeložit jako konstrukce pro výrobu a montáž. Jedná se o složení dvou metod, konkrétně design for manufacture (DFM) – konstrukce pro výrobu a dále design for assembly (DFA) - konstrukce pro montáž. Hlavní myšlenkou DFM je uzpůsobení konstrukce pro co nejjednodušší a nejméně nákladnou výrobu – zvýšení technologičnosti konstrukce. DFA si klade za cíl co nejvíce přizpůsobit konstrukci pro montáž a odstranit případné budoucí problémy. DFMA potom oba tyto přístupy kombinuje. Cílem použití DFMA je identifikace, kvantifikace a omezení zbytečných nákladů nebo neefektivnosti ve fázi konstrukčního návrhu. Jedná se tedy o jednu z metodik štíhlé výroby. DFMA se používá hlavně pro následující účely:

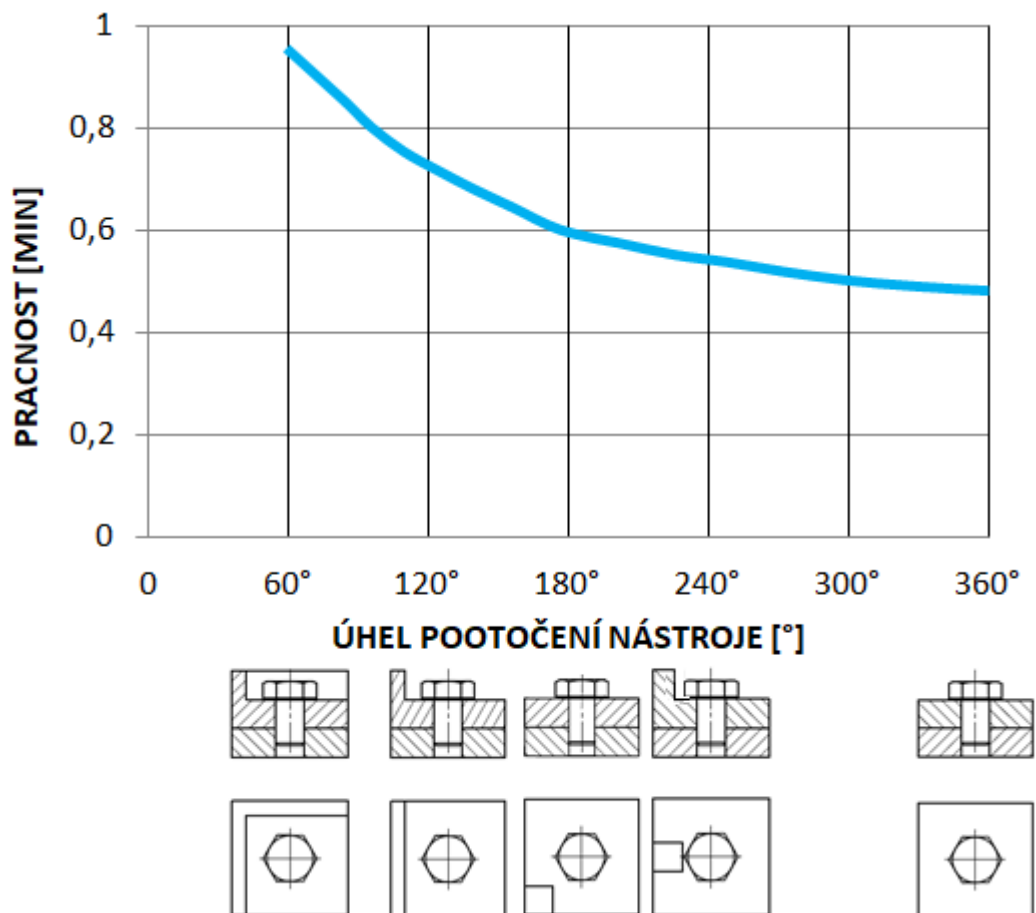
- Jako základ pro inženýrské studie poskytnutím konstrukčnímu týmu metodiku pro zjednodušení struktury výrobku za účelem snížení času a nákladů. Dále jako prostředek, díky kterému lze vyčíslit zlepšení těchto opatření.
- Jako srovnávací nástroj pro studii konkurenčních produktů a nástroj pro kvantifikaci výrobních a montážních obtíží.
- Nástroj pro kalkulaci nákladů na výrobu a montáž z důvodu optimalizace nákladů a jako nástroj pro tvorbu podkladů pro jednání s dodavateli.

Jak je patrné na následujícím obrázku, tak největší vliv na skryté finanční náklady má konstrukce. Špatný návrh výrobku, či zbytečně složitý produkt může značně navýšit výslednou cenu a snížit konkurenceschopnost výrobního podniku. [30]



Obrázek 24 - Porovnání skrytých nákladů na výrobu a montáž [31]

Typickým příkladem na možné úspory kvůli nevhodně zvolenému konstrukčnímu návrhu jsou šroubové spoje. Jedním z faktorů, které mohou citelně prodloužit dobu montáže je maximální možný úhel pootočení klíče pro utahování šestihranných matic. Pokud je maximální úhel otočení 60° , pak je časová náročnost oproti úhlu 360° zhruba dvojnásobná. Při větším počtu šroubových spojů je potom nárůst času montáže opravdu značný. [10]



Obrázek 25 - Vliv přístupnosti k místu šroubového spojení na pracnost [10]

V této kapitole byl ukázán vliv konstrukce na výrobu a náklady na výrobu. Zjednodušeně lze říci, že čím méně má sestava dílů, tím je montáž kratší a zároveň levnější. Špatně přístupný šroubový spoj může zvýšit čas potřebný pro montáž až na dvojnásobek. Pro zajištění co nejlevnější výroby by měl vždy existovat dialog mezi konstrukcí a výrobou.

4.4 Six Sigma

Six sigma je statistická metoda, která dává do vztahu velikost tolerančního pole, směrodatnou odchylku použité technologie a počet neshodných dílů z milionu. Díky metodice six sigma lze dosáhnout dlouhodobě požadované kvality, pomocí vhodného výběru nástroje ve vztahu k požadované přesnosti výroby. Samotná metoda six sigma se později v této práci použije pro výběr vhodné montážní technologie.

Základní koncept metody Six Sigma vynalezl v roce 1986 Bill Smith a poprvé ji aplikoval ve firmě Motorola k posouzení kvality na základě měření směrodatných odchylek variability procesů. K hodnocení kvality použil metodiku na základě procesů, a ne konkrétních výrobků. Pro zavádění nových procesů vypracoval metodiku DMAIC (zmněno podrobněji v další kapitole). [32]

Na to, co je či není six sigma existuje celá řada názorů. V jednoduchosti lze metodu popsat jako velmi technologicky vyspělou statistickou metodou pro řízení kvality výroby a hlavně pro snížení počtu neshodných výrobků. Jako six sigma proces se označuje takový proces, u kterého se do tolerančního pole (mezi horní mezní rozměr či hodnotu a dolní mezní rozměr či hodnotu) vměstná celkem šest směrodatných odchylek procesu sigma. V případě, že se podaří splnit tuto podmínku, tak lze statisticky očekávat velmi malé množství zmetků. V praxi je však tak extrémně přesného procesu obtížné dosáhnout a proto se používají i nižší hodnoty než six sigma – vždy záleží na poměru velikosti tolerančního pole cílené hodnoty a směrodatné odchylky dosáhnuté při procesu. [33]

Procesy se v rámci metody six sigma dále dělí na procesy s krátkodobou způsobilostí a dlouhodobou způsobilostí. V rámci dlouhodobé způsobilosti se počítá se změnou procesu v rámci dlouhodobého horizontu až o hodnotu $\pm 1,5$ sigma. [34]

Tabulka 4 - Úroveň kvality metody Six Sigma [35], [36]

Směrodatná odchylka sigma	Ukazatel způsobilosti Cp	Krátkodobá způsobilost		Dlouhodobá způsobilost	
		Počet neshod na milion kusů	Efektivita procesu [%]	Počet neshod na milion kusů	Efektivita procesu [%]
1	0,33	317 311	68,27	697 672	30,2
2	0,67	45 500	95,45	308 770	69,1
3	1	2 700	99,73	66 811	93,32
4	1,33	63,37	99,9937	6 210	99,379
5	1,67	0,574	99,99994	230	99,977
6	2	0,002	99,9999998	3,4	99,9997

Dalším důležitou hodnotou pro řízení procesu je ukazatel způsobilosti C_p . Čím vyšší je ukazatel způsobilosti C_p , tím lepší je reprodukovatelnost procesu. Ukazatel způsobilosti C_p je definován pomocí tohoto vztahu:

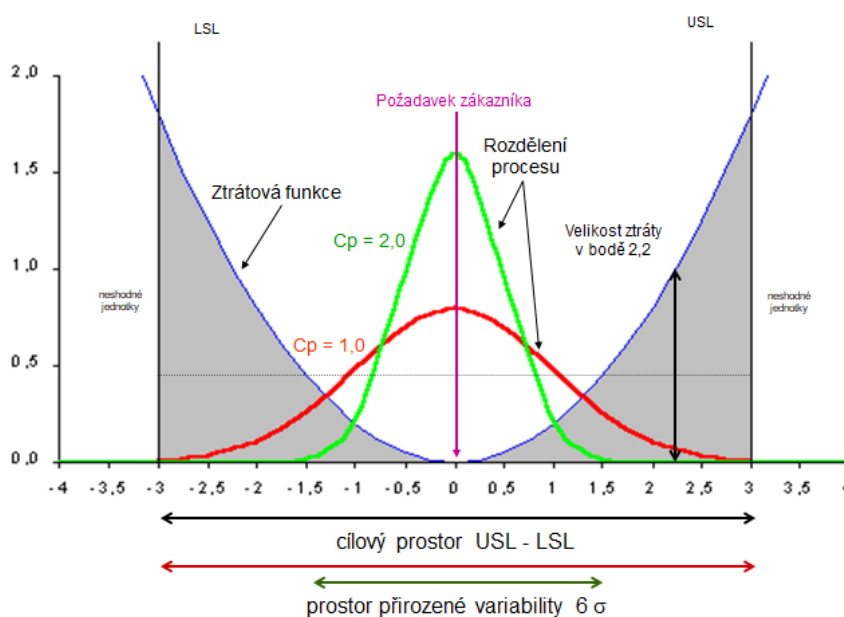
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

USL – horní mezní hodnota (upper specification limit)

LSL – dolní mezní hodnota (lower specification limit)

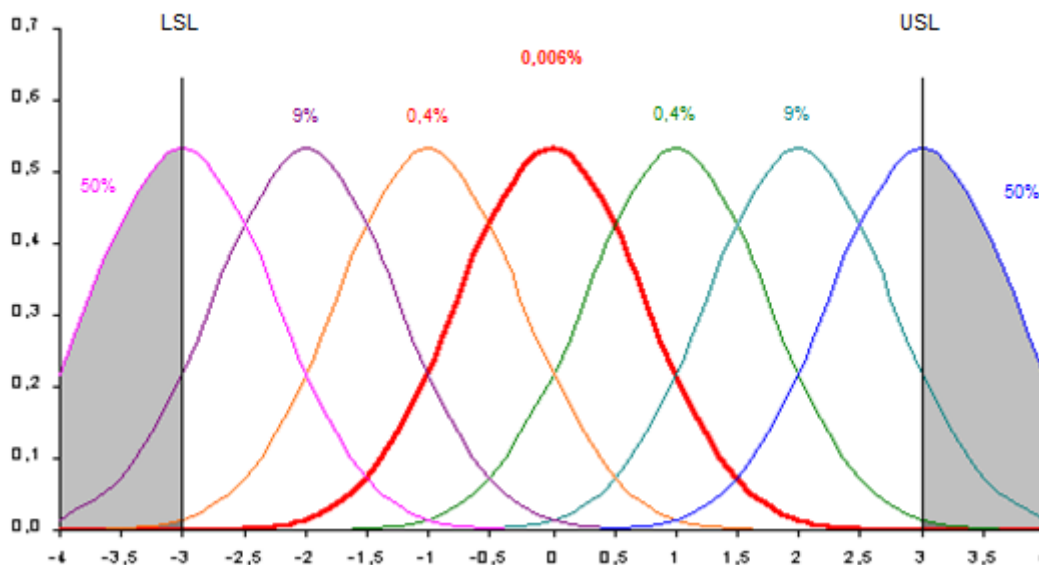
σ – směrodatná odchylka [37]

Na následujícím obrázku je porovnání procesu s koeficientem způsobilosti $C_p = 1$ a $C_p = 2$. V obou případech se jedná o Gaussovo rozložení hodnot, ale v případě vyššího ukazatele způsobilosti C_p je rozptyl hodnot užší.



Obrázek 26 - Porovnání procesu s ukazatelem způsobilosti C_p 1 a 2 [36]

Nezáleží jen pouze na velikosti ukazatele C_p , ale také na pozici nominální hodnoty rozměru a jeho polohy v tolerančním poli. Pro co nejlepší řízení procesu je důležité, aby rozdíl mezi dolním mezním rozměrem a nominální hodnotou byl co nejpodobnější rozdílu mezi nominální hodnotou a horním mezním rozměrem. Na dalším obrázku je celkem 7 různých procesů se stejnou hodnotou ukazatele C_p , ale rozdílnou pozicí v tolerančním poli. Míra chybovosti se pohybuje od 0,006 % až do 50 %. [36]



Obrázek 27 - 7 procesů se stejnou velikostí C_p s rozdílnou pozicí v tolerančním poli [36]

V případě asymetrie tolerančního pole se musí pro porovnatelné výsledky použít ukazatel, který zohledňuje střední hodnotu. Tento koeficient se jmenuje koeficient využití způsobilosti a značí se C_{pk} . Koeficient využití způsobilosti je definován pomocí následujícího vztahu.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] \quad (2)$$

USL – horní mezní hodnota (upper specification limit)

LSL – dolní mezní hodnota (lower specification limit)

μ – střední hodnota

σ – směrodatná odchylka

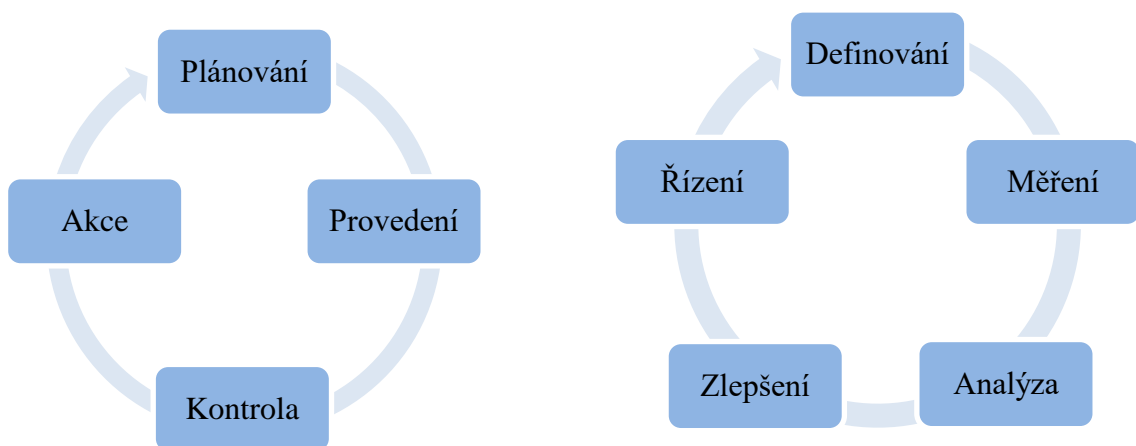
Proces lze považovat za způsobilý, pokud je hodnota koeficientu způsobilost C_p vyšší než 1,33 a hodnota koeficientu využití způsobilosti C_{pk} alespoň o hodnotě 1. [37]

V této podkapitole byla představena metodika six sigma, její princip a výhody. Dále byl zmíněn ukazatel způsobilosti C_p a koeficient využití způsobilosti C_{pk} . Metoda six sigma se později aplikuje po výběr vhodné technologie

4.4.1 DMAIC

Každý proces optimalizace by měl mít nastavená pravidla, podle kterých bude probíhat. V této práci byl již zmíněn PDCA (Demingův) cyklus, další variantou řízení procesu optimalizace je právě DMAIC cyklus.

V případě zavádění změn ve štihlé výrobě (zvláště pak v přístupu six sigma) se aplikuje cyklus zvaný DMAIC. Jedná se o univerzální nástroj postupného zlepšování procesů, služeb či výrobků. DMAIC cyklus má 5, po sobě následujících, částí – definování (define), měření (measure), analýza (analyze), zlepšení (improve) a řízení (control). Zkratka DMAIC je složena z počátečních písmen každého kroku v anglickém jazyce. V názvu metody je tedy určitá podobnost s PDCA (Demingovým) cyklem. Tato podobnost není náhodná, DMAIC je ve své podstatě vylepšený PDCA cyklus. [38]



Obrázek 28 - Porovnání cyklu PDCA (vlevo) a DMAIC (vpravo) [38]

Jednotlivé kroky DMAIC znamenají:

- **D** Define (Definování) – první krok se zaměřuje na porozumění problémů, nalezení a definici cílů, takovým způsobem, aby se pokryly veškeré potřeby zákazníků. Na základě nalezených problémů a cílů pro jejich odstranění se sestaví projekt a řešitelský tým.

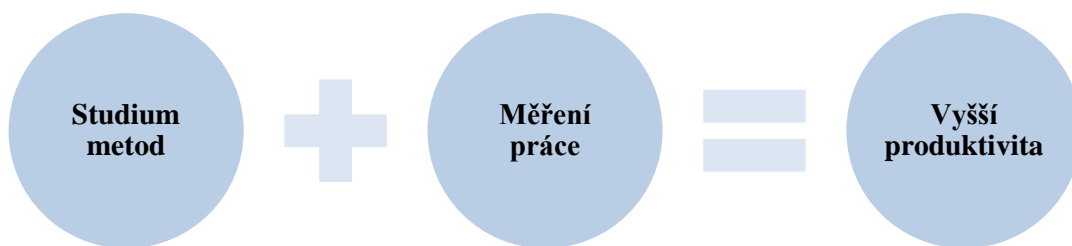
- **M** Measure (Měření) – druhý krok zahrnuje především sběr relevantních dat a údajů o současném procesu, dále pak jejich měření a vyhodnocování. Cílem tohoto kroku je vytvoření návrhu komplexní kontrolní soustavy měření, včetně definice měřítek, která budou sloužit pro sledování a vyhodnocování vývoje navrhovaných změn.
- **A** Analyze (Analýza) – analýza se zabývá identifikací a rozбором procesních odchylek, stanovením hlavních příčin problémů a zhodnocením potenciálních příležitostí pro zlepšení.
- **I** Improve (Zlepšení) – čtvrtý krok se zabývá sestavením návrhů řešení a vytvoření nového modelu řešeného procesu. Dále je také sestaven implementační plán navržených změn.
- **C** Control (Řízení) – cílem posledního kroku je kontrolování, řízení a monitorování zlepšeného procesu, s důrazem na udržení požadované kvality. Paralelně probíhá proces vytvoření nové dokumentace a školení zaměstnanců.
[39]

V této kapitole byla představena metodika DMAIC, která se využívá při optimalizace procesů, především v six sigma.

4.5 Analýza a měření práce

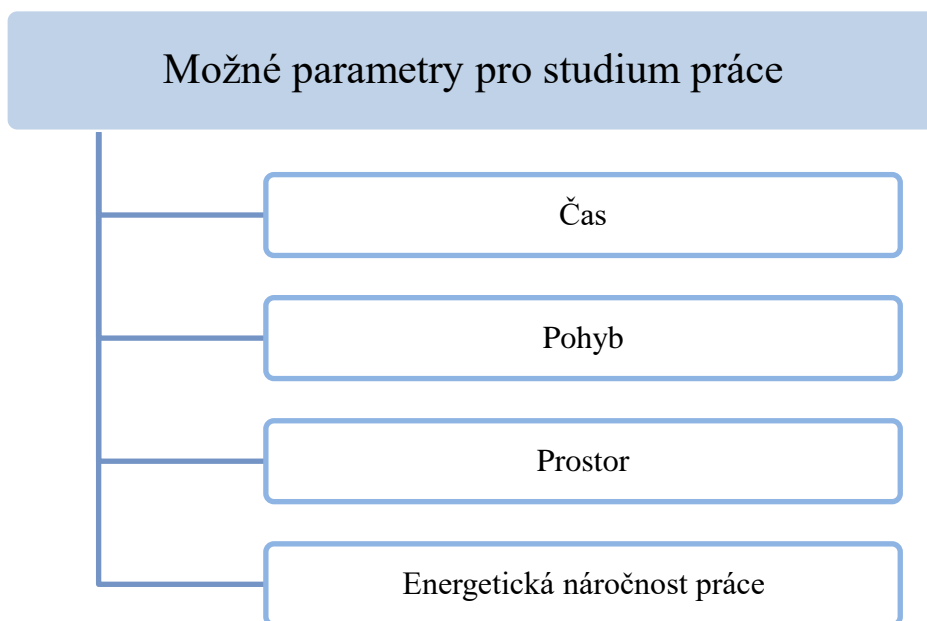
Před každou optimalizací je nutné co nejlépe popsat pro současný stav vyčíslení nákladů a přínosů změn. Pod pojmem analýza a měření práce si lze představit aktivity vedoucí v popisu současného a optimálního pracovního postupu a určení spotřeby času pro konkrétní činnosti.

Samotná analýza práce se skládá ze dvou technik, a to konkrétně ze studia pracovních metod a měření práce. Ze studia metod vyplývá co nejefektivnější využití materiálů, prostoru, zařízení a pracovníků. Z měření práce se zjišťuje možné zlepšení plánování, řízení a optimální využití zdrojů pro práci. Pro co nejlepší účinek je důležité, aby průmysloví inženýři používali tyto metody současně. [40]



Obrázek 29 - Systém pro co nejlepší analýzu práce

Na samotnou analýzu práce lze pohlížet z více pohledů. V případě, že je prostor stísněný, lze provádět prostorovou analýzu, nejběžnější způsob je však určitě časová analýza. Pro sledování a hodnocení práce lze použít parametry znázorněné v následujícím obrázku. [41]



Obrázek 30 - Možné parametry pro studium práce [41]

Tyto parametry se kombinují a posuzují v různých druzích studií, při kterých se, kromě výše zmíněných parametrů, hodnotí také náročnost činností na smyslové funkce člověka (práce v prostředí, kde je nutná ochrana zraku, například při svařování, je časově náročnější), dále na psychiku člověka a jeho pohybový aparát. V praxi se nejčastěji provádějí tyto druhy studií:

- Časová studie (pracovního dne, výrobní operace) – se zaměřením na zkoumání parametru času. Cílem je zkoumání struktury a velikosti jednotlivých složek spotřeby času.
- Pohybová studie (studie dráhy pohybu, mikro pohybová) – s důrazem na zkoumání jednotlivých složek pracovního procesu v prostoru a času.
- Ergonomická studie – zahrnuje studie pracovního prostředí a jejího vlivu na psychologické a fyziologické stránky pracovníků. [41]

V této kapitole byly zmíněné různé formy analýzy práce, které se skládají ze dvou základních částí, a to studia pracovních metod a měření práce. Právě o měření práce a metodách studií spotřeby času je následující kapitola.

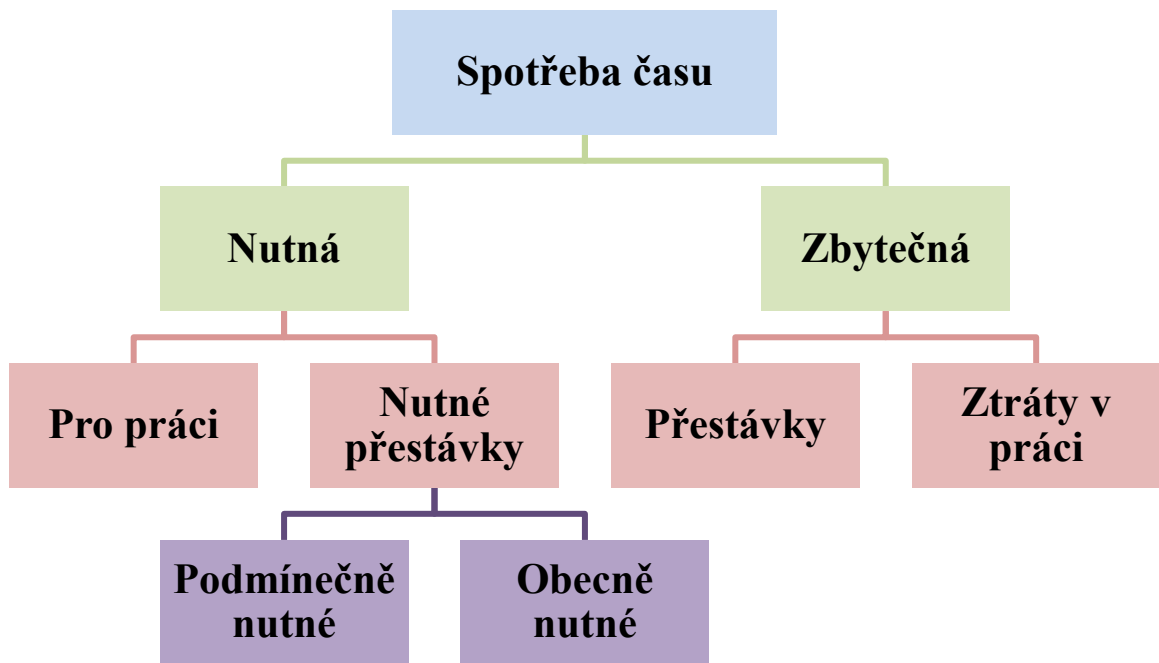
4.5.1 Metody studií spotřeby času

Základem každé optimalizace je co nejpřesnější popis původního stavu, aby bylo možné vyčíslit úspory získané provedenou optimalizací. Jedním z nejdůležitějších ukazatelů je časová náročnost výroby. Od časové náročnosti se odvíjí tvorba finální ceny výrobku, celková kapacita výroby a počet pracovníků potřebných pro výrobu.

Časovou náročnost lze hodnotit z pohledu:

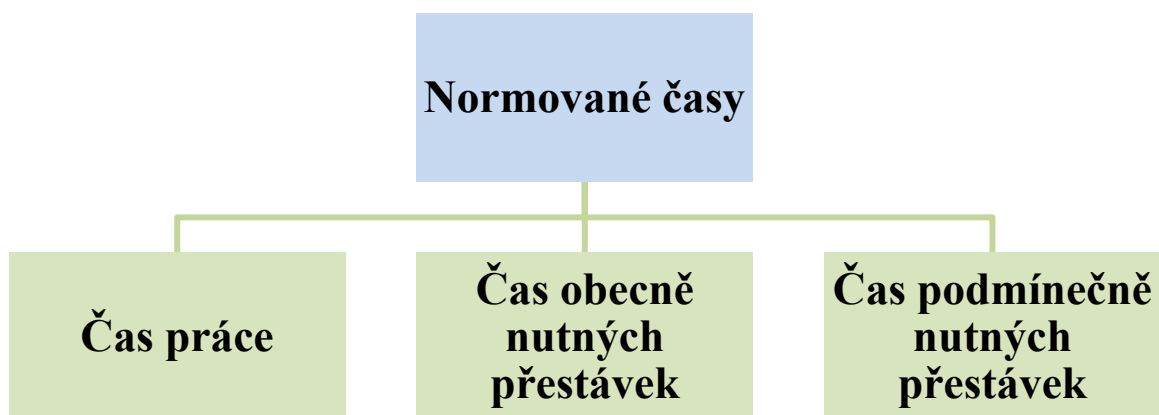
- Pracovní síly (operátora) – snímky práce či pracovního dne pro jednotlivce nebo skupinu
- Výrobního prostředku – snímky strojů při hledání nejvytíženějšího stroje ve výrobním procesu
- Pracovního předmětu – materiálové toky výrobním prostorem, logistika výroby [8]

Spotřeba času (z hlediska operátora výroby) se dělí do dvou hlavních kategorií – na nutnou spotřebu času a zbytečnou spotřebu času. V případě nutné spotřeby času se uvažují činnosti, které jsou potřeba k vykonání předem určené práce při plném vytížení strojních zařízení. Pod pojmem zbytečná spotřeba času se rozumí především ztráty v práci, dále pak přestávky, které nejsou nutné. [30]



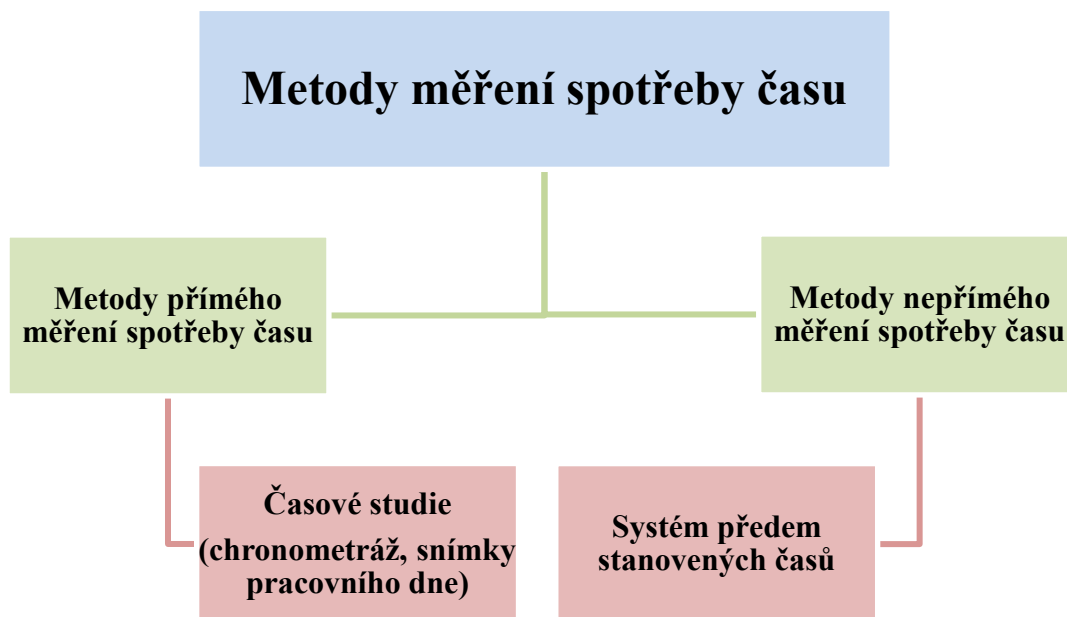
Obrázek 31 - Dělení spotřeby času [30]

Obecnou snahou v každé výrobě je snížení zbytečné spotřeby práce na co nejnižší úroveň. Pro tyto účely se využívá normování práce. Cílem normování práce je vytvoření normy spotřeby času pro daný výrobek a pracoviště. Správně vytvořené normy spotřeby času umožňují přesné plánování další výroby a optimální využití pracovní síly. Přesné normování práce je důležité zvláště pro výrobní linky, kdy se výrobek přesune na další stanoviště vždy za pevně stanovený čas. Normované časy se dále dají dělit na čas práce, obecně nutných přestávek a podmíněčně nutných přestávek. [30]



Obrázek 32 - Dělení normovaných časů [30]

Pokud se pominou metody jako hrubý odhad nebo využití přechozích údajů o spotřebě času, tak nejpoužívanější metodou pro zjištění časové náročnosti je přímé měření realizované pomocí stopek. Tento způsob měření má však poměrně velkou míru odchylky od reálného nutného času pro práci, a to především proto, že měřený pracovník je probíhajícím měřením vždy do nějaké míry ovlivněný. Proto se kromě přímého měření stále více uplatňuje metoda nepřímého měření normy spotřeby času pomocí systémů předem stanovených časů. [42]



Obrázek 33 - Orientační dělení metod měření spotřeby času [42]

V případě přímého měření se sleduje proces v reálném času přímo na pracovišti, spotřeba času se stanovuje pomocí stopek a zaznamenává se do předem připravených formulářů, případně lze využít speciální záznamové zařízení, které umí nahradit jak stopky, tak záznamový protokol. Takové zařízení si lze jednoduše představit jako například aplikaci do mobilního telefonu. V praxi se rozděluje přímé měření na dva základní typy. Pokud se zjišťuje norma práce pro operaci, tak se používá chronometráž. V případě, že je potřeba sledovat pracovníka, tak se použije snímek pracovního dne.

Metody nepřímého měření času mají svůj základ v kombinaci časových a pohybových studií. Úkolem nepřímého měření je rozdělení procesu výroby na elementární operace tím způsobem, že ke každé elementární operaci je předem definovaná časová náročnost. Záleží tedy jen na operacích, které jsou součástí výroby, ale nezáleží na

konkrétním operátorovi. Proto je toto měření objektivnější, protože není ovlivněna lidskou odchylkou. Metody nepřímého měření jsou časově náročnější a vždy je nutné volit kompromis mezi rychlostí a přesností měření. Obecně lze říci, že metoda předem připravených časů se hodí spíše do velkosériové výroby.

Mezi známější metody předem stanovených časů v oblasti průmyslového inženýrství patří hlavně MTM (Methods Time Measurement), UMS (Universal Maintenance Standards), či MOST (Maynard Operation Sequence Technique). V další kapitole je podrobněji rozebrána metoda MTM, a především její kategorie MTM-2, která se používá ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

4.5.2 Methods Time Measurment

Jak již bylo zmíněno na konci předchozí kapitoly, tak MTM je pokročilým nástrojem v systému předem stanovených časů. MTM se využívá při optimalizaci a racionalizaci pracovní činnosti a místa. Pomocí MTM lze zjistit nejen normu nutného času pro práci, ale také lze odhalit, kde je největší prostor pro optimalizaci a ušetření času. Metoda má svůj původ v roce 1948 v poválečných USA ve společnosti na výrobu ručních vrtaček.

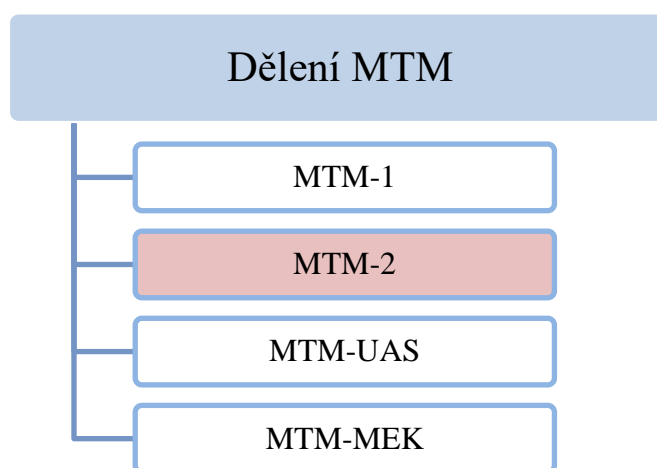
Výsledkem MTM analýzy je normovaný čas pro manuální činnosti, které jsou člověkem přímo ovlivnitelné. Normovaný čas podle MTM je definován jako čas, za který lze provést normovaný výkon. Normovaným výkonem se rozumí výkon středně zručného člověka, který může tento výkon vykonávat dlouhodobě bez nadměrné únavy z práce.

Základní metoda MTM rozděluje pohyby člověka do nejmenších úseků. Pohyby se dělí do 3 základních kategorií, a to pohyb těla a dolních končetin, pohyb horních končetin a pohyby očí. Pro tyto pohyby jsou běžné časové jednotky příliš velké, a proto se používá jednotka TMU (time measurment unit), která je definovaná jako jedna sto tisícina hodiny. Převod TMU a klasických časových jednotek je uveden v následující tabulce. [43]

Tabulka 5 - Přepočet time measurment unit a klasických jednotek času [43]

TMU	Sekundy	Minuty	Hodiny
1	0,036	0,0006	0,00001
27,8	1	-	-
1666,7	-	1	-
100 000	-	-	1

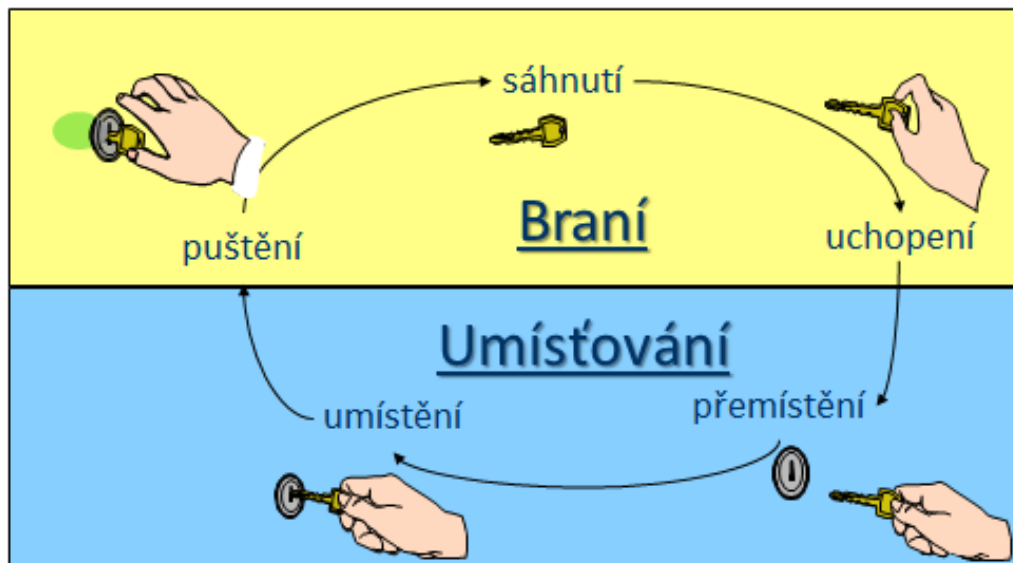
Metoda MTM se dále dělí na další podkategorie. Každá podkategorie je vhodná pro jinou aplikaci. Záleží především na sériovosti výroby a různorodosti výroby. Na následujícím schématu jsou vypsané různé kategorie metody MTM, a to od nejpodrobnější (MTM-1) až po nejméně podrobné. Červeně je zvýrazněná metoda, která se používá ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.



Obrázek 34 - Základní dělení MTM

MTM-1 jde do nejmenších detailů a je vhodná pro hromadnou výrobu například na montážní lince, kde je nízký čas taktu. Základní cyklus v MTM se skládá z 5 činností a to sáhnutí, uchopení, přemístění, umístění a puštění. Každá z těchto činností má předem stanovený počet potřebných TMU na provedení. Počet potřebných TMU závisí na hmotnosti umísťovaného předmětu, vzdálenosti přemístění a také na přesnosti umístění (je velký rozdíl v časové náročnosti odhození klíče do krabice nebo umístění klíče do zámku). Pro časově náročnější činnosti je však MTM-1 až moc podrobné, a proto se používá taky MTM-2, které místo těchto elementárních pohybů používá komplexní pohyby. Komplexní pohyby se skládají z více elementárních a pro popis stejného základního pohybu se místo 5

činností používají jen 2. Činnost vzít se skládá z elementárních pohybů sáhnut, uchopit a pustit, činnost umístit se skládá ze základních pohybů přemístit a umístit. V dalších úrovních MTM se pro těchto 5 základních pohybů používá jedna základní operace a to manipulace. Vždy je důležité volit kompromis mezi přesností a časovou náročností samotné MTM analýzy. Na následujícím obrázku je znázorněn rozdíl mezi MTM-1 (5 elementárních pohybů) a MTM-2 (činnosti braní a umíšťování) na příkladu vložení klíče do zámku. [43]



Obrázek 35 - Základní rozdíl v podrobnosti metody MTM-1 a MTM-2 [43]

V praxi může být zdánlivě nekomplikovaná činnost jako označení utaženého šroubového spoje pomocí fixu a popsána metodou MTM-2 ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o. vypadat takto.



Obrázek 36 - Označený šroubový spoj na hydraulické pumpě nakladače Bobcat

V následující tabulce je popis všech potřebných činností pomocí metodiky MTM-2. V levém sloupci je popis levé ruky, dále MTM zkratka činnosti levé ruky, nutný počet TMU, zkratka činnosti pravé ruky a popis činnosti pravé ruky.

Tabulka 6 - Příklad tabulky pro vyhodnocení činnosti označení šroubového spoje fixem [44]

Popis levé ruky	Levá ruka	TMU	Pravá ruky	Popis pravé ruky
		14	GB30	Uchopit fix
		15	PA45	Přemístit fix k druhé ruce
Odstranit víčko fixu	GB5	7		
Odpor	GW3	3		
		19	PB30	Přemístit k šroubovému spoji
		20	W	Označit fixem
		19	PB30	Zavíčkovat fix
		3	GW3	Odpor
		15	PA45	Odložit fix na stůl

Celkově tato činnost trvá 115 TMU, což je tedy zhruba 4,3 sekundy pro každý šroubový spoj. Každý spoj se značí dvakrát a celkové značení spoje trvá 8,28 sekundy. Na základě této znalosti lze rozhodnout, zda přidaná hodnota v podobě označení dotažení za tento nutný čas stojí.

V této kapitole byl popsán proces optimalizace výrobních procesů a řešení metod samotné optimalizace (především metod štihlé výroby). Po seznámení s nutností co nejpřesnějších vstupních dat je zde dále rychlý přehled analýzy výroby, a především časové studie.

5 Analýza procesu montáže hydraulického rozvaděče

V této části budou představeny kompaktní rypadla, prostorová dispozice výrobního podniku Doosan Bobcat EMEA s.r.o., montážní linka, a především montážní celek – hydraulický rozvaděč a popsán jeho výrobní proces.

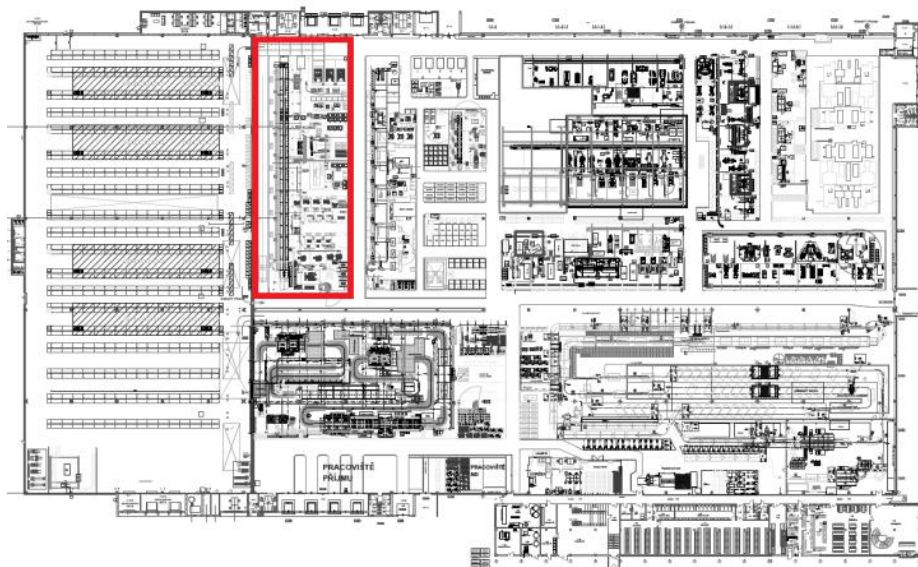


Obrázek 37 - Zkompletovaná sestava hydraulického rozvaděče [44]

5.1 Popis výrobního závodu a montážní linky

Samotný výrobní závod společnosti byl postaven v roce 2007 a má rozlohu zhruba 22 000 m². Výrobní hala je rozdělena na několik částí. Na kraji haly je prvovýroba, kde se nachází lasery a ohraňovací lisy, dále se zde nachází pohyblivé svařovací linky s řadou svařovacích robotů. Hotové svařence poté putují do jedné ze dvou automatizovaných lakoven (technologie práškového a kataforetického lakování). Poslední fází výroby je montáž, která zde probíhá na třech montážních linkách. Na největší montážní lince se kompletují kompaktní pásová rypadla o hmotnosti 1 až 6 tun. Na další lince probíhá montáž smykem řízených a pásových nakladačů. Poslední linka je určená pro malá rypadla s hmotností do jedné tuny. V dalších částech haly se nachází skladové a kancelářské prostory.

Na následujícím obrázku je znárodněna prostorová dispozice výrobního podniku. Červeným rámečkem je vyznačena montážní linka kompaktních pásových rypadel s hmotností 1 až 6 tun, jejichž součástí jsou pracoviště montáže hydraulických rozvaděčů, které jsou tématem této práce.



Obrázek 38 - Prostorová dispozice výrobního závodu Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [44]

Na této lince se vyrábí celkem 13 typů strojů, konkrétně rypadla s označení E17, E17z, E19, E20, E26, E27z, E27, E34, E35z, E37, E45, E50, E55. Montážní linka pro kompaktní pásová rypadla se skládá z několika částí. Ve své podstatě se jedná o rozvětvenou linku. Hlavní částí je pohyblivá montážní linka o 10 staništvích s pevným taktem, kde montáž probíhá přímo na dopravníku. Na řetězovém dopravníku jsou umístěné platformy, které se pohybují kontinuální rychlostí podle aktuálního taktu linky.

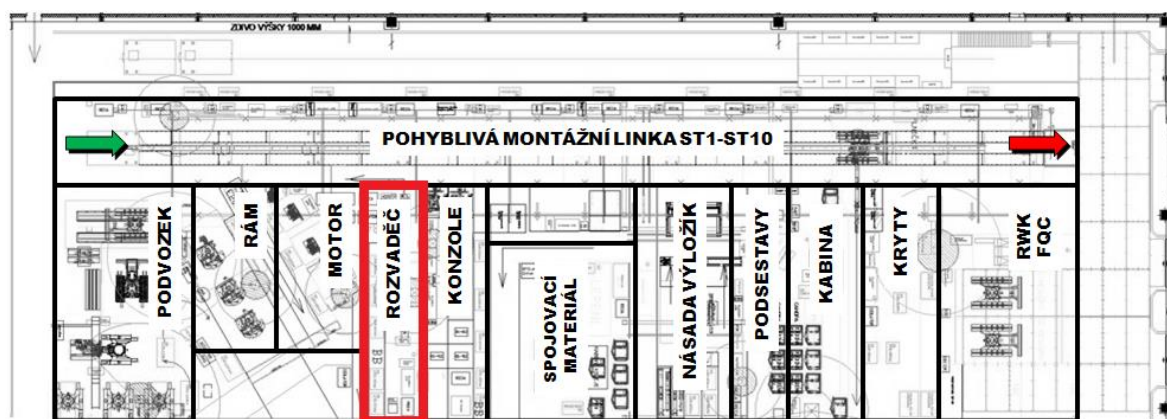


Obrázek 39 - Detail platformy pohyblivé montážní linky [44]

Na pohyblivou montážní linku navazuje řada stacionárních pracovišť, kde se kompletují jednotlivé montážní sestavy, například sestava motoru nebo podvozku. Na

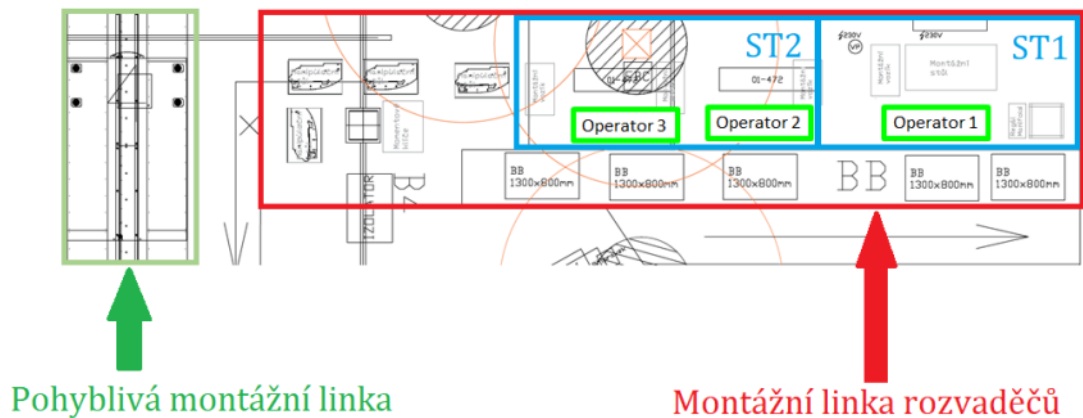
jednotlivých stacionárních montážních pracovištích se ve velkém množství používají jednoúčelné montážní přípravky. Pohyblivá linka a stacionární pracoviště mají stejný čas taktu. Předpřipravené montážní celky jsou hotové v přesném množství a přesný čas pro montáž na rozpracovaný stroj na pohyblivé montážní lince. Nevzniká tak žádná rozpracovaná výroba a zbytečné skladové zásady, linka tedy funguje podle základních pravidel metody just in time.

Na dalším obrázku je schéma této montážní linky. Na pohyblivou montážní linku navazuje celkem 9 menších linek se stacionárními pracovišti a také pracoviště výstupní kontroly a oprav. Na každé ze stacionárních linek je v jednom okamžiku jeden nebo více pracovníků, nejčastěji dva až čtyři operátoři výroby. Na obrázku je červenou barvou zvýrazněna linka montáže hydraulických rozvaděčů, jejíž optimalizace je tématem této práce.



Obrázek 40 - Schéma montážní linky kompaktních pásových rypadel [44]

Stacionární linka pro montáž rozvaděčů má rozměry zhruba 9x4 metrů a pracují na ní tři pracovníci. První pracovník (označený jako operátor 1) má za úkol kompletovat drobné podsestavy hydraulických ventilů a filtrů a další dva pracovníci montují samotný rozvaděč. Na následujícím obrázku je znázorněno rozvržení montážní linky rozvaděčů. Operátor 1 pracuje na stanici 1 (ST1) a operátoři 2 a 3 pracují společně na stanici 2 (ST2). Modře jsou vyznačena samotná montážní stanoviště. Červeným rámečkem je vyznačena samotná stacionární linka a zeleným rámečkem je označena pohyblivá linka.



Obrázek 41 - Prostorové rozvržení montážní linky hydraulických rozvaděčů [44]

V této kapitole byl popsán výrobní závod společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o., prostorové řešení celého výrobního prostoru, poté montážní linky kompaktních rypadel a nakonec montážní linka hydraulických rozvaděčů. Samotný proces montáže je podrobněji popsán v následující podkapitole.

5.2 Proces montáže hydraulického rozvaděče

V této kapitole je popis typů vyráběných rypadel, časové náročnosti montáže a taktu montážní linky. Dále je zde popsán samotný proces montáže, použitá montážní technologie, montážní přípravky a pracovní postupy.

Proces montáže hydraulického rozvaděče je zjednodušeně znázorněn na následujícím obrázku. Montážní proces začíná závozem vozíku s díly pro konkrétní sestavu, poté na stanovišti jedna probíhá montáž podsestav hydraulických ventilů a filtrů. Tělo rozvaděče se přesune do přípravku na ST2 pomocí jeřábu, kde dochází k finální montáži rozvaděče, včetně použití vybraných hotových podsestav ze ST1. Hotový rozvaděč se poté přesune pomocí jeřábu na vyčkávací pozici před hlavní linku, kde si ho v potřebný čas s použitím jeřábu z hlavní linky usadí do rozpracovaného stroje.



Obrázek 42 - Schéma procesu montáže hydraulického rozvaděče

Pro dodržení základního předpokladu pro zachování optimálního chodu linky je zapotřebí, aby byla všechna pracoviště co nejlépe vzájemně vybalancována pracoviště pro bezproblémové zvládnutí předání rozpracované výroby na další stanoviště v předem určeném času taktu. Je tedy potřeba vybalancovat desítky pracovišť pro 13 různých strojů, u kterých se jednotlivá časová náročnost liší podle zvolené výbavy stroje. Pro jednotlivá pracoviště může být časová náročnost pro různé stroje velmi rozdílná. Jednodušší sestava může například vyžadovat polovinu času taktu a složitější stroj 1,5násobek času taktu. Důležitá tedy není jen časová náročnost montáže pro jednotlivé stroje, ale také produktový mix při výrobě.



Obrázek 43 - Porovnání velikosti nejmenšího a největšího rypadla vyráběného na montážní lince [3]

Montážní linka funguje na dvousměnný provoz při osmi hodinových směnách, což je celkově 480 minut na jednu směnu. Z těchto 480 minut připadá 55 minut na plánované nevýrobní činnosti (především přestávky a předávání pracoviště). Pro plánování je ještě potřeba připočítat zastavení linky, způsobené neplánovanými problémy ve výrobě. Na tyto neplánované odstávky připadá v průměru 28 minut za jednu směnu. Linka je v současnosti dimenzována na výrobu maximálně 23 strojů za směnu. V následující tabulce jsou shrnuty hodnoty potřebné pro výpočet cílového času taktu.

Montáž hydraulického rozvaděče je specifický proces. Jedná se o komplexní hydraulickou sestavu. Přes hydraulické šroubení, trubičky a hadice proudí natlakovaný hydraulický olej. Šroubové spoje musí být doraženy na požadovaný moment, aby byla dosažena potřebná těsnost spoje a zamezilo se případným únikům oleje.

Tabulka 7 - Doba taktu pro maximální objem výroby na lince (23 strojů za směnu) [44]

Položka	Detail	Hodnota
Celkový čas směny		480 minut
Celková doba plánovaných zastavení	Úvodní porada – 5 minut	55 minut
	První pauza – 5 minut	
	Druhá pauza – 30 minut	
	Třetí pauza – 5 minut	
	Úklid pracoviště – 10 minut	
Celková doba neplánovaných zastavení		28 minut
Čas směny s plánovanými zastaveními		425 minut
Čas směny s plánovanými a neplánovanými zastaveními		397 minut
Čas taktu při uvážení plánovaných zastavení		1109 sekund
Čas taktu při uvážení plánovaných a neplánovaných zastavení		1036 sekund

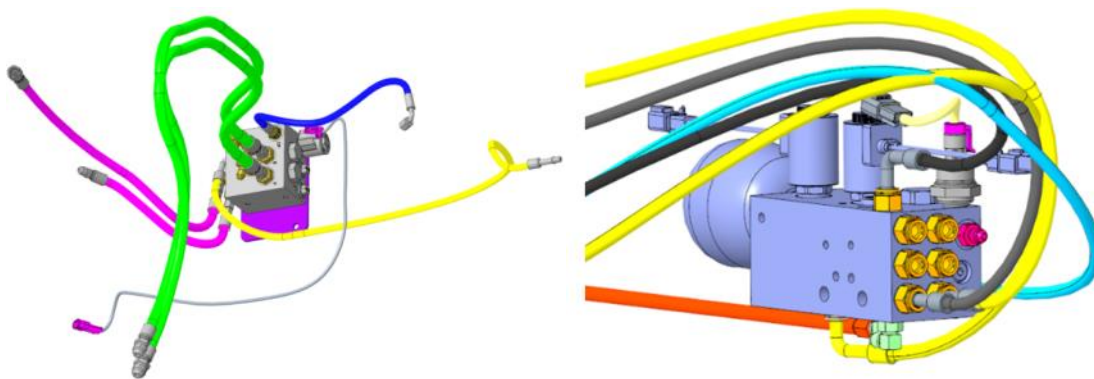
Pro dimenzování linky lze uvažovat buď čas taktu s plánovanými zastaveními (1109 sekund) nebo i včetně neplánovaných zastavení (1036 sekund). Pro plynulý chod linky je lepší uvažovat horší alternativu, takže včetně neplánovaných zastavení.

Jak již bylo zmíněno, na lince se vyrábí celkem 13 typů strojů. Tyto stroje se dají rozdělit do 4 produktových řad podle hmotnosti rypadla a podobnosti konstrukce. Nejmenší zde vyráběné stroje mají hmotnost od 1 do 2 tun (E17, E17z, E19, E20), následuje trojice modelů o hmotnosti 2 až 3 tun (E26, E27z, E27), 3 až 4 tuny mají stroje E34, E35z a E37. Největší kompaktní rypadla mají hmotnost 4 až 6 tun (E45, E50, E55). Styl rozdělení podle hmotnosti není náhodný, stroje ve stejné hmotnostní kategorii mají velmi podobnou konstrukci a většina dílů je totožná. Proto lze stroje ve stejné kategorii považovat za jeden typ stroje. Kompaktní rypadla mají celou řadu volitelné výbavy, a právě sestava hydraulického rozvaděče je jako nejvíce komplexní součást hydraulického okruhu touto volitelnou výbavou značně ovlivněna. Jen modely o hmotnosti 2 až 3 tun mají celkem 144 unikátních kombinací dle zvolené výbavy stroje.



Obrázek 44 - Porovnání hotové sestavy hydraulického rozvaděče pro modely o hmotnosti 1 až 2 tuny (vlevo) a pro rypadla s hmotností 4 až 6 tun (vpravo)

Z porovnání na předchozím obrázku je jasné, že podle velikosti stroje se liší komplexnost sestavy rozvaděče. Ve zkratce lze říci, že čím je vyšší hmotnost stroje, tím je sestava složitější a náročnější na montáž. Kromě samotné sestavy rozvaděče se na této lince kompletují ještě menší podsestavy hydraulických ventilů a filtrů. Určité podsestavy se používají pro každý stroj (manifold, filtry) a některé sestavy (geith ventil, ventil 2. auxu) jsou volitelné dle konfigurace stroje.



Obrázek 45 - Menší hydraulické ventily – ventil 2. auxu (vlevo) a manifold (vpravo)

Hydraulické šroubové spoje se dále dělí do čtyř základních podkategorií podle charakteru spoje. První kategorií je přímé hydraulické šroubení (fitinka), dále úhlově zkosené či rozvětvené hydraulické šroubení (T-fitinka), hadice a trubičky. V následující

tabulce je přehled počtu spojů pro jednotlivé stroje a konfigurace. Modře jsou zvýrazněné položky, které jsou vždy součástí montážního celku. Ostatní možnosti jsou volitelné.

Tabulka 8 - Porovnání počtu spojů podle typu stroje pro montážní linku rozvaděčů [44]

Hmotnost	Sestava	Varianta	Fitinka	T-fitinka	Hadice	Trubička	Celkem	Počet spojů
1-2 t	Rozvaděč	Základ	25	3	9	2	39	52 až 77
		Hydraulické zámky		1				
		Eh ovládání	1	2	4	2		
	2. Aux	2. Aux	5	3	7		15	
	Manifold	Základ	9	2	2		13	
2-3 t	Rozvaděč	Základ	39	6	21	12	78	94 až 126
		1 zámek	-1	1	1			
		2 zámky	-1	1	2			
		4. AUX	2		2			
		GEITH	-1	1	2			
		Autoidle				2		
	2. Aux	2. Aux	4	4	4		12	
	Manifold	Základ	12	3	1		16	
Geith	Hydraulic coupler	3	3	4		10		
3-4 t	Rozvaděč	Základ	35	6	20	10	71	97 až 136
		1 zámek			2			
		2 zámky		1	4			
		Geith	-1	3	3			
		Přepad nádrže	-2	5		2		
		2. Aux				4		
	2. Aux	2. Aux	8		2		10	
	Filtr	Základ	3	1			4	
	Manifold	Základ	19	3			22	
	Geith	Hydraulic coupler	4	2	2		8	
4-6 t	Rozvaděč	Základ	45	6	22	12	85	110 až 146
		1 zámek			1		1	
		2 zámky	2	2	2		6	
		4. Aux	4		2	4	10	
		Geith	-1	1			0	
		Přepad nádrže	-1	2		2	3	
		2. Aux				4	4	
		Diverter			8	8	16	
	Maniflod	Základ	19				19	
		Angle blade	1				1	
	Filtr	Základ	1	4	1			
	Diverter	Diverter	10	4			14	
	2. Aux	2. Aux	8		4		12	
	Geith	Geith	4	2			6	

Z tabulky je patrné, že pracnost sestavy se neliší jen podle typu rypadla, ale také podle konkrétní varianty stroje. Počet spojů stejné sestavy, ale jiné varianty se může lišit o více než 30. Pro všechny kombinace nebylo možné zajistit přesné hodnoty časové náročnosti montáže, proto se použijí průměrné hodnoty časové náročnosti montáže. Tyto hodnoty byly získány chronometráží pomocí stopek.

Tabulka 9 - Porovnání časové náročnosti montáží na lince rozvaděčů podle typu stroje [44]

Typ rypadla podle hmotnosti	Celková časová náročnost [s]	Časová náročnost na operátora [s]	% zastoupení modelu ve výrobě
1-2 t	1955	652	46
2-3 t	2705	902	35,6
3-4 t	3088	1029	10,5
4-6 t	3196	1065	7,9

Z tabulky vyplývá, že čas pro montáž nejjednodušší sestavy je zhruba 60 % času potřebného pro montáž nejnáročnější sestavy. Montáž nejnáročnější sestavy trvá déle, než je požadovaný čas taktu, ale vzhledem k nízkému procentuálnímu zastoupení tohoto typu rypadla a souhrnu celé linky (nejčastější je nejjednodušší sestava rypadla o hmotnosti 1-2 tun) je zajištěna potřebná plynulost této linky. Pro tyto případy je na konci montážní linky rozvaděčů umístěno několik odkládacích míst pro hotové sestavy.

Samotný proces montáže začíná závozem dílů ze skladu. Závod probíhá v přesně daný čas, tak aby na pracovišti nevznikaly velké zásoby dílů. Díly potřebné pro montáž sestavy rozvaděče dorazí ze skladu na vozíku připraveny přesně pro konkrétní variantu stroje. Pro montáž se použijí všechny díly na vozíku a žádný nezbyde nebo nepřebývá. Jedinou výjimkou je spojovací materiál, který je připraven na pracovišti ve větším množství. Závoz materiálu pro montáž tedy probíhá podle metodiky just in time. Samotný vozík s díly má označeno každé místo pro hadici tak, aby nedošlo k záměně. Vozík má přesně ohraničené parkovací místo pomocí barevných čar na zemi. Pro umístění dílů a parkovací polohy vozíku se tedy používají myšlenky metodiky 5S. Na dalším obrázku je fotografie vozíku s potřebnými díly pro montáž rozvaděče.



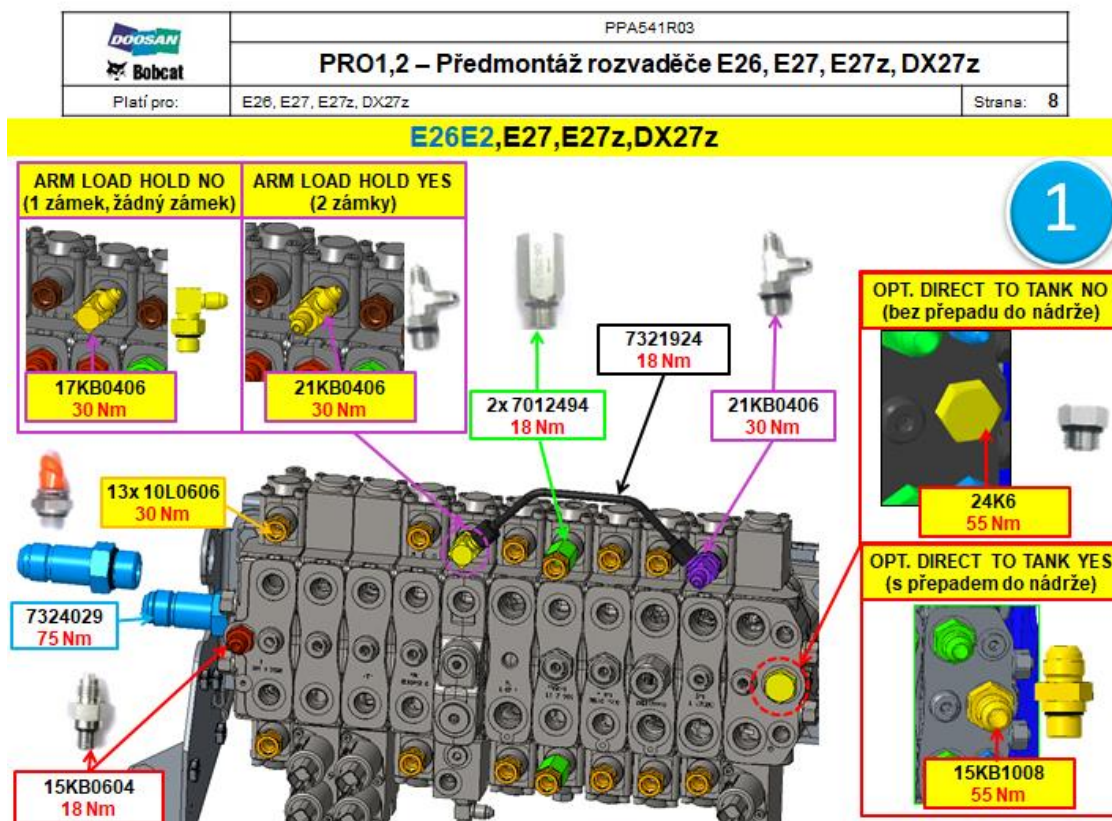
Obrázek 46 - Vozík s díly pro montáž sestavy rozvaděče stroje E50 /

Pro samotnou montáž se používají jedno účelné montážní přípravky. Na stanici 1 je montážní stůl se svěrákem, do kterého se upínají drobné přípravky podle konkrétní sestavy. Na stanici 2 jsou celkem 3 montážní přípravky. Dva přípravky jsou shodné a jsou určeny pro modely o hmotnosti 1–3 tun, liší se pouze ve výměnných připojovacích kusech, dle požadované sestavy. Dalším přípravkem je modifikovaný montážní stůl, který je určený pro modely o hmotnosti 3–6 tun. Fotografie montážních přípravků jsou na následujícím obrázku.



Obrázek 47 - Montážní přípravek pro stroje o hmotnosti 1-3 tuny (vlevo) a pro stroje o hmotnosti 3 – 6 tun (vpravo)

Montáž probíhá podle montážních návodů, které jsou v papírové formě. Pokud to není nutné, obvykle nebývá specifikováno přesné pořadí kroků v montážním procesu. Na jedné straně pracovního návodu bývá obvykle větší počet spojů. U spoje je vždy napsán nominální utahovací moment. Vytisknuté pracovní návody mají operátoři připravené na pracovišti.



Obrázek 48 - Ukázka pracovního postupu pro montáž rozvaděče [44]

Proces utahování hydraulických spojení se řídí podle interního standardu firmy, který vychází z amerického standardu SAE J514 pojednávajícím o hydraulických šroubích s úhlem zahrnutí 37°. Pro každý typ závitu je předepsán nominální moment, horní a dolní mezní moment v toleranci a také preferovaná hodnota utahovacího momentu ve firmě. Tato hodnota preferovaného utahovacího momentu je v řadě případů zvýšená oproti standardu SAE J514 z důvodu problémů s těsností spojů při nižším utahovacím momentu.

Tabulka 10 - Standard utahovacích momentů ve firmě Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [44]

Velikost závitů SAE (palcový závit) se 37° úhlem zahrnutí	Utahovací moment dle standardu SAE J514	Bobcat preferovaný utahovací moment
0.3125-24	8 – 9 Nm	8 Nm
0.375-24	11 – 12 Nm	11 Nm
.4375-20	15 – 16 Nm	18 Nm
0.50-20	19 – 21 Nm	23 Nm
0.5625-18	24 – 28 Nm	30 Nm
0.75-16	49 – 53 Nm	55 Nm
0.875-14	77 – 85 Nm	82 Nm
1.0625-12	107 – 119 Nm	114 Nm
1.1875-12	127 – 140 Nm	133 Nm
1.3125-12	147 – 154 Nm	160 Nm
1.625-12	172 – 181 Nm	209 Nm
1.875-12	215 – 226 Nm	221 Nm
2.5-12	332 – 350 Nm	342 Nm

Utahování na potřebný moment probíhá pomocí mechanických momentových klíčů. Pro každou kombinaci velikosti koncovky a momentu je potřebný speciální klíč. Každý klíč je také nutné pravidelně kalibrovat. Při dosažení cílového momentu se pohne rukojeť klíče, což je doprovázeno charakteristickým „cvaknutím“ v klíči. Spoj je potřeba utahovat plynulým pohybem. Pokud se spoj utahuje příliš rychle (se zrychlením), klíč indikuje dosažení cílového momentu z důvodu přídavných dynamických sil předčasně a nastávají pak problémy s kvalitou spoje. Také zde není žádný záznam o proběhlém utahování.



Obrázek 49 - Ukázka manuálních momentových klíčů

Na nejproblematictější spoje se v roce 2017 začal používat přesnější utahovací systém se sledováním utahovacího momentu, pracovním návodem na monitoru a tvorbou protokolů o montáži každé sestavy. Tento systém se v současné době používá jen zhruba na 10 spojů pro stroje o hmotnosti 1–2 tuny.



Obrázek 50 - Pracoviště se sledováním momentu

Na obou stanovištích montážní linky rozvaděčů je velká variabilita kombinací utahovacích momentů a velikosti koncovky klíče. Společnost Doosan Bobcat má svoje kořeny v USA, a proto se často používají imperiální velikosti klíčů. Použitím dvou různých standardů velikostí klíčů potřebný počet nářadí jen narůstá. Po rozdělení na montážní stanoviště 1 až 2 a analýze všech spojů vyplynulo, že na montážní lince rozvaděčů se používá celkem 36 různých momentových klíčů. Kombinace velikostí koncovek a utahovacích momentů je vypsána v následující tabulce.

Tabulka 11 - Seznam kombinací velikosti koncovek klíče a utahovacího momentu [44]

Velikost koncovky	Utahovací moment	Stanoviště 1	Stanoviště 2
1 3/8 palce	114 Nm		Ano
1 3/8 palce	133 Nm		Ano
1 palce	82 Nm		Ano
1/2 palce	11 Nm	Ano	
1/2 palce	18 Nm		Ano
5/8 palce	18 Nm		Ano
14 mm	18 Nm	Ano	Ano
17 mm	18 Nm	Ano	
17 mm	30 Nm	Ano	
17 mm	18 Nm		Ano
17 mm	30 Nm		Ano
19 mm	30 Nm	Ano	Ano
19 mm	18 Nm	Ano	Ano
22 mm	30 Nm	Ano	Ano
22 mm	55 Nm	Ano	Ano
24 mm	55 Nm	Ano	Ano
24 mm	30 Nm	Ano	
24 mm	18 Nm	Ano	Ano
24 mm	11 Nm	Ano	Ano
27 mm	11 Nm	Ano	
27 mm	82 Nm	Ano	Ano
27 mm	55 Nm		Ano
32 mm	75 Nm		Ano
32 mm	133 Nm		Ano
32 mm	82 Nm		Ano
32 mm	114 Nm		Ano
41 mm	160 Nm	Ano	

Po dokončení montáže se hotová sestava přesune pomocí jeřábu na vyčkávací pozici na konci montážní linky rozvaděčů, kde ho v určenou chvíli operátor prostřednictvím jeřábu na hlavní lince přemístí do rozpracovaného rypadla.

V této podkapitole byl popsán současný proces montáže hydraulických rypadel, odlišnosti v procesu montáže různých typů sestav, délka času taktu celé linky, současně používaná montážní technologie, přípravy a kombinace utahovacích momentů a velikosti koncovek.

5.3 Zhodnocení současného stavu

V této kapitole je zhodnocen současný stav montážního procesu, a dále tu jsou popsány důvody pro optimalizaci montážní linky hydraulických rozvaděčů pro kompaktní rypadla. Hlavním důvodem pro optimalizaci montážní linky hydraulických rozvaděčů je zlepšení kvality a těsnosti hydraulických šroubových spojů.

Samotná optimalizace nemá za primární cíl zvýšení produktivity na montážní lince. Montážní linka hydraulických rozvaděčů má pevný takt a výrobky se zde nekompletují na skladové zásoby. V rámci pravidel metody štíhlé výroby just in time se vyrábí sestavy, které se „právě včas“ namontují do rozpracovaného stroje na hlavní lince. Z tohoto důvodu není zrychlení montáže hlavním cílem optimalizace, musela by se uvažovat celá montážní linka.

Hlavním důvodem pro optimalizaci je zvýšení kvality utažení hydraulických šroubových spojů. Úniky oleje z důvodu netěsnosti šroubových spojů jsou největším problémem zákazníků a prodejců značky Bobcat. Zákaznické reklamace jsou finančně náročné a úniky oleje jsou taky častým problémem při výstupní kontrole strojů. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, po utahování drtivě většiny spojů na sestavě hydraulického rozvaděče se používají manuální mechanické momentové klíče (viz Obrázek 49). O proběhlém utahování není žádný záznam či potvrzení a musí se spoléhat na operátora, že všechny spoje dotáhl správným postupem.

Toleranční pole utahovacího momentu je v řadě případů velmi úzké, především v případě nižšího nominálního utahovacího momentu. V případě nominálního momentu o velikosti 18 Nm je toleranční pole o velikosti pouze 1 Nm (viz Tabulka 10). Takové přesnosti je obtížné dosáhnout.

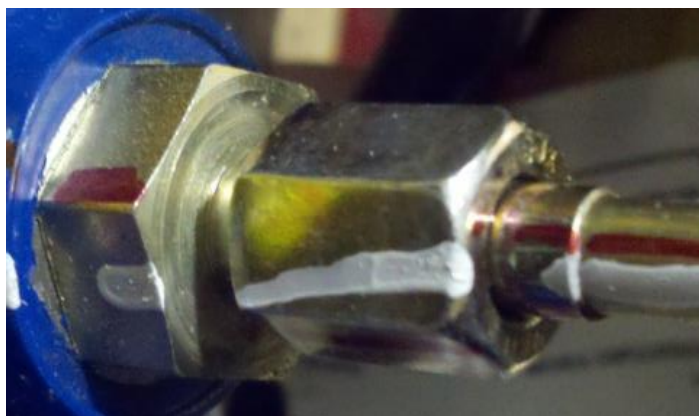
Pro ověření přesnosti mechanických momentových klíčů proběhla ve firmě Doosan Bobcat EMEA s.r.o. studie utahování. Cílem této studie bylo zjistit směrodatnou odchylku σ procesu utahování a hodnotu ukazatele způsobilosti C_p . Vybrán byl klíč kalibrovaný na nominální moment 34 Nm, toleranční pole pro tento moment má hodnotu 32-36 Nm. Bylo provedeno celkem 235 utažení pomocí klíče s platnou kalibrací. Výsledky této analýzy jsou v následující tabulce.

Tabulka 12 - Výsledky studie utahovacího momentu pomocí manuálních klíčů [44]

Parametr	Hodnota
Počet utažení [-]	235
Nominální moment [Nm]	34
Toleranční pole nominálního momentu [Nm]	32-36
Minimální naměřený moment [Nm]	23
Maximální naměřený moment [Nm]	42,3
Průměrný naměřený moment [Nm]	30,3
Směrodatná odchylka procesu σ [Nm]	3,14
Ukazatele způsobilosti procesu C_p [-]	0,2
Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]	0,2
Šroubové hydraulické spoje mimo toleranci [%]	73

Z výsledků studie utahování šroubových spojů prostřednictvím manuálních momentových klíčů jasně vyplývá, že pomocí této technologie nelze zaručit utažení na požadovaný moment. Tato studie popisuje současný stav a na základě získaných dat lze vyčíslit případné zlepšení při použití jiných technologií.

Z důvodu chybějícího záznamu o provedení se šroubové hydraulické spoje značí pomocí barevných fixů. Po našroubování pomocí ruky se na spoji udělá první čára, následně se spoj dotáhne na požadovaný moment. Na utaženém spoji se provede druhé značení pomocí fixu, které indikuje případný uvolněný spoj.



Obrázek 51 - Příklad značení šroubových hydraulických spojů pomocí fixů

Za cíl požadovaného stavu pro toto pracoviště se z hlediska kvality stanovila požadovaná hodnota koeficientu využití způsobilosti C_{pk} na hodnotu minimálně 1,0 pro všechny šroubové hydraulické spoje. V interním standardu po utahování spojů je utahovací moment oproti standardu SAE J514 zvýšen, takže nominální hodnota utahovacího momentu se nenachází v tolerančním poli. Proto bylo nutné upravit dolní a horní mezní hodnoty utahovacího momentu. Nominální hodnoty utahovacího momentu zůstanou stejné (viz. Tabulka 10) a výsledné toleranční pole bude symetrické. Výsledná hodnota tedy bude nominální moment \pm polovina velikosti tolerančního pole. Přehled upravených hodnot tolerancí je uveden v následující tabulce.

Tabulka 13 - Upravené hodnoty tolerančního pole utahovacího momentu

Nominální utahovací moment [Nm]	Velikost tolerančního pole dle firemního standardu [Nm]	Mezní hodnoty utahovacího momentu dle firemního standardu [Nm]	Upravené mezní hodnoty utahovacího momentu [Nm]
11	1	11 – 12	10,5 – 11,5
18	1	15 – 16	17,5 – 18,5
23	2	19 – 21	22 – 24
30	4	24 – 28	28 – 32
55	4	49 – 53	53 – 57
82	8	77 – 85	78 – 86
114	12	107 – 127	108 – 120
133	13	127 – 140	126,5 – 139,5
160	7	147 – 154	156,5 – 163,5

Jelikož je výsledné toleranční pole symetrické, platí pro tento případ, že ukazatel způsobilosti C_p se rovná ukazateli využití způsobilosti C_{pk} . Díky znalosti velikosti tolerančního pole a požadavků na způsobilost procesu lze pomocí rovnice 1 získat požadovanou směrodatnou odchylku (přesnost) nástrojů. V následující tabulce jsou požadavky na přesnost pro různé kombinace ukazatele způsobilosti procesu a velikosti utahovacího momentu. Červeně je zvýrazněna minimální požadovaná hodnota ukazatele využití způsobilosti C_{pk} pro všechny velikosti nominálního utahovacího momentu.

Tabulka 14 - Požadovaná velikost směrodatné odchylky pro různé hodnoty způsobilosti procesu

Velikost směrodatné odchylky σ [Nm] pro způsobilost procesu						
Utahovací moment [Nm]	$C_{pk} = 2$	$C_{pk} = 1,67$	$C_{pk} = 1,33$	$C_{pk} = 1$	$C_{pk} = 0,67$	$C_{pk} = 0,33$
11	0,083	0,100	0,125	0,167	0,249	0,505
18	0,083	0,100	0,125	0,167	0,249	0,505
23	0,167	0,200	0,251	0,333	0,498	1,010
30	0,333	0,399	0,501	0,667	0,995	2,020
55	0,333	0,399	0,501	0,667	0,995	2,020
82	0,667	0,798	1,003	1,333	1,990	4,040
114	1,000	1,198	1,504	2,000	2,985	6,061
133	1,083	1,297	1,629	2,167	3,234	6,566
160	0,583	0,699	0,877	1,167	1,741	3,535

V této kapitole byl přestaven důvod optimalizace na montážní lince hydraulických rozvaděčů. Důvodem je především optimalizace procesu utahování hydraulických šroubových spojů. Současné řešení nedokáže garantovat potřebnou kvalitu spojů a neexistuje potvrzení o správě dotaženém spoji. Dále se stanovily cíle optimalizace, a to především minimální hodnota ukazatele využití způsobilosti C_{pk} procesu na hodnotu 1.

6 Návrh optimalizačních řešení

V této kapitole je podrobně rozebrán jeden vybraný montážní celek, a to konkrétně nejpracnější varianta hydraulického rozvaděče pro stroj o hmotnosti 2-3 tuny. Stroje o této hmotnosti jsou ve výrobě zastoupeny zhruba 36 %. Proběhne optimalizační analýza tohoto montážního celku bez ohledu na současný stav ve výrobě. Po stanovení montážní sekvence pro tento typ hydraulického rozvaděče se stanoví pravidla pro montáž ostatních typů. Dalším krokem v návrhu optimalizačních řešení bude výběr několika variant výrobní technologie pro dosažení požadované přesnosti.

V předchozí kapitole byl popsán současný způsob montáže a nedostatky této technologie. Důvody pro optimalizaci jsou vypsány na následujícím obrázku.



Obrázek 52 - Důvody pro optimalizaci na montážní lince hydraulických rozvaděčů

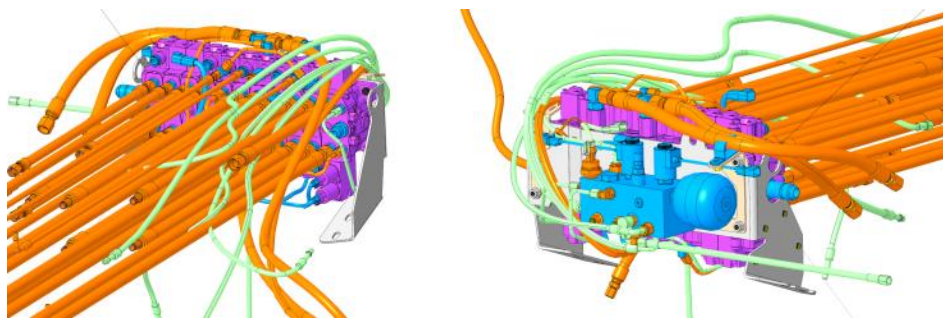
Primárním důvodem pro optimalizaci je zlepšení kvality utažení hydraulických spojů a s tím spojený počet zákaznických reklamací způsobených únikem oleje kvůli špatnému montážnímu procesu. S tímto je spojené potvrzení o správném utažení spoje, nejlépe formou protokolu o montáži. Dalším cílem optimalizace je zlepšení úrovně

pracovních postupů. Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, na stanovišti 2 pracují na jedné sestavě současně. Jsou předepsané pracovní postupy, které rozdělují práci, ale není žádná stoprocentní kontrola dodržování těchto postupů. Na jedné straně pracovního postupu se také v současnosti nachází více kroků montáže, u kterých není jasně definována sekvence. Pro optimální průběh montážního procesu je důležité přesně stanovit montážní sekvenci. Cílem optimalizace je také snaha o standardizaci a snížení počtu nástrojů a nářadí na pracovišti v rámci metody štíhlé výroby 5S. Také je snaha o co nejmenší plýtvání, a to především plýtvání způsobené poškozenými díly během montážního procesu.

6.1 Optimalizační proces

Hlavní náplní této kapitoly je optimalizační proces montáže hydraulického rozvaděče. Pro analýzu byl zvolen hydraulický rozvaděč pro stroje o hmotnosti 2-3 tun, konkrétně pro model kompaktního pásového rypadla E27. Byla zvolena nepracnější sestava v této hmotnostní kategorii. Jelikož je hlavním problémem způsob a dosahovaná kvalita utažení hydraulických šroubových spojů, optimalizační proces se zaměří především na tyto spoje.

Vybraná sestava se skládá ze samotného hydraulického rozvaděče a tří menších hydraulických ventilů (ventil 2. auxu, manifold a geith ventil). Všechny podsestavy obsahují celkem 126 šroubových hydraulických spojů. Předmětem analýzy bude pouze samotný hydraulický rozvaděč, který má dohromady 92 šroubových hydraulických spojů. Do této sestavy vstupuje hotová sestava manifoldu, které je v rámci montáže hydraulického rozvaděče považovaná za jeden díl. Zvolená varianta hydraulického rozvaděče pro kompaktní pásové rypadlo se skládá celkem ze 123 dílů. Na následujících obrázcích je 3D model vybrané varianty hydraulického rozvaděče v programu PTC Creo Parametric.



Obrázek 53 - 3D model hydraulického rozvaděče pro kompaktní rypadlo E27

Pro analýzu montáže bude použit interní firemní proces pro DFA analýzu. Tento proces byl zatím aplikován pouze pro proces svařování, který se od montážního procesu značně liší. Samotný postup této analýzy je popsán v následující tabulce.

Tabulka 15 - Posloupnost kroků v rámci optimalizačního procesu

Číslo kroku	Popis kroku
1	Definování vyrovnání součásti pro 3D souřadnicové měřicí stroje
2	Analýza výkresové dokumentace a specifikací
3	Identifikace kritických parametrů v procesu
4	Tvorba seznamu dílů a jejich klasifikace podle vrstev
5	Tvorba modelů procesu (procesní mapa, montážní sekvence)
6	Definování technologie, stroje a náradí pro konkrétní aplikaci

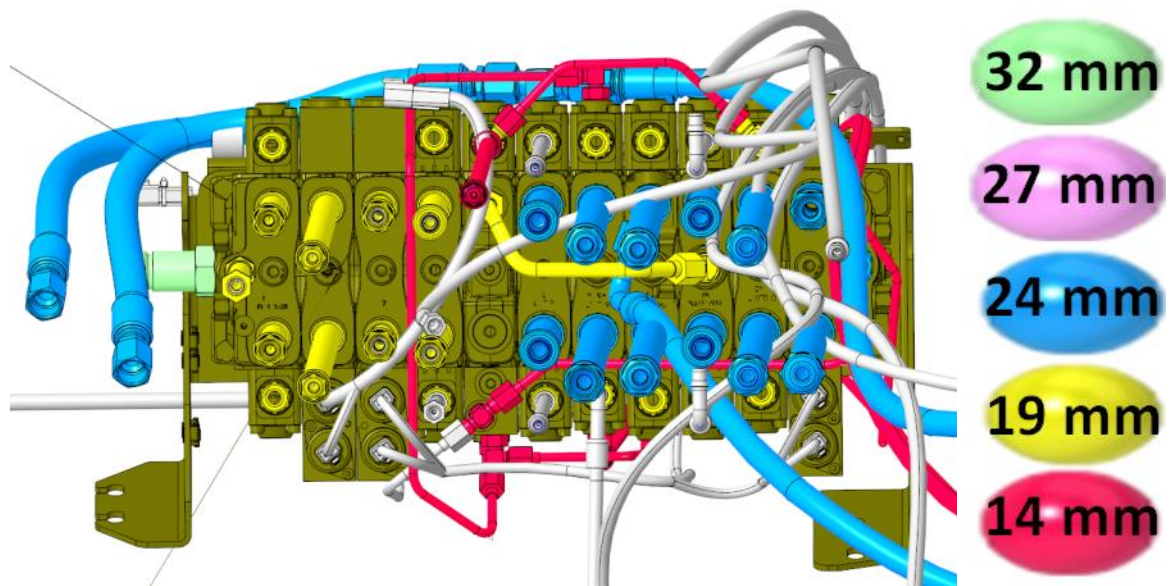
V rámci následujících podkapitol bude aplikován každý krok optimalizačního procesu a zhodnoceny jeho výsledky.

6.1.1 Definování vyrovnání součásti pro 3D souřadnicové měřicí stroje

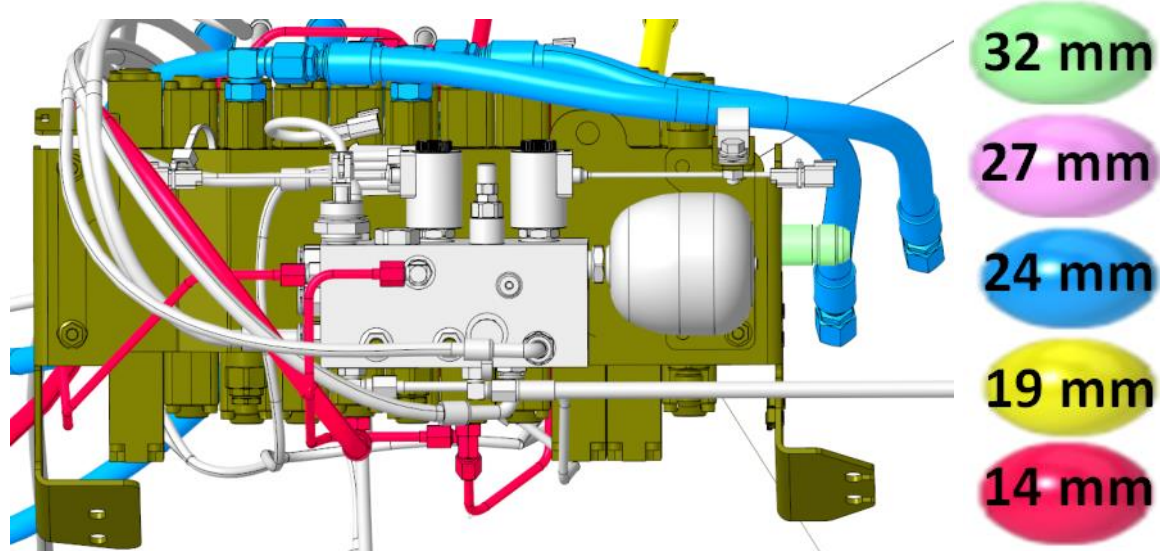
První krok (definování vyrovnání součásti pro 3D souřadnicové měřicí stroje) je z pohledu montážního procesu nedůležitý, samotné díly se zde nevyrábějí, ale pouze spojují v montážní celky. Rozměry samotných dílů jsou ovlivněné procesem jejich vlastní výroby (např. obrábění, svařování) a v montážním procesu se zpravidla nemění.

6.1.2 Analýza výkresové dokumentace a specifikací

Druhým krokem je analýza výkresové dokumentace a specifikací. Nejdůležitějším bodem pro montážní proces je analýza potřebných nástrojů pro utahování spojů. V přechodí kapitole (Tabulka 11) je uveden přehled potřebných kombinací nominálních momentů a velikostí koncovek klíčů. Na následujících jsou rozděleny hydraulické šroubové spoje pomocí různých barev pro každou velikost klíče. Olivovou barvou je vyznačen samotný hydraulický rozvaděč a bílou barvou jsou označeny díly bez hydraulických šroubových spojů.



Obrázek 54 - Rozdělení dílů podle velikosti koncovek klíče – přední strana



Obrázek 55 - Rozdělení dílů podle velikosti koncovek klíče – zadní strana

Z tohoto schématu lze vypočítat určitou logiku v uspořádání dílů. Na levé přední straně hydraulického rozvaděče je skupina dílů s velikostí koncovky 19 mm a na pravé straně je skupina s velikostí klíče 24 mm. Tyto informace lze použít při tvorbě pracovních postupů pro dosažení co nejmenšího počtu výměny nástrojů a nářadí.

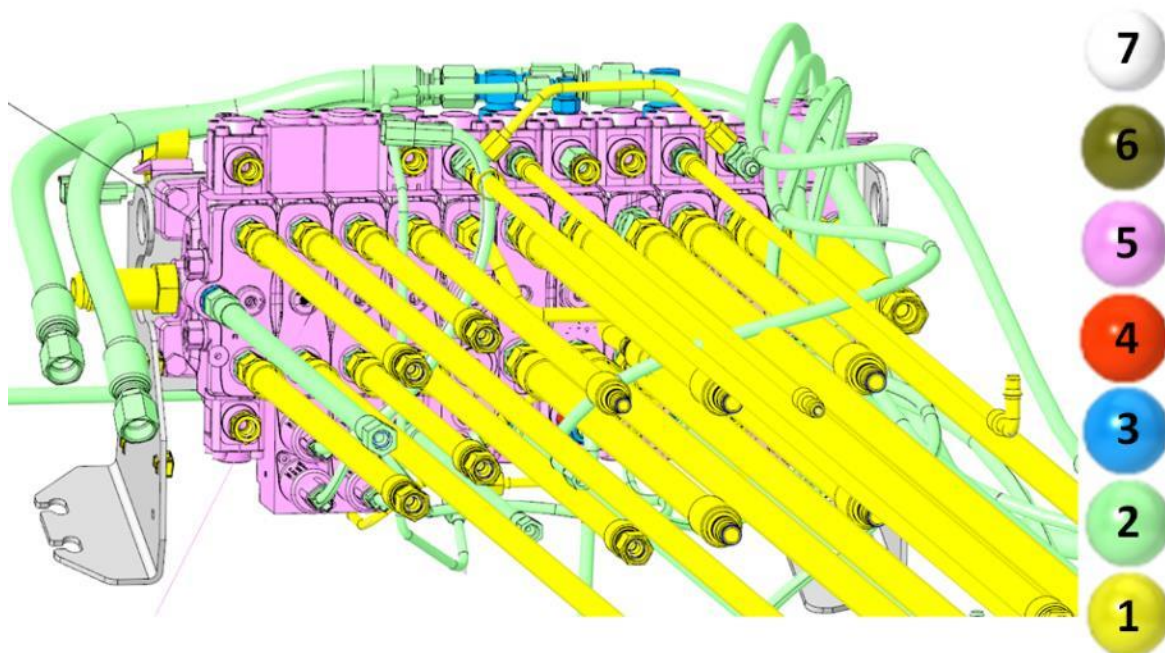
6.1.3 Identifikace kritických parametrů v procesu

Cílem třetího kroku je identifikace kritických parametrů. Primárním kritickým parametrem je velikost utahovacího momentu. Dalším kritickým parametrem je úhlová

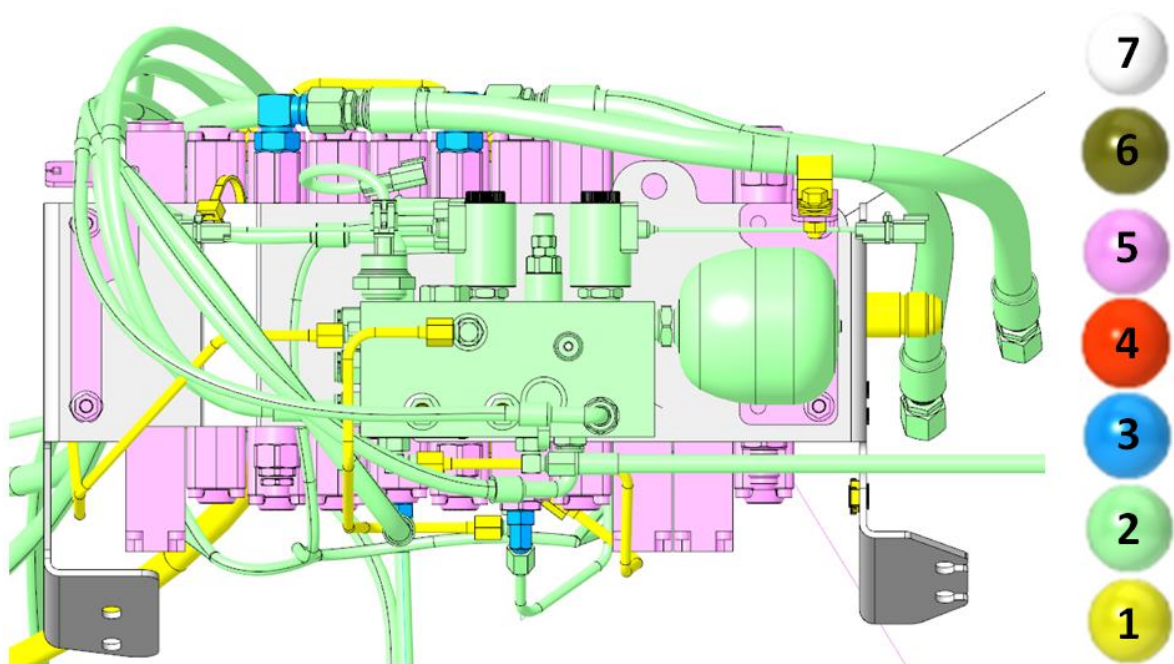
orientace nesymetrických hydraulických šroubení. Podrobněji jsou kritické parametry přiřazeny ke krokům montáže v procesní mapě v rámci 5. kroku.

6.1.4 Tvorba seznamu dílů a jejich klasifikace podle vrstev

V rámci čtvrtého kroku se vytvoří seznam dílů, který se následně použije pro tvorbu procesní mapy. Hlavním cílem tohoto kroku je ale klasifikace sestavy do různých vrstev. Samotná klasifikace podle vrstev začíná kompletní sestavou hydraulického rozvaděče. Z finální sestavy se odeberou všechny díly, které jsou v poslední vrstvě modelu a nic nebrání v jejich odebrání ze sestavy. Po odebrání první vrstvy dílů se pokračuje další vrstvou. Hlavním účelem této metody je nalezení určitých souvislostí a propojení skupin dílů pro budoucí tvorbu pracovních postupů. Na následujícím obrázku je znázorněno výsledné rozdělení dílů do vrstev. Podrobné rozdělení dílů, včetně pohledů z druhé strany a odebrání jednotlivých vrstev, je v příloze 1. Na obrázku je žlutou barvou vyznačena první volně odebíraná vrstva dílů. Po odstranění první (žluté) vrstvy lze odstranit druhá (zelená) vrstva. V modelu však chybí některé díly (stahovací pásy), které budou ale později zmíněny v montážním postupu. Všechny následující obrázky v této části práce jsou vytvořené v program PTC Creo Parametric.

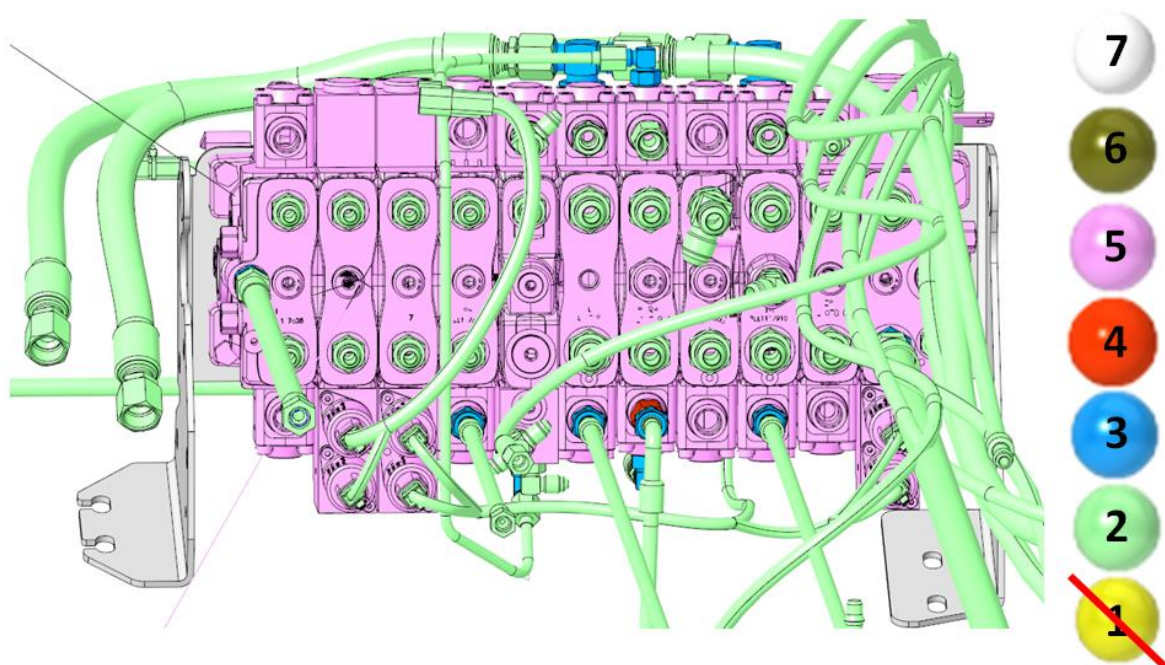


Obrázek 56 - Klasifikace dílů sestavy hydraulického rozvaděče do vrstev – přední strana

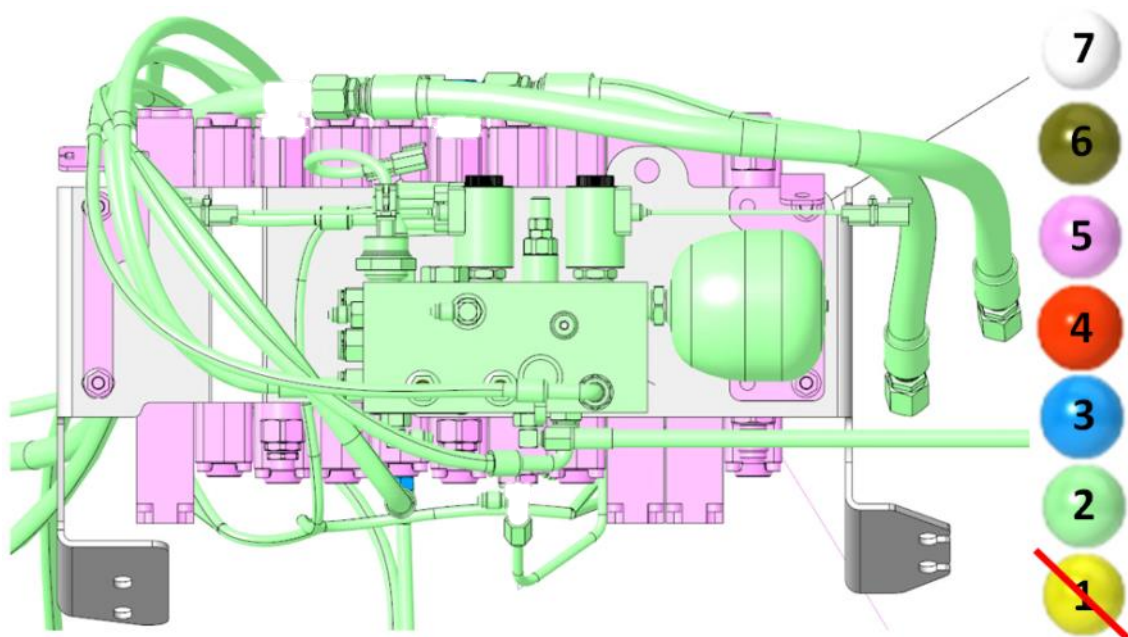


Obrázek 57 - Klasifikace dílů sestavy hydraulického rozvaděče do vrstev – zadní strana

První odebraná vrstva se skládá především ze stahovacích pásek, hadic a trubiček. Dále se v první vrstvě nachází několik hydraulických šroubení. Na následujících obrázcích je odebraná první (žlutá) vrstva.

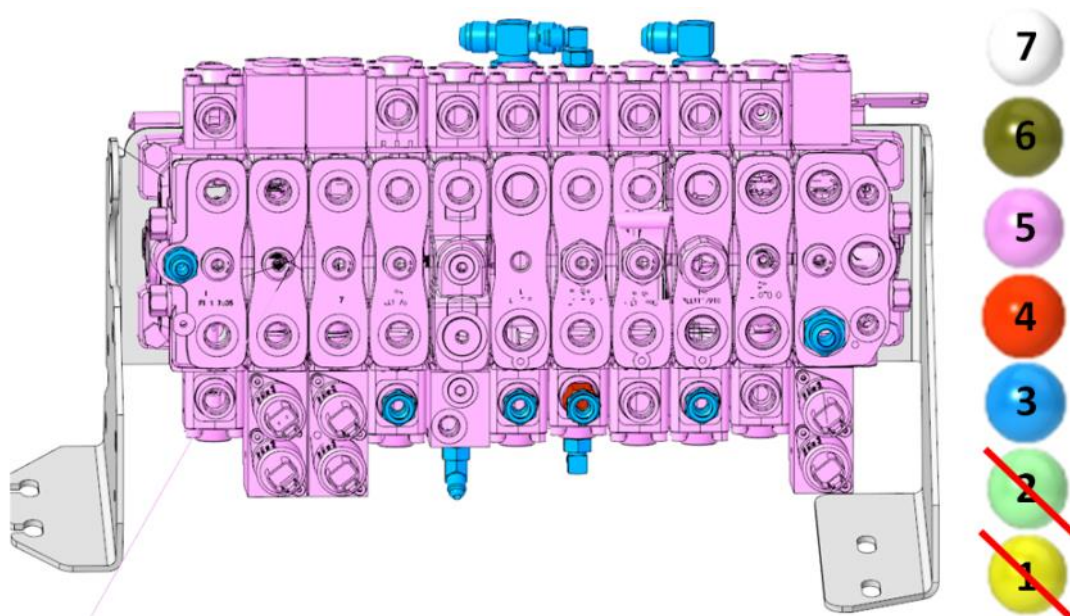


Obrázek 58 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání první vrstvy – přední strana



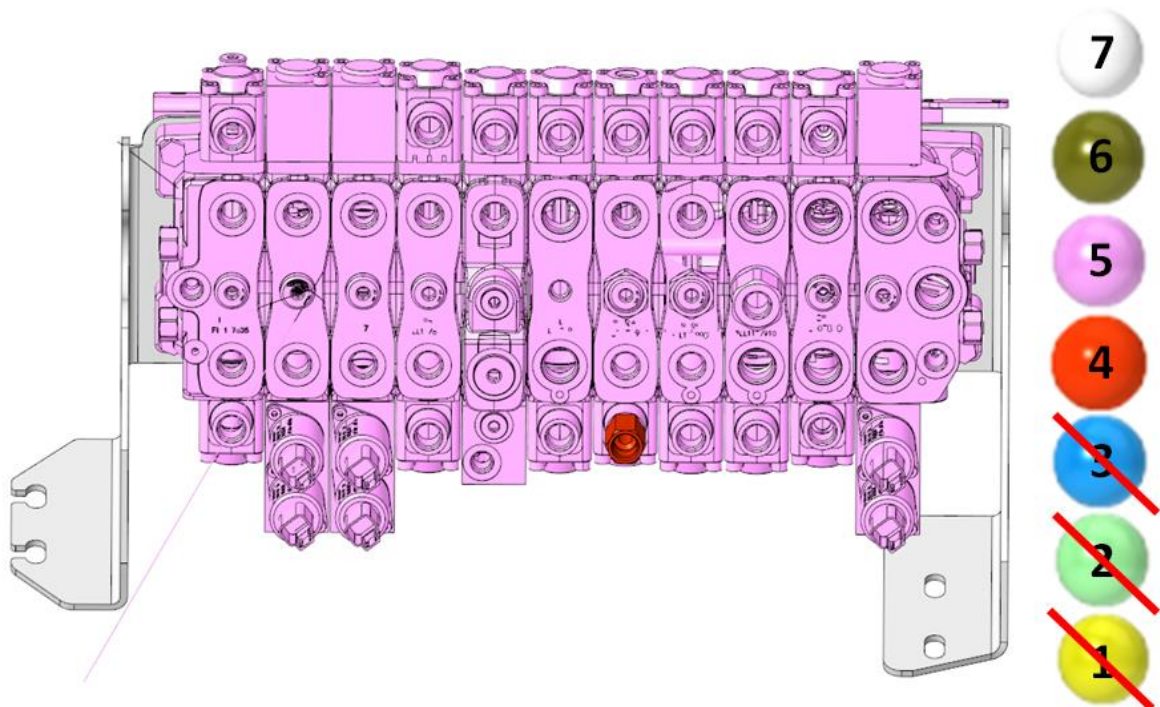
Obrázek 59 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání první vrstvy – zadní strana

V druhé (zelené) vrstvě dílů jsou především přímá hydraulická šroubení na přední straně rozvaděče. Dále se zde nachází hadice, které byly spojeny k sobě pomocí stahovacích pásek a poté zkompletovaná sestava manifoldu na zadní straně rozvaděče. Na dalším obrázku je odebrána druhá vrstva dílů. Všechny díly se nachází už jen na přední straně hydraulického rozvaděče.



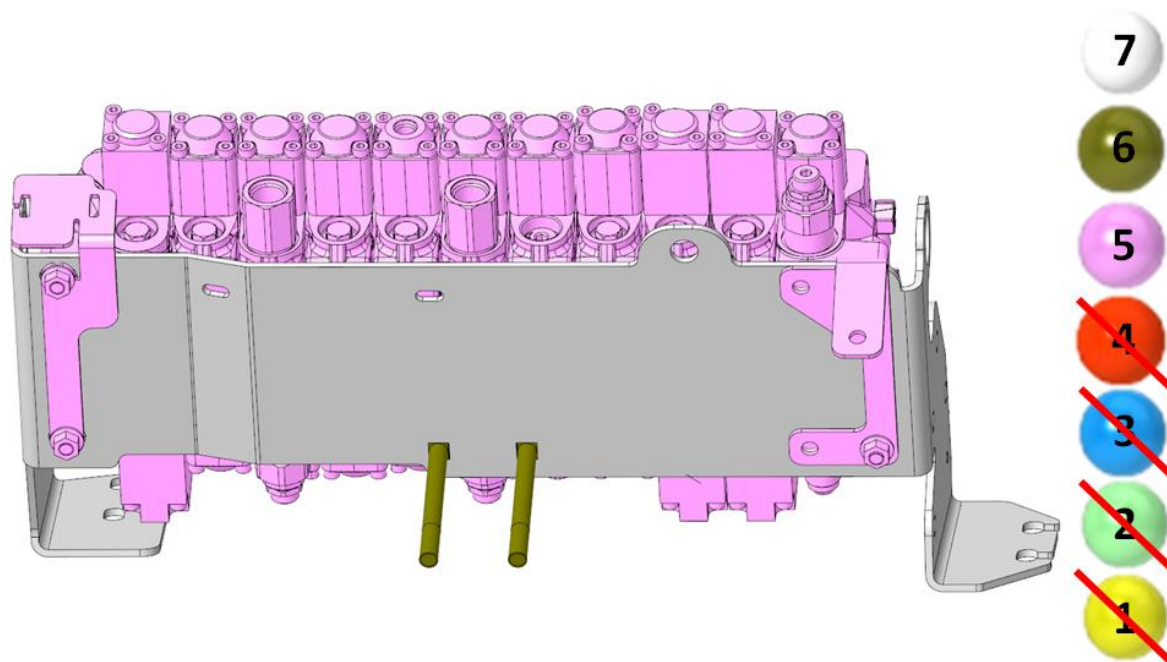
Obrázek 60 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání druhé vrstvy

V třetí (modré) vrstvě se nachází hydraulické šroubení na přední straně rozvaděče. V těchto šroubeních byly namontovány hadice, které byly poté spojeny k sobě pomocí stahovacích pásek. Na následujícím obrázku je odebrána třetí vrstva dílů.



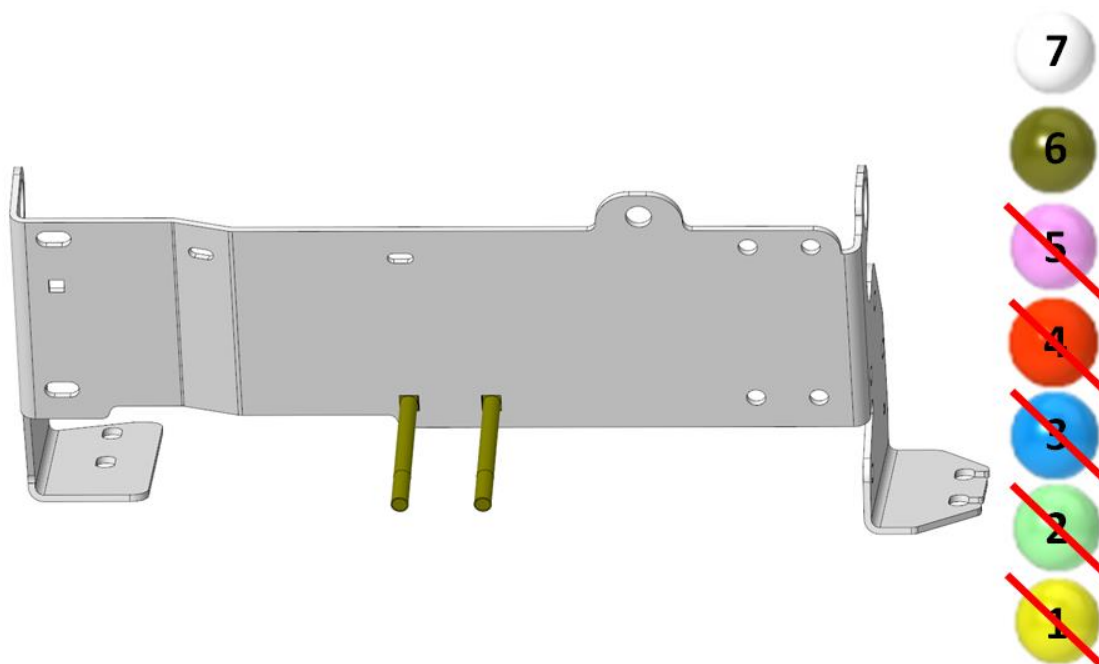
Obrázek 61 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání třetí vrstvy

V třetí vrstvě se nachází pouze jedno hydraulické šroubení umístěné na přední straně hydraulického rozvaděče. Po odebrání této vrstvy se v samotném hydraulickém rozvaděči nenachází žádné další díly a může být v následující vrstvě odstraněn samotný hydraulický rozvaděč.



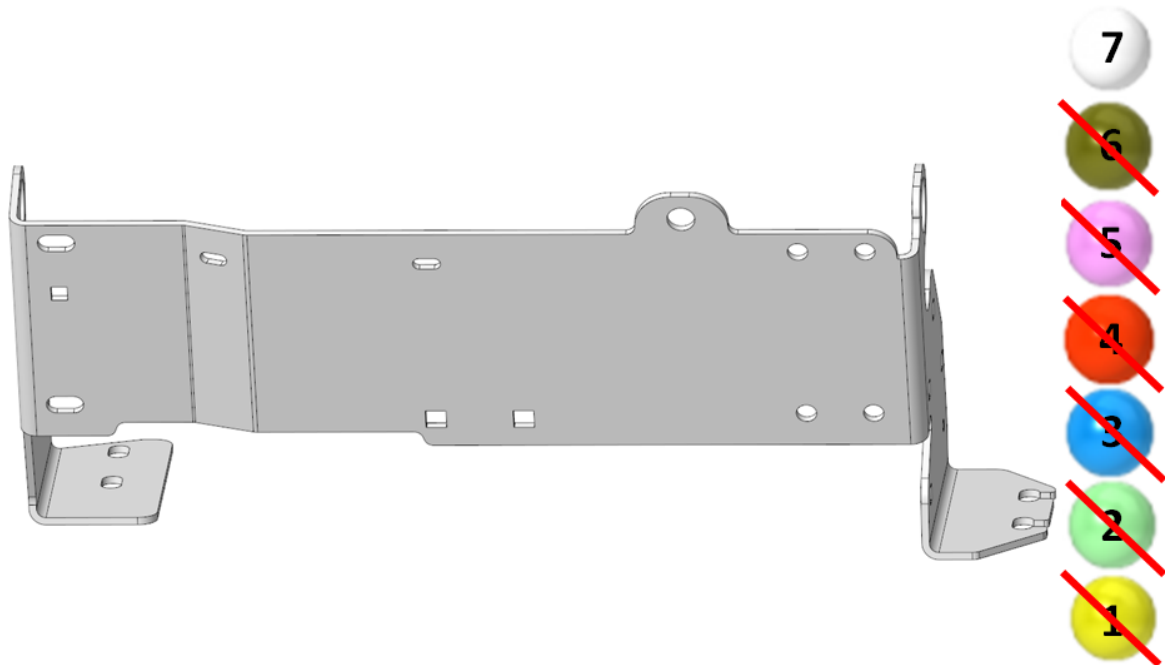
Obrázek 62 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání čtvrté vrstvy

Na přední straně rozvaděče se již nenachází další díly, proto se používá jen pohled ze zadní strany. V páté (růžové) vrstvě se nachází samotný hydraulický rozvaděč, dva plechové držáky, 4 šrouby a 4 šestihřanné matice. Stav po odebrání páté vrstvy dílů je znázorněn na dalším obrázku.



Obrázek 63 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání páté vrstvy

V šesté vrstvě se nachází pouze dva šrouby. Tyto šrouby se musí do plechu držáku rozvaděče vložit ještě před samotnou montáží rozvaděče, proto jsou až v následující vrstvě. Na následujícím obrázku už je pouze jeden díl, a to samotný plechový držák hydraulického rozvaděče.



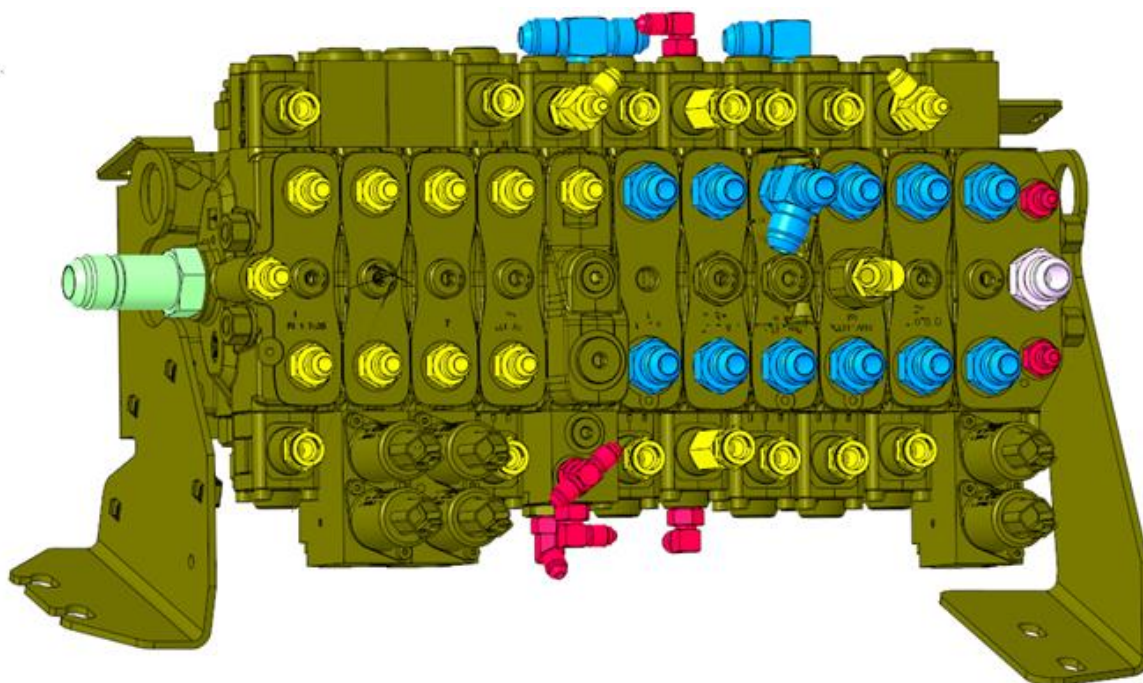
Obrázek 64 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání šesté vrstvy

V poslední vrstvě se už nachází pouze jeden díl, a to samotný držák rozvaděče. Samotná analýza vrstev slouží především pro hledání různých souvislostí v procesu montáže. Tyto vrstvy jsou jasně dané a nelze sestavu rozebírat jiným způsobem. Sekvenci montáže lze ale upravit – v první a druhé odebrané vrstvě se nacházejí hadice, v dalších vrstvách už nikoli. Hadice mají podobný charakter montáže a je logické je do sestavy přidat v jedné vlně montáže, která následuje po montáži hydraulických šroubení.

Z analýzy vrstev tedy vyplývají po úpravách určité souvislosti a skupiny dílů. V zásadě lze z výsledků klasifikace dílů dle vrstev určit zásady pro tvorbu zjednodušených pracovních postupů. Pro budoucí pracovní postupy se použije následující sekvence.

- 1. vrstva dílů – plechový držák rozvaděče
- 2. vrstva dílů – samotné tělo hydraulického rozvaděče
- 3. vrstva dílů – hydraulické šroubení
- 4. vrstva dílů – hadice a trubičky se závitem
- 5. vrstva dílů – hadice bez závitu
- 6. vrstva dílů – stahovací pásy a klipy pro trasování hadic

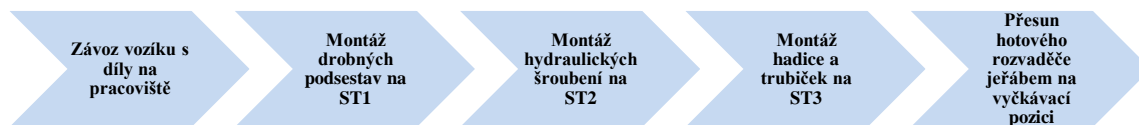
Podle těchto pravidel se zvolily základní posloupnosti montážního procesu, které budou společné pro všechny typy hydraulických rozvaděčů. Postup montáže vybrané sestavy bude podrobněji rozepsán v návazné části této kapitoly v bodě postupu číslo 5 s názvem tvorba modelů procesu. Následující obrázek ukazuje rozpracovanou sestavu hydraulického rozvaděče po kompletaci 3. vrstvy dílů (hydraulických šroubení).



Obrázek 65 - Sestava hydraulického rozvaděče po namontování 3. vrstvy dílů

V rámci čtvrtého kroku optimalizačního procesu s názvem „tvorba seznamu dílů a jejich klasifikace podle vrstev se podrobně rozebrala sestava hydraulického rozvaděče pro kompaktní rypadlo E27. V rámci tohoto kroku proběhla klasifikace součástí sestavy podle vrstev a na základě popisu vrstev se stanovily obecné zásady pro montáž všech typů rozvaděčů. Díly se podle jejich charakteru rozdělily do šesti vrstev, ve kterých ale není přesně definované pořadí kroků montáže. Přesná sekvence montáže se definuje v rámci

dalšího kroku procesu optimalizace montáže. Na následujícím obrázku je naznačen proces montáže po jednotlivých stanovištích



Obrázek 66 - Schéma navrženého procesu montáže po stanovištích

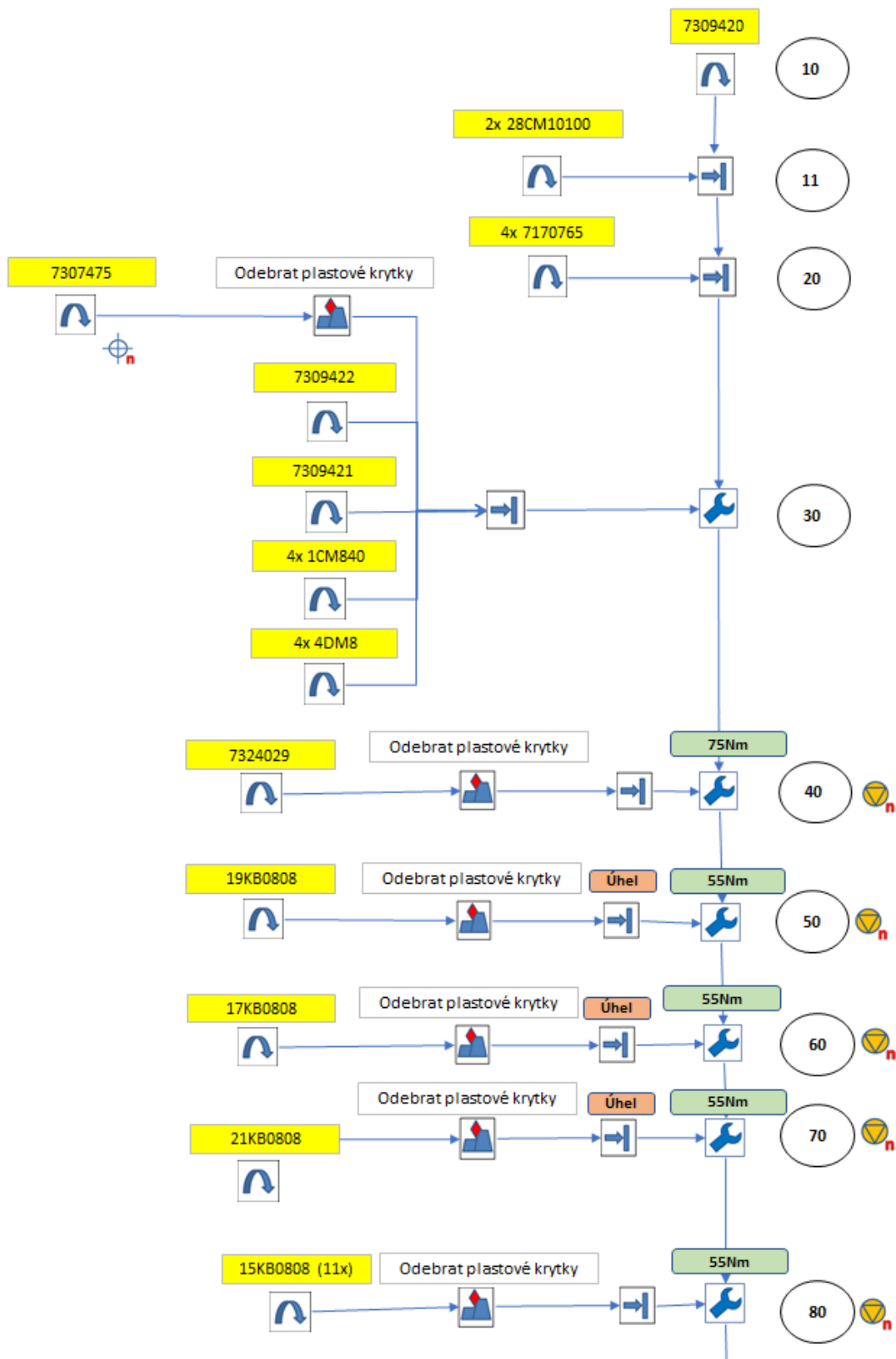
Hlavním rozdílem v porovnání se současným stavem je tedy vznik nového montážního stanoviště.

6.1.5 Tvorba modelů procesu (procesní mapa, montážní sekvence)

Pátý krok má za cíl vytvoření modelů procesu, v tomto případě se jedná o vytvoření procesní mapy, na základě, které se definují kritické parametry pro každé spojení a podle které se stanoví přesná sekvence montáže. Základním pravidlem pro tvorbu pracovního postupu je snaha o co nejmenší počet výměny nástrojů. Pokud to bude možné, použije se v rámci každé vrstvy dílů jeden nástroj, pomocí kterého se namontují všechny díly se stejnou velikostí koncovky. Poté se ve stejné vrstvě tento nástroj znovu nepoužije.

Prvním cílem tohoto kroku je vytvoření procesní mapy. V rámci procesní mapy se použijí interní firemní symboly a stanoví se přesné sekvence montáže. Ke každému se také přiřadí kritické parametry, v tomto případě velikost utahovacího momentu a úhel natočení v případě rozvětvených hydraulických šroubení.




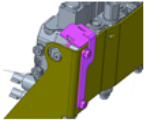

Na následujícím obrázku je znázorněn počátek montáže sestavy pomocí procesní mapy. Ta je v celém průběhu montáže velmi podobná, proto je tu uvedený pouze úvod. Žlutě jsou odznačena čísla dílů, které vstupují do procesu. Samotný proces montáže jednotlivých dílů je ve většině případů podobný. Vždy se z konkrétního dílu odstraní plastové krytky, poté se ručně našroubují na příslušné místo, a nakonec se spoj dotáhne na požadovaný moment pomocí klíče. U spojů jsou vždy definovány kritické parametry pomocí barevných rámečků. Zelený rámeček značí nominální utahovací moment a červený rámeček označuje nutnost úhlové orientace konkrétního dílu. Číslem v oválu se označuje číslo kroku v montážním procesu.



Obrázek 67 - Ukázka procesní mapy montáže hydraulického rozvaděče

Vytvořením procesní mapy byl podrobně popsán montážní proces hydraulického rozvaděče a byla určena sekvence montáže. V průběhu celkem 97 šroubových spojů (92 hydraulických šroubových spojů a 5 šroubů) se vymění nástroj celkem 8x, což je nejnižší možný počet při zachování výsledků analýzy vrstev modelu. Na následujícím obrázku je znázorněný počátek montážní sekvence, která se definovala v průběhu procesu. Celá montážní sekvence je v příloze.

Tabulka 16 - Začátek montážní sekvence hydraulického rozvaděče

Krok	Číslo dílu	Název dílu	Počet dílů	Úhlová orientace	Vrstva dílu	Velikost koncovky	Utahovací moment	Počet hydraulických šroubových spojů	Obrázek dílu	Obrázek spojení	Změna koncovky klíče
10	7309420	Držák rozvaděče	1	X	7	X	X	X			
11	7170765	Samojistící matice	4	X	1	X	X	X			
20	28CM10100	Šroub	2	X	6	X	X	X			
30	7307475	Hydraulický rozvaděč	1	X	5	X	X	X			
30	7309422	Držák hadic	1	X	5	X	X	X			
30	7309421	Držák hadic	1	X	5	X	X	X			
30	1CM840	Šroub	4	X	5	13 mm		X			
30	4DM8	Šestihranná matice	4	X	5	13 mm		X			

V rámci tohoto kroku optimalizačního procesu byla vytvořena procesní mapa, na základě, které byla určena přesná montážní sekvence pro sestavu hydraulického rozvaděče pro kompaktní rypadlo E27. Podobné sekvence se použijí pro všechny sestavy hydraulických rozvaděčů.

6.1.6 Definování technologie, stroje a nářadí pro konkrétní aplikaci

Posledním krokem v optimalizačním procesu je definování technologie pro konkrétní aplikaci. Cílem je vybrat technologii, pomocí které bude schopné zaručit hodnotu koeficientu využití způsobilosti C_{pk} o minimální hodnotě 1.

Ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o. se používají pro podobné aplikace digitální momentové klíče od společností Crane Electronics Ltd a Desoutter Tools. V rámci standardizace technologií ve výrobním procesu v celém závodě se primárně v návrhu využijí technologie od těchto dvou výrobců. Pokud se v sortimentu nástrojů těchto výrobců nenachází řešení, které je schopné zaručit požadovanou kvalitu, bude se až poté hledat u jiných výrobců nářadí.

Digitální momentové klíče od společnosti Crane Electronics Ltd se v současné chvíli ve výrobním závodě firmy Doosan Bobcat EMEA s.r.o. používají celkem na pěti pracovištích. Prozatím se na jednom pracovišti používají maximálně dva klíče, vždy záleží na rozsahu utahovacího momentu pro konkrétní montážní stanoviště. Klíče mají výměnnou koncovku, lze tedy použít jeden klíč pro dotažení více různých velikostí koncovek. Stejně tak je možné jedním klíčem dotahovat více nominálních momentů, není tedy potřeba mít na pracovišti pro každou kombinaci utahovacího momentu a koncovky speciální klíč. Tento jeden klíč dokáže tedy nahradit desítky různých manuálních mechanických klíčů, vždy záleží na specifikacích montážního pracoviště.



Obrázek 68 - Ukázka klíče WrenchStar Multi od firmy Crane Electronics Ltd [45]

Na obrázku 69 je ukázka digitálního momentového klíče WrenchStar Multi a zároveň několik možných koncovek pro tento klíč. Klíče se vyrábějí buď ve variantě

s jednou fixní koncovkou, nebo ve variantě s výměnnými koncovkami. Klíče jsou odstupňovány podle maximálního utahovacího momentu od 10 Nm do 1500 Nm. Minimální utahovací moment není nijak omezený. Na montážní lince hydraulických rozvaděčů jsou utahovací momenty o velikosti od 11 do 160 Nm. Výrobce u všech klíčů deklaruje přesnost $\pm 0,25$ % z maximálního rozsahu klíče. Detailnější popis klíčů je uveden v následující tabulce.

Tabulka 17 - Charakteristika klíčů WrenchStar Multi [45]

Maximální utahovací moment [Nm]	Hmotnost klíče [17]	Délka klíče [mm]	Přesnost klíče [Nm]
25	904	380	0,125
75	914	395	0,375
120	967	395	0,6
180	1474	613	0,9

Z tabulky vyplývá, že všechny spoje lze utahovat pouze jedním klíčem na pracovišti, ale jeho přesnost je poté poměrně špatná v porovnání s klíči s nižší hodnotou maximálního utahovacího momentu. Především nižší nominální momenty s velikostí tolerančního pole 1 Nm by při utahování tímto klíčem určitě nedosahovaly požadované kvality. Dalším problémem při použití pouze jednoho velkého klíče je jeho hmotnost a velikost. Klíč s maximální hodnotou utahovacího momentu 180 Nm je o zhruba 500 g těžší a 200 mm delší než menší modely. Z těchto poznatků vyplývá, že při použití digitálních momentových klíčů od firmy Crane Electronics Ltd bude potřeba více než jeden klíč na pracoviště.

Druhým uvažovaným výrobcem nářadí je společnost Desoutter Tools. Digitální klíče Delta Wrench od tohoto výrobce se ve výrobním závodě Doosan Bobcat EMEA s.r.o. použijí pro nově chystanou montážní linku celkem na šesti stanovištích, a to vždy po jednom klíči na stanoviště. Tyto klíče mají také výměnný systém koncovek, podobně jako nářadí od společnosti Crane Electronics Ltd, takže je možné nahradit více manuálních mechanických klíčů jedním digitálním klíčem. Klíče dokážou dosáhnout utahovacího momentu v rozmezí od 3 do 900 Nm. Přesnost klíčů je vždy stejná a to ± 1 % z aktuální hodnoty utahovacího momentu.



Obrázek 69 - Ukázka klíče Delta Wrench od firmy Desoutter Tools [46]

Na obrázku 70 je ukázka klíče Delta Wrench. U těchto klíčů je vždy omezení i minimální utahovací moment, a to na hodnotě 10 % z maximálního utahovacího momentu. Celkem existuje 7 variant tohoto momentového klíče, vždy podle maximální hodnoty utahovacího momentu. Pro montážní linku hydraulických rozvaděčů jsou potřebné momenty v rozmezí od 11 do 160 Nm. V následující tabulce jsou detailněji popsány vhodné nástroje pro tuto aplikaci.

Tabulka 18 - Charakteristika klíčů Delta Wrench [46]

Rozsah utahovacího momentu [Nm]	Hmotnost klíče [17]	Délka klíče [mm]	Přesnost klíče [Nm]
3 - 30	900	402	0,06 - 0,6
15 - 150	1100	418	0,3 - 3
20 - 200	2100	674	0,4 - 4

Jak vyplývá z charakteristiky nářadí, nelze v tomto případě použít pro jednu stanici s rozsahem utahovacích momentů 11–160 Nm pouze jeden nástroj. U digitálního momentového klíče Desoutter není přesnost utažení stejná v celém rozsahu pro jeden klíč, ale vždy záleží na aktuální hodnotě utahovacího momentu. V tomto případě nezáleží, zda se moment o velikost 30 Nm bude utahovat klíčem s rozsahem momentu 3-30 Nm nebo 15-150 Nm. Přesnost utažení bude vždy stejná.

Společnost Desoutter Tools dále nabízí akumulátorové utahovací systémy EABC, které jsou vhodné pro utahování přímých hydraulických šroubení. V tabulce Tabulka 8 8 lze vypočítat, že každá sestava hydraulického rozvaděče obsahuje minimálně 25 spojů tohoto typu. V případě použití akumulátorového utahovacího systému lze očekávat vyšší produktivitu práce, kvůli možnosti otáčení hydraulického šroubení o 360° bez nutnosti přehmatů, jako v případě předchozích variant. Tyto akumulátorové utahovací systémy se vyrábí celkem v sedmi variantách, lišících se v rozmezí utahovaného momentu a otáčkách za minutu.



Obrázek 70 - Akumulátorový utahovací systém EABC od společnosti Desoutter Tools [47]

Na předchozím obrázku je příklad akumulátorového utahovacího řešení. Toto řešení lze použít pouze na přímé hydraulické šroubení. Na přední straně hydraulického rozvaděče se vždy nachází několik desítek těchto spojů. Přesnost akumulátorového utahovacího systému je zhruba $\pm 2\%$, jedná se tedy o 2x nižší přesnost než v případě digitálního momentového klíče stejného výrobce.

Tabulka 19 - Charakteristika akumulátorového utahovacího systému EABC [47]

Rozsah utahovacího momentu [Nm]	Hmotnost utahovacího systému [17]	Délka [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Přesnost utahovacího systém [Nm]
5 - 15	1550	470	900	0,2 - 0,6
5 - 26	1650	496	560	0,2 - 1,04
7 - 32	1650	496	410	0,28 - 1,28
9 - 45	1760	506	330	0,36 - 1,8
9 - 50	2040	546	450	0,36 - 2
10 - 60	2350	559	370	0,4 - 2,4
12 - 75	2940	582	300	0,48 - 3
19 - 95	2980	582	240	0,76 - 3,8

V předchozí tabulce je popsána charakteristika různých typů akumulátorového utahovacího systému EABC. Tento typ nástroje bude později zvážen pro aplikaci na montážní lince hydraulických rozvaděčů.

V této části práce je popsáno několik utahovacích technologií a jejich přesnost a specifikace. V následující části bude přestavena nová prostorová dispozice montážní linky hydraulických rozvaděčů a celkem čtyři návrhy použité technologie, ze kterých se poté vybere finální možnost.

6.2 Návrh optimalizované montážní linky hydraulických rozvaděčů

V předchozí podkapitole proběhl optimalizační proces a jeho výsledky a poznatky budou shrnuty v této podkapitole. Dále zde budou celkem 4 návrhy montážní technologie pro budoucí tři stanoviště linky.

V první řadě se změní počet stanovišť linky – vzroste ze dvou stanovišť na tři. Počet operátorů na lince zůstane stejný, a to 3 operátoři (každý na jedno stanoviště).

Na prvním stanovišti (montáž menších hydraulických ventilů) se v prostorové dispozici nebudou konat žádné větší změny. Hlavní změnou zde bude změna montážní technologie, která proběhne na celé lince.

Druhé stanoviště doposud obsluhují dva operátoři současně. I přes jasně definované rozdělení práce v pracovních postupech zde můžou vzniknout určité nejasnosti o utažení spojů, a proto se druhé stanoviště rozdělí na dvě. Na novém druhém pracovišti bude probíhat montáž prvních tří definovaných vrstev v rámci jejich nového rozložení, a to konkrétně první vrstva obsahující především plechový držák rozvaděče, druhá vrstva dílů s hydraulickým rozvaděčem a třetí vrstvu dílů, ve které jsou všechna hydraulická šroubení. Montážní sekvence bude jednoznačně určena pomocí pracovního postupu na obrazovce. Pro vybranou sestavu hydraulického rozvaděče pro stroj E27 se na druhém stanovišti utáhne celkem 51 z 92 hydraulických spojů a poté se sestava přesune na třetí stanoviště. Mezi druhým a třetím stanovištěm vznikne jedna vyčkávací pozice pro rozpracovanou výrobu, a to z důvodu, že operátor na třetím stanovišti může zrovna pracovat na náročnější sestavě, operátor na stanovišti dva na jednodušší. Operátor na druhém stanovišti bude mít práci dříve hotovou, a aby nevznikaly zbytečné prodlevy, přemístí rozpracovanou sestavu hydraulického rozvaděče na vyčkávací pozici. Druhého stanoviště se také bude týkat změna montážní technologie.

Na třetím montážním stanovišti bude probíhat montáž posledních tří určených vrstev dílů, a to hadic a trubiček se závitem, hadic bez závitů a v poslední vrstvě také stahovací pásky a klipy pro trasování hadic. Zde je také nutné upravit montážní technologii pro dosažení lepších výsledků montáže.

Nutností bude také vytvoření nových montážních přípravků. V současném stavu se liší montážní přípravky pro stroje o hmotnost 1-3 tun od přípravků pro stroje v hmotnostní kategorii 3-6 tuny.

Z rozdělení práce podle stanovišť plynou také přesné hodnoty minimálního a maximálního utahovacího momentu pro každé stanoviště. Pro stanoviště jedna (předmontáž hydraulických ventilů) je utahovací moment v rozsahu od 11 do 160 Nm, pro stanoviště dva (montáž hydraulických šroubení) se utahovací moment pohybuje v rozmezí 11 až 133 Nm a na stanici tři je utahovací moment o velikosti 11 až 82 Nm. Tato rozmezí utahovacích momentů se použijí pro finální výběr utahovacího nářadí pro jednotlivé stanice.

Pro výběr vhodné technologie je také důležité znát procentuální zastoupení jednotlivých velikostí utahovacího momentu na montážní lince hydraulických rozvaděčů.

V následující tabulce je uveden přehled zastoupení jednotlivých spojů při současném podílu různých strojů ve výrobě

Tabulka 20 - Procentuální zastoupení velikostí utahovacího momentu

Nominální utahovací moment [Nm]	Minimální utahovací moment [Nm]	Maximální utahovací moment [Nm]	Velikost tolerančního pole [Nm]	Procentuální zastoupení momentu [%]
11	10,5	11,5	1	0,80
18	17,5	18,5	1	33,40
23	22	24	2	0,07
30	28	32	4	38,14
55	53	57	4	23,85
82	78	86	8	2,29
114	108	120	12	0,93
133	126,5	139,5	13	0,18
160	156,5	163,5	7	0,32

Z tabulky vyplývá, že nejvíce zastoupené hodnoty utahovacího momentu dle počtu spojů jsou utahovací momenty o velikosti 18, 30 a 55 Nm. Tyto tři hodnoty utahovacího momentu pokryjí více než 95 % všech šroubových hydraulických spojů na sestavě hydraulických rozvaděčů všech typů. Tyto tři hodnoty utahovacího momentu jsou tedy klíčové.

6.2.1 Varianta 1

První varianta spočívá v použití klíčů od firmy Crane Electronics Ltd. Pro stanoviště jedna a dva se využijí dva momentové klíče (maximální hodnota utahovacího momentu 120 a 180 Nm) a pro stanoviště tři se použije pouze jeden klíč s maximálním utahovacím momentem 120 Nm. Klíč s maximálním utahovacím momentem 120 Nm se použije pro nominální hodnoty momentu od 11 do 114 Nm a pro zbylé dva nominální momenty se použije druhý klíč. V následující tabulce jsou porovnány hodnoty koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro jednotlivé hodnoty utahovacího momentu.

Tabulka 21 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 1

Nominální utahovací moment [Nm]	Maximální hodnota utahovacího momentu použitého klíče [Nm]	Přesnost klíče [Nm]	Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]
11	120	0,6	0,28
18	120	0,6	0,28
23	120	0,6	0,56
30	120	0,6	1,11
55	120	0,6	1,11
82	120	0,6	2,22
114	120	0,6	3,33
133	180	0,9	2,4
160	180	0,9	1,3

Z porovnání je jasně patrné, že pro nižší hodnoty utahovacího momentu (11, 18 a 23 Nm) nezaručuje toto řešení požadovaný stav způsobilosti o hodnotě $C_{pk} = 1$. Tyto problematické hodnoty jsou v tabulce vyznačeny červenou barvou. Naopak pro hodnoty utahovacího momentu v rozmezí od 82 do 133 Nm je tímto řešením dosaženo nevyšší úrovně přesnosti dle six sigma. Celkově ale toto řešení nedosahuje minimální požadované kvality pro všechny spoje.

6.2.2 Varianta 2

Druhá varianta výběru montážní technologie vychází z první a pokouší se vyřešit problém s nedostatečnou přesností klíčů pro utahovací momenty v rozmezí 11 až 23 Nm. Pro tyto nižší hodnoty utahovacího momentu se použije klíč s maximálním možným utahovacím momentem o hodnotě 25 Nm. Na stanovišti jedna a dva tedy budou tři klíče (maximální možné utahovací momenty 25, 120 a 180 Nm) a na stanovišti tři se použijí dva klíče (maximální možné utahovací momenty 25, 120 a 180 Nm). V následující tabulce jsou porovnány hodnoty koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro jednotlivé hodnoty utahovacího momentu pro variantu montážní technologie 2.

Tabulka 22 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 2

Nominální utahovací moment [Nm]	Maximální hodnota utahovacího momentu použitého klíče [Nm]	Přesnost klíče [Nm]	Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]
11	25	0,125	1,33
18	25	0,125	1,33
23	25	0,125	2,67
30	120	0,6	1,11
55	120	0,6	1,11
82	120	0,6	2,22
114	120	0,6	3,33
133	180	0,9	2,4
160	180	0,9	1,3

V rámci varianty 2 je v případě všech hodnot nominálního utahovacího momentu dosaženo požadované kvality $C_{pk}=1$. Pro 4 z 9 hodnot utahovacího momentu je dokonce dosaženo úrovně kvality six sigma. Tato varianta splňuje požadavky pro optimalizaci.

6.2.3 Varianta 3

Třetí varianta počítá s použitím akumulátorového utahovacího systému EABC od firmy Desoutter Tools pro přímá hydraulická šroubení na montážním stanovišti 2 v kombinaci s digitálním momentovým klíčem Delta Wrench od stejné společnosti pro hadice, trubičky a rozvětvená hydraulická šroubení. V následující tabulce je porovnání koeficientu využití způsobilosti pro akumulátorový utahovací systém. Tento systém má maximální rozsah utahovacího momentu do 95 Nm, je schopný tedy dotáhnout maximální nominální moment 82 Nm. Celkově se jedná o použití dvou akumulátorových utahovacích systémů na stanovišti 2 (rozmezí momentů 5-26 Nm a 19-95 Nm).

Tabulka 23 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 3

Nominální utahovací moment [Nm]	Rozmezí momentů utahovacího systému EABC [Nm]	Přesnost klíče [Nm]	Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]
11	5-26	0,44	0,38
18	5-26	0,72	0,23
23	5-26	0,92	0,36
30	19-95	1,2	0,56
55	19-95	2,2	0,30
82	19-95	3,28	0,41

Z tabulky jasně vyplývá, že ani v jednom případě nedokáže tato varianta dosáhnout požadované hodnoty koeficientu využití způsobilosti, nesplňuje tedy základní podmínku a nelze ji použít.

6.2.4 Varianta 4

Poslední zvažovaná varianta zahrnuje použití digitálních momentových klíčů Delta Wrench od společnosti Desoutter Tools. Na prvním stanovišti, kde je utahovací moment v rozmezí od 11 do 160 Nm, je nutné použít dva klíče, a to v rozsahu 3 až 30 Nm a 20 až 200 Nm. Pro druhé a třetí stanoviště se shodně použijí dva klíče (3-30 Nm a 15-150 Nm). U tohoto typu klíče nezáleží na maximálním možném utahovacím momentu klíče, ale vždy pouze na aktuální hodnotě utahovacího momentu. Nezáleží tedy, zda se pro nominální utahovací moment o velikosti 18 Nm použije klíč s rozsahem 3-30 Nm nebo 15-150 Nm. Přesnost utažení bude vždy stejná, a to $\pm 1\%$ z aktuální hodnoty. Přesnosti této varianty, včetně součinitele využití způsobilosti pro jednotlivé nominální hodnoty utahovacího momentu, jsou uvedené v následující tabulce.

Tabulka 24 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 4

Nominální utahovací moment [Nm]	Přesnost klíče [Nm]	Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]
11	0,22	0,76
18	0,36	0,46
23	0,46	0,72
30	0,6	1,11
55	1,1	0,61
82	1,64	0,81
114	2,28	0,88
133	2,66	0,81
160	3,2	0,36

Hodnota koeficientu využití způsobilosti je nad požadovanou hodnotou $C_{pk} = 1$ pouze v jednom případě (nominální moment 30 Nm), který je v tabulce vyznačen červenou barvou. Z důvodu nedostatečné způsobilosti toto řešení nelze použít.

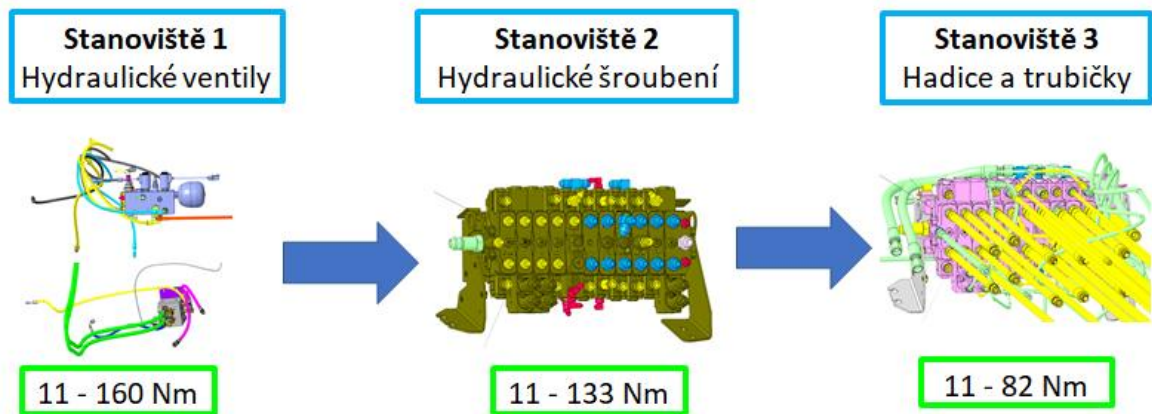
6.3 Výběr montážní technologie a rozložení pracoviště

V přechozí kapitole byly navrženy celkem 4 varianty montážní technologie pro dosažení požadované kvality (koeficient využití způsobilosti C_{pk} o minimální hodnotě 1). V následující tabulce je uveden přehled a výběr finální varianty.

Tabulka 25 - Výběr finální varianty použité technologie utahování šroubových hydraulických spojů

Číslo varianty	Minimální hodnota koeficientu využití způsobilosti C_{pk} [-]	Zhodnocení navrhnutého řešení
1	0,28	Nevyhovuje
2	1,11	Vyhovuje
2	0,23	Nevyhovuje
3	0,36	Nevyhovuje

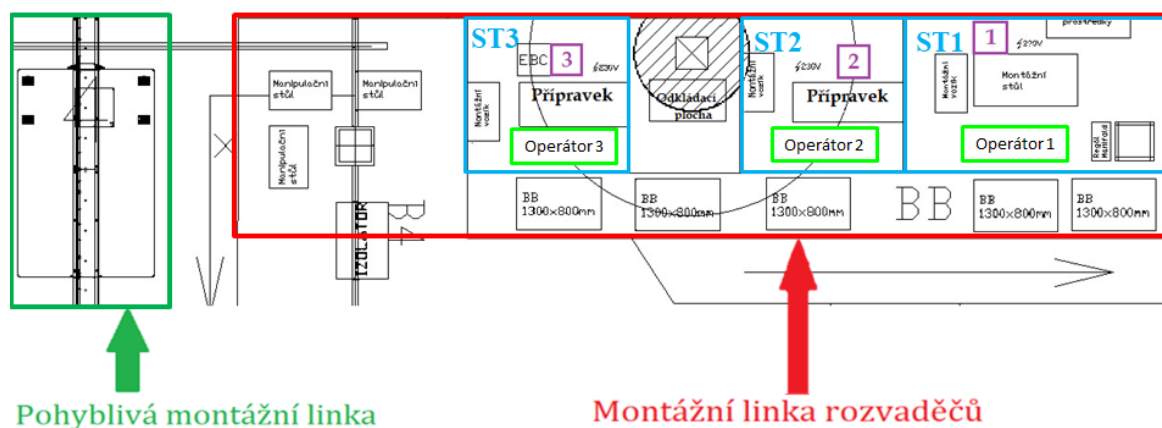
Tento požadavek splnil pouze jeden návrh, a to varianta číslo 2 (zeleně vyznačená v tabulce), která se tedy použije pro optimalizaci. Na následujícím obrázku je schéma rozdělení montážních činností po jednotlivých pracovištích a také rozsahy utahovacího momentu pro každé pracoviště.



Obrázek 71 - Navrhnutá koncepce optimalizovaného způsobu montáže

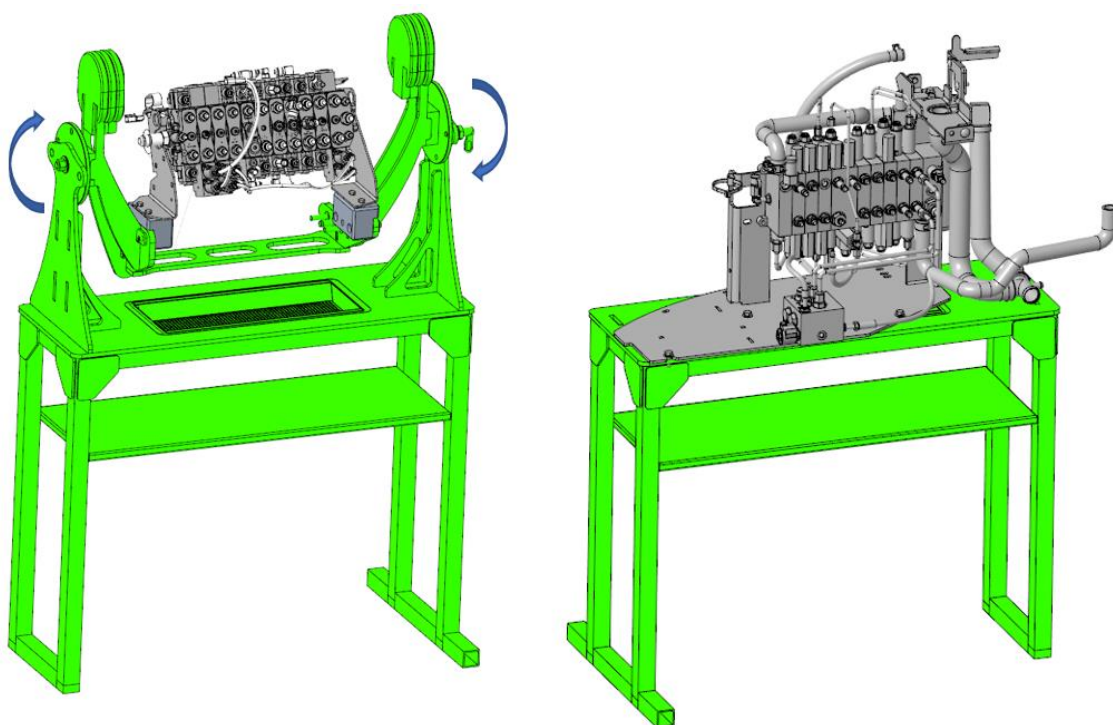
Největším rozdílem v uspořádání montážní linky hydraulických rozvaděčů je rozdělení původního druhého montážního stanoviště na dvě. Na původním druhém pracovišti pracovali současně dva operátoři na jedné sestavě. V navrženém způsobu montáže se na druhém stanovišti namontují na sestavu rozvaděče všechna hydraulická šroubení a na třetím stanovišti bude pokračovat montáž hadic, trubiček a systému pro trasování hadic.

Dalším optimalizačním opatřením je změna montážní technologie pro utahování hydraulických šroubových spojů na požadovaný utahovací moment. Byly vybrány digitální momentové klíče od firmy Crane Electronics Ltd. Tato technologie se v současném montážním procesu používá pro maximálně 10 hydraulických šroubových spojů pro kompaktní rypadla v hmotnostní kategorii 1-2 tuny (46 % plánovaných vyrobených strojů). Tato technologie se v návrhu pracoviště použije pro veškeré hydraulické spoje pro všechny typy hydraulický rozvaděčů. Na následujícím obrázku je zobrazena navrhovaná prostorová dispozice montážní linky hydraulických rozvaděčů. Pomocí fialových čtverců jsou označeny pozice nově navržených utahovacích stanic. Modrým rámečkem jsou ohraničena jednotlivá montážní stanoviště. Červenou barvou je označena montážní linka hydraulických rozvaděčů a pomocí zelené barvy je vyznačena pohyblivá montážní linka.



Obrázek 72 - Navrhované prostorové uspořádání montážní linky rozvaděčů

Z obrázku 73 vyplývají i méně patrné změny. Na stanovišti 1 a 3 vzniknou nové přípojky elektriny a internetového připojení. Mezi stanovištěm 2 a 3 vznikne odkládací pozice na rozpracovanou výrobu mezi těmito pracovišti. Na původním stanovišti 2 se nacházela odkládací plocha pro mechanické momentové klíče, v novém návrhu již není potřeba a byla odstraněna. Na montážních stanovištích 2 a 3 vzniknou nové montážní přípravky. Tyto přípravky budou univerzální pro všechny typy rozvaděčů. Konstrukčně bude vycházet ze současného přípravku pro kompaktní rypadla o hmotnosti 1-3 tun, ale systém upnutí samotného rozvaděče bude možné odebrat, aby tento přípravek mohl být použit i jako montážní stůl pro hydraulické rozvaděče strojů v hmotnostní kategorii 3-6 tuny. Na následujícím obrázku je koncepční návrh montážního přípravku pro hydraulické rozvaděče.



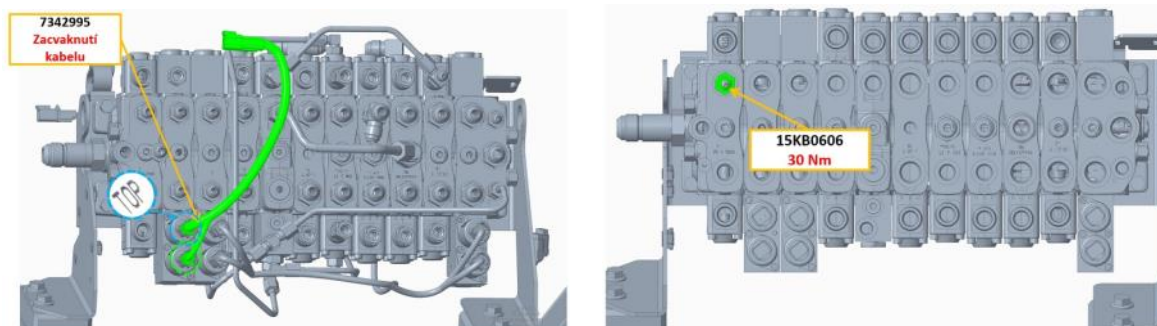
Obrázek 73 - Konceptní návrh montážního přípravku pro hydraulické rozvaděče

Další výraznou změnou je samotná změna montážní technologie pro utahování hydraulických šroubových spojů. Zvolená technologie je popsána v podkapitole číslo 6.2.2, včetně volby klíčů pro jednotlivá stanoviště. Pro každé montážní stanoviště vznikne jedna utahovací stanice. Na následujícím obrázku je popis klíčových komponent utahovací stanice.



Obrázek 74 - Schéma a popis klíčových komponent utahovací stanice

Proces utahování šroubových hydraulických spojů pomocí zvolené konfigurace utahovací stanice je následovný. Před montáží se operátor přihlásí pomocí své přístupové karty a pomocí čtečky čárových kódů vybere požadovanou sestavu. Na dotykovém panelu se ukazují jednotlivé kroky pracovního postupu.



Obrázek 75 - Ukázka dvou kroků pracovního postupu na dotykovém panelu

Na další krok lze přejít buď stisknutím tlačítka na dotykovém panelu (v případě kroků montáže bez utahovacího momentu), nebo automaticky po dosažení utahovacího momentu v požadovaném rozmezí. Pro každý krok pracovního postupu je předem naprogramována velikost utahovacího momentu, použitý digitální momentový klíč a také použitá koncovka. Koncovky klíče obsahují identifikační čip, takže pro zadaný krok pracovního postupu lze použít jen pro to určená koncovka. Na další krok pracovního postupu lze přejít (v případě spojů utahovaných digitálním momentovým klíčem) pouze dosažením požadovaného utahovacího momentu. Maják na pracovišti značí stav právě utahovaného spoje. Zelená barva značí správně utažený spoj, červená naopak špatně utažený spoj (utahovací moment byl moc vysoký, spoj se musí povolit a znova utáhnout). Oranžovou barvou se značí, že klíč obdržel signál a je připraven na utažení spoje. Po úspěšném dokončení všech kroků pracovního postupu vytiskne tiskárna štítek s čárovým kódem. Zároveň se vygeneruje protokol o montáži, kde je zaznamenaný detail o správném či nesprávném utažení každého spoje pro konkrétní sestavu hydraulického rozvaděče.

Celý proces montáže na novém utahovacím pracovišti je vyznačen na následujícím obrázku.



Obrázek 76 - Popis montážního procesu na navržené utahovací stanici

V kapitole 6 s názvem návrh optimalizačních řešení byl v úvodu představen seznam důvodů pro optimalizaci. Poté byla v rámci optimalizačního procesu podrobně rozebrána vybraná sestava hydraulického rozvaděče pro kompaktní pásové rypadlo hmotnostní kategorie od 2 do 3 tun. V průběhu optimalizačního procesu se definovaly kritické parametry, především velikost utahovacího momentu. V rámci optimalizačního procesu proběhla klasifikace dílů podle vrstev v sestavě. Na základě klasifikace dle vrstev se určily zásady pro montáž všech hydraulických rozvaděčů. Pro vybranou sestavu se vytvořila procesní mapa a podrobná sekvence montáže. Posledním krokem optimalizačního procesu byl výběr vhodné montážní technologie. Zvolily se digitální momentové klíče StarMulti Wrench od společnosti Crane Electronics Ltd, a to konkrétně klíče s maximální hodnotou

utahovacího momentu 25, 120 a 180 Nm pro stanoviště 1, v případě stanoviště dva se vybraly stejné momentové klíče. Pro stanoviště tři se zvolily dva digitální momentové klíče s maximální hodnotou utahovacího momentu 25 a 120 Nm. V závěru této kapitoly bylo představeno nové prostorové rozložení montážní linky hydraulických rozvaděčů a také proces montáže na nových utahovacích stanovištích.

7 Technicko-ekonomické zhodnocení návrhů

V následující kapitole bude uveden souhrn technických vylepšení návrhu optimalizované montážní linky hydraulických rozvaděčů. Ze čtyř navržených montážních technologií splňuje předem stanovené požadavky na způsobilost procesu utahování hydraulických šroubových spojů (pro všechny hodnoty nominálního momentu) pouze jedna varianta. Z tohoto důvodu se technicko-ekonomické zhodnocení zaměří jen na tuto zvolenou optimalizační variantu.

První část této kapitoly se zaměří především zhodnocení vytyčených cílů optimalizace, především na zvýšení kvality utažení hydraulických šroubových spojů. Druhá část se zabývá vyčíslením nákladů na provedení samotné optimalizace a kalkulace úspor získaných provedenou optimalizací. Vzájemným porovnáním těchto dvou údajů se získá časová návratnost investice nutné pro navrženou optimalizaci montážní linky hydraulických rozvaděčů.

7.1 Technické zhodnocení návrhu optimalizace

Tato podkapitola se zaměří především na zhodnocení navržené optimalizace montážní linky a splnění předem vytyčených důvodů pro optimalizaci montážního proces. Seznam důvodů pro optimalizaci je na obrázku číslo 51.

Hlavním cílem optimalizace je zvýšení kvality utažení šroubových hydraulických spojů. Z proběhlé studie utahování vyplývá, že současná technologie utahování pomocí mechanických momentových klíčů má pro jeden vybraný utahovací moment koeficient využití způsobilosti C_{pk} o velikosti 0,2 a tento proces tvoří 73 % spojů mimo toleranční pole utahovacího momentu (viz. Tabulka 12). Současným montážním procesem tedy vzniká zhruba 730 000 spojů mimo určené toleranční pole z milionu možných spojů. V rámci metody six sigma proběhla kalkulace spojů mimo toleranční pole utahovacího momentu na základě způsobilosti procesu. V následující tabulce je uveden detailní výpočet spojů mimo toleranční pole pro zvolenou montážní technologii.

Tabulka 26 - Přehled zvolené montážní technologie

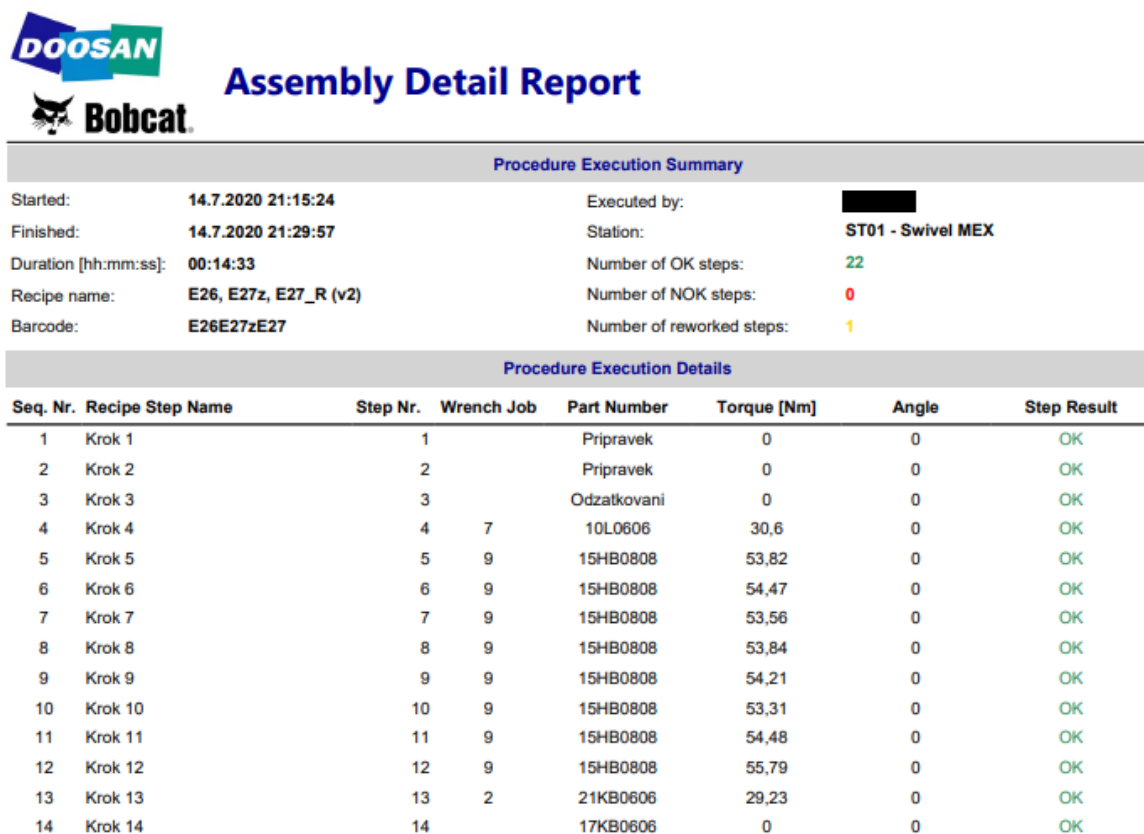
Nominální utahovací moment [Nm]	Šíře tolerančního pole [Nm]	Zastoupení momentu [%]	Přesnost klíče [Nm]	Koeficient využití způsobilosti C_{pk} [-]	Počet spojů mimo toleranci na milion
11	1	0,80	0,125	1,33	63
18	1	33,40	0,125	1,33	63
23	2	0,07	0,125	2,67	0,002
30	4	38,14	0,6	1,11	2700
55	4	23,85	0,6	1,11	2700
82	8	2,29	0,6	2,22	0,002
114	12	0,93	0,6	3,33	0,002
133	13	0,18	0,9	2,4	0,002
160	7	0,32	0,9	1,3	2700

Zvolená montážní technologie má hodnotu využití koeficientu využití způsobilosti C_{pk} v rozmezí od 1,11 do 3,33. S přihlédnutím na procentuální zastoupení jednotlivých nominálních momentů poskytuje zvolená technologie utahování hydraulických šroubových spojů váženou průměrnou hodnotu koeficientu využití způsobilosti C_{pk} o hodnotě 1,24. Při použití zvolené montážní technologie lze očekávat přibližně 1700 spojů z milionu mimo toleranční pole. V porovnání se současně využívanou technologií manuálních momentových klíčů se jedná o pokles spojů mimo toleranční pole utahovacího momentu o 99,8 %.

Se zlepšením kvality utažení šroubových hydraulických spojů souvisí druhý cíl optimalizace, a to snížení počtu zákaznických reklamací kvůli únikům oleje, způsobených špatným dotažením těchto spojů. Pokud se zavedením nové montážní technologie sníží počet spojů mimo definované toleranční pole o 99,8 %, lze také čekat snížení počtu zákaznických reklamací o stejné procento.

Dalším cílem optimalizace je chybějící potvrzení o správném utažení spoje. V současném stavu výroby se tento problém částečně řeší barevným značením utahovaných spojů pomocí fixu. Nejdříve se spoj dotáhne pomocí ruky a barevně se označí

čárou přes obě spojované součásti. Poté se spoj utáhne manuálním mechanickým klíčem a spoj se znovu označí jinou barvou fixu. Při zavedení nového systému montážní technologie existuje o každém spoji záznam. Na následujícím obrázku je ukázka protokolu o montáži pro jednu z existujících utahovacích stanic na jiném pracovišti.



DOOSAN
Bobcat

Assembly Detail Report

Procedure Execution Summary

Started:	14.7.2020 21:15:24	Executed by:	██████████
Finished:	14.7.2020 21:29:57	Station:	ST01 - Swivel MEX
Duration [hh:mm:ss]:	00:14:33	Number of OK steps:	22
Recipe name:	E26, E27z, E27_R (v2)	Number of NOK steps:	0
Barcode:	E26E27zE27	Number of reworked steps:	1

Procedure Execution Details

Seq. Nr.	Recipe Step Name	Step Nr.	Wrench Job	Part Number	Torque [Nm]	Angle	Step Result
1	Krok 1	1		Pripravek	0	0	OK
2	Krok 2	2		Pripravek	0	0	OK
3	Krok 3	3		Odzatkovani	0	0	OK
4	Krok 4	4	7	10L0606	30,6	0	OK
5	Krok 5	5	9	15HB0808	53,82	0	OK
6	Krok 6	6	9	15HB0808	54,47	0	OK
7	Krok 7	7	9	15HB0808	53,56	0	OK
8	Krok 8	8	9	15HB0808	53,84	0	OK
9	Krok 9	9	9	15HB0808	54,21	0	OK
10	Krok 10	10	9	15HB0808	53,31	0	OK
11	Krok 11	11	9	15HB0808	54,48	0	OK
12	Krok 12	12	9	15HB0808	55,79	0	OK
13	Krok 13	13	2	21KB0606	29,23	0	OK
14	Krok 14	14		17KB0606	0	0	OK

Obrázek 77 - Ukázka protokolu o montáži

Při použití navrhované montážní technologie existuje potvrzení o utažení každého spoje a protokol o montáži tedy může nahradit, a hlavně vylepšit existující způsob potvrzení utažených spojů pomocí barevných fixů.

Cílem optimalizace je také vyšší snaha o vyšší úroveň pracovních postupů. V současné době jsou pracovní postupy v papírové podobě na každém pracovišti. V případě určité méně obvyklé konfigurace stroje může nastat situace, že si operátor přesně nepamatuje pracovní postup a může udělat chybu. Vyšší úrovni pracovních postupů může být například navrhované použití dotykového panelu, na kterém je znázorněný každý krok montáže.



Obrázek 78 - Ukázka pracovního postupu na dotykovém panelu

Pokud budou mít operátoři pracovní postup stále před očima, mohou se vždy ujistit o správnosti pracovního postupu a tím se sníží počet potenciálních chyb v procesu montáže.

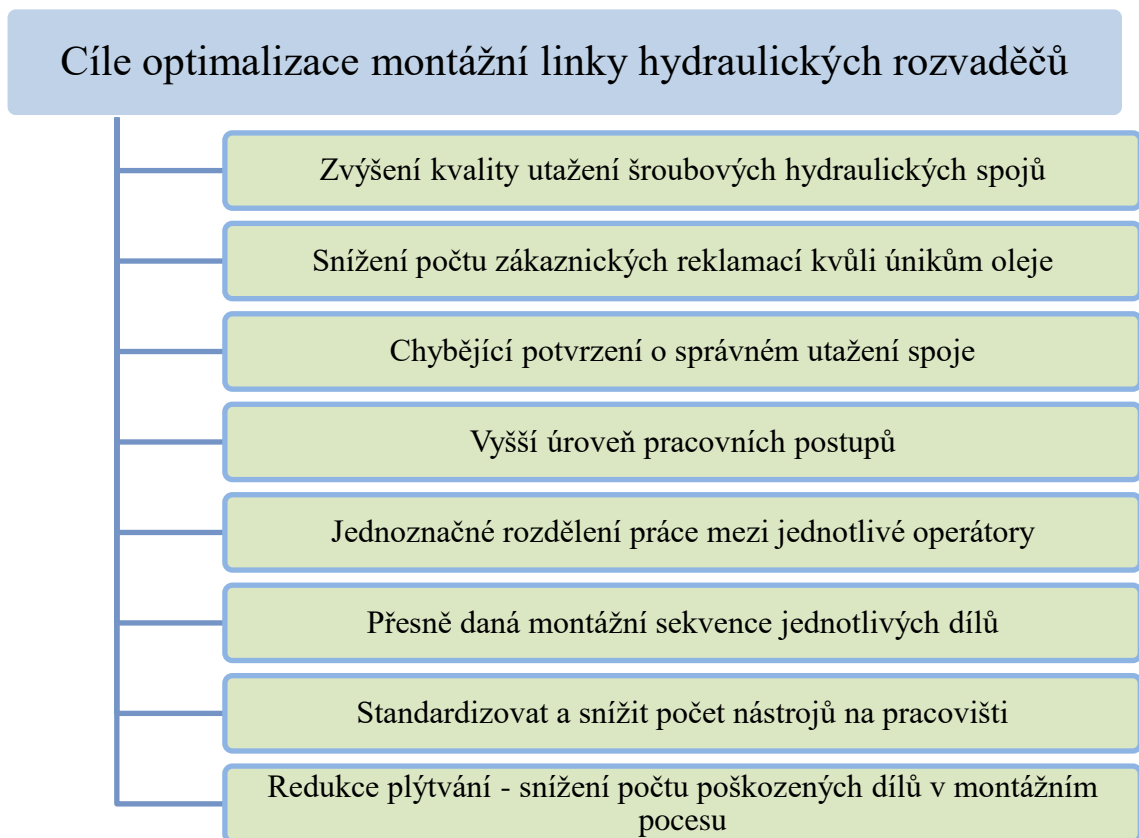
Jedním z nedostatků aktuálního procesu montáže je rozdělení práce mezi jednotlivé operátory na stanovišti dva, kde pracují dva operátoři současně. V pracovních návodech je sice podrobně rozdělena práce, ale v případě nedostatku času si stále mohou operativně jednotlivé části procesu montáže vzájemně předávat a můžou vznikat zbytečné chyby. V případě rozdělení druhého montážního stanoviště na dvě (každé s jedním operátorem) vznikne jednoznačný systém rozdělení práce podle zmiňovaných pravidel pro tvorbu montážní sekvence a dělení práce jinak, než podle pracovního postupu nebude možné.

S předcházejícím problémem souvisí montážní sekvence jednotlivých dílů. Současné papírové pracovní postupy často obsahují montáž více dílů v rámci jednoho kroku montáže, bez upřesnění montážní sekvence. Při použití navrhovaného řešení jsou pracovní postupy jednoznačně definované krok za krokem.

Jedním z cílů optimalizace je také snaha o standardizaci a snížení počtu nástrojů na pracovišti. V současném řešení se na montážní lince hydraulických rozvaděčů nachází na dvou stanovištích celkem 36 manuálních mechanických momentových klíčů. Navrhovaný stav tento počet snižuje na 8 digitálních momentových klíčů s výměnnými koncovkami. Celkově se jedná o snížení počtu klíčů o 28 kusů. Tím dojde k standardizaci nástrojů na celé montážní lince hydraulických rozvaděčů.

Posledním cílem optimalizace je snaha o omezení plýtvání, a to snížením počtu poškozených dílů během montážního procesu. Toto poškození vzniká především při překročení maximálního utahovacího momentu. Následkem vyššího utahovacího momentu dochází k plastické deformaci na závitech a k jejich znehodnocení. Navrhovaný digitální momentový klíč překročení cílového utahovacího momentu indikuje pomocí vibrací a červeného světla na klíči. Překročení maximálního utahovacího momentu je tedy jasně indikované a nehrozí, že by si toho operátor nevšiml a může tedy utahování zastavit ještě před nevratným poškozením dílů.

Na následujícím obrázku jsou znova vypsané předem vytyčené cíle a důvody pro proběhlou optimalizaci. Zelenou barvou jsou vyznačené dosažené cíle optimalizace.



Obrázek 79 - Zhodnocení navrženého optimalizačního řešení

Jak plyne z předcházejícího obrázku, tak všechny cíle optimalizace byly více, či méně splněny.

V rámci této podkapitoly bylo zhodnoceno navrhované optimalizační řešení montážní linky hydraulických rozvaděčů. Tato část se zaměřila především na předem

stanovené cíle optimalizace a jejich zlepšení v nově navrženém uspořádání linky a použité technologii. Největším přínosem optimalizace je použití nové montážní technologie, která je schopná snížit současný počet hydraulických šroubových spojů utažených mimo toleranční pole nominálního momentu o 99,8 %.

7.2 Ekonomické zhodnocení návrhu

Tato část práce se zaměřuje na ekonomické zhodnocení vybrané optimalizační varianty pro montážní linku hydraulických rozvaděčů. V této podkapitole jsou vyčíslené náklady na provedenou optimalizaci a poté jsou uvedeny potencionální úspory zvoleného optimalizačního řešení. Z těchto dvou údajů se následně vypočítá doba návratnosti investice.

7.2.1 Zhodnocení nákladů na optimalizaci

Nejvyšší položkou v nákladech na optimalizaci jsou tři nové montážní stanice. V současném výrobním procesu již existuje jedna utahovací stanice na podobném principu (viz. Obrázek 50). Některé části této utahovací stanice (digitální momentový klíč, řídicí jednotka, průmyslový dotykový panel a čtečka čárových kódů) lze tedy použít z této stanice a nemusí se znovu nakupovat. Náklady na pořízení vybavení utahovacích stanic jsou rozepsány v následující tabulce. Všechny uvedené ceny jsou v českých korunách.

Tabulka 27 - Předpokládané náklady na pořízení vybavení utahovacích stanic

Popis	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]
Řídící jednotka	41 000	2	82 000
Digitální momentový klíč 25 Nm	61 000	3	183 000
Digitální momentový klíč 120 Nm	69 000	2	138 000
Digitální momentový klíč 180 Nm	77 000	2	154 000
Ovládací software	125 000	3	375 000
Rozvodná skříň, počítač	60 000	3	180 000
Čtečka přístupových karet	5 000	3	15 000
Tiskárna štítků	16 000	3	48 000
Čtečka čárových kódů	16 000	2	32 000
Průmyslový dotykový panel	65000	2	130 000
Sada otevřených koncovek klíčů	182 000	1	18 2000
Sada ráčnových koncovek klíčů	78 000	1	78 000
Celkové předpokládané náklady			1 597 000

Celkové předpokládané náklady pro pořízení potřebného vybavení montážních stanic činí celkově 1 597 000 Kč. Všechny ceny vychází z aktuálních cen zboží od dodavatele. K těmto nákladům se ještě musí připočítat náklady na úpravu montážní linky hydraulických rozvaděčů a tvorbu nových pracovních postupů. Tyto náklady jsou vyčísleny v následující tabulce.

Tabulka 28 - Předpokládané náklady na úpravu montážní linky dle optimalizačního návrhu

Popis	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]
Nové montážní přípravky	65 000	2	130 000
Sloupek utahovací stanice	7 000	3	21 000
Náklady na instalaci stanice	13 000	3	39 000
Zřízení přípojky elektřiny a internetu	7 000	2	14 000
Příprava pracovních postupů	30 000	3	90 000
Celkové předpokládané náklady			294 000

Předpokládané náklady na úpravu montážní linky a tvorbu nových pracovních postupů jsou ve výši 294 000 Kč. Celkové předpokládané náklady na optimalizaci dle zvoleného návrhu se skládají ze součtu nákladů na pořízení vybavení utahovacích stanic a nákladů na úpravu montážní linky. Souhrn celkových nákladů je uveden v následující tabulce.

Tabulka 29 - Součet celkových předpokládaných nákladů na optimalizaci

Popis předpokládaných nákladů	Celková cena [Kč]
Předpokládané náklady na pořízení vybavení utahovacích stanic	1 597 000
Předpokládané náklady na úpravu montážní linky	294 000
Celkové předpokládané náklady na optimalizaci	1 891 000

V této části práce jsou vyčísleny celkové finanční náklady na navrženou optimalizaci montážní linky, a to konkrétně na 1 891 000 Kč. Všechny tyto náklady jsou pouze předpokládané na základně aktuálních cen požadovaného vybavení a předchozích nákladů na úpravu montážní linky pro podobné aplikace na jiných montážních stanovištích v rámci výrobního závodu společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

7.2.2 Zhodnocení potencionálních úspor získaných optimalizací

V této části práce jsou vyčísleny potencionální úspory, získané navrženou optimalizací montážní linky hydraulických rozvaděčů. Jak již bylo v této práci zmíněno dříve, nejčastějším důvodem zákaznických reklamací jsou problémy s úniky hydraulického

oleje, které jsou způsobeny špatným dotáhnutím hydraulických šroubových spojů. Samotná optimalizace montážního procesu na lince hydraulických rozvaděčů ještě neproběhla, a proto jsou všechny údaje v této podkapitole jen přibližné. Vycházejí však z reálných dat o problémech ve výrobním procesu a zkušeností po aplikování obdobné technologie pro utahování šroubových hydraulických spojů na jiných pracovištích.

Potencionální úspory jsou vyčíslené celkem v 5 kategoriích, a to konkrétně v následujících:

- Úspora za zákaznické reklamace
- Úspora za opravu šroubových hydraulických spojů v rámci výrobního procesu
- Úspora za zničené díly v průběhu montážního procesu
- Úspora času při absenci procesu značení spojů pomocí fixů
- Úspora nákladů na pořízení fixů pro značení spojů

Všechny úspory budou kalkulovány pro maximální roční kapacitu montážní linky pásových kompaktních rypadel pro rok 2021. V tomto roce bude celkem 252 pracovních dnů. Maximální výrobní kapacita linky za směnu je 23 strojů, montážní linka funguje na dvousměnný provoz. Montážní linka funguje každý pracovní den, kromě dvoutýdenní letní a týdenní zimní odstávky výroby. Maximální roční kapacita montážní linky kompaktních pásových rypadel (při plánovaných podmínkách) je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 30 - Maximální roční výrobní kapacita celé montážní linky

Údaj	Hodnota
Počet pracovních dnů v roce 2021	252 dnů
Maximální výrobní kapacita linky za směnu	23 strojů
Počet pracovních směn na den	2 směny
Počet výrobních dnů v roce 2021	237 dnů
Maximální roční výrobní kapacita linky	10 902 strojů

Maximální roční kapacita montážní linky kompaktních pásových rypadel je tedy 10 902. V ideálním případě se tato výrobní kapacita dodrží, proto se pro všechny další výpočty použije tato hodnota plánovaného ročního objemu výroby.

První kategorií pro vyčíslení potencionálních úspor je úspora za zákaznické reklamace. Pro tyto potřeby se musela použít starší data o nákladech na reklamaci strojů, které už nejsou v záruční lhůtě. V průběhu montáže těchto strojů se použila současná montážní technologie, takže lze očekávat stále stejný podíl zákaznických reklamací. Za sledované období se vyrobilo celkem 4 759 kompaktních pásových rypadel a celkové náklady na opravy úniků oleje, které byly způsobené špatným utažením hydraulických šroubových spojů na sestavě hydraulického rozvaděče, byly vyčísleny celkově na 720 833 Kč. Hodnota celkových nákladů na zákaznické reklamace bude pravděpodobně vyšší. Data pro vyčíslení nákladů na reklamace jsou pravděpodobně neúplné, a z tohoto důvodu lze vyčíslenou hodnotu úspor považovat za minimální možnou. Skutečná hodnota úspor bude pravděpodobně vyšší. Tyto šroubové hydraulické spoje byly utaženy na špatnou hodnotu utahovacího momentu. Při použití navrženého optimalizačního řešení lze očekávat snížení počtu špatně utažených spojů o 99,8 % a s tím spojené snížení nákladů zákaznických reklamací také o 99,8 %. Výpočet potencionálních úspor je uveden v následující tabulce.

Tabulka 31 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na reklamace strojů

Údaj	Hodnota
Objem výroby za sledované období	4 759 strojů
Náklady na zákaznické reklamace za sledované období	720 833 Kč
Průměrné náklady na zákaznické reklamace pro jeden stroj	151,47 Kč
Plánovaný objem výroby pro rok 2021	10 902 strojů
Předpokládané náklady na zákaznické reklamace pro rok 2021	1 651 297 Kč
Procentuální snížení počtu špatně utažených spojů	99,8 %
Potencionální roční úspory použití optimalizačního návrhu	1 647 994 Kč

Při zlepšení montážní technologie o 99,8 % lze očekávat celkové snížení průměrných nákladů zákaznických reklamací (přepočteno pro 1 stroj) ročně o 1 647 994 Kč.

Druhou oblastí potencionálních úspor je úspora za opravu šroubových hydraulických spojů v rámci výrobního procesu, tedy za odhalené úniky hydraulického oleje v rámci výrobního podniku Doosan Bobcat EMEA s.r.o. Za období sledování úniků se vyrobilo celkem 8 525 strojů a přímé náklady na opravu špatně utažených

hydraulických šroubových spojů činily 4 083 Kč. Výpočet potencionálních úspor získaných optimalizačním opatřením je uveden v následující tabulce.

Tabulka - 32 Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na opravy strojů

Údaj	Hodnota
Objem výroby za sledované období	8 525 strojů
Náklady na opravy za sledované období	4 083 Kč
Průměrné náklady na opravu pro jeden stroj	0,48 Kč
Plánovaný objem výroby pro rok 2021	10 902 strojů
Předpokládané náklady na opravy pro rok 2021	5 221 Kč
Procentuální snížení počtu špatně utažených spojů	99,8 %
Potencionální roční úspory použití optimalizačního návrhu	5 221 Kč

Náklady na opravu špatně utažených spojů odhalených v rámci výrobního procesu tvoří v porovnání se zákaznickými reklamacemi nepatrný zlomek. Při zavedení optimalizačního návrhu lze očekávat roční úspory ve výši 5 221 Kč.

Třetí oblastí potencionální úspory jsou náklady na zničení dílů v procesu montáže, které byla způsobena příliš velkým utahovacím momentem. Návrh optimalizace počítá s použitím digitálního momentového klíče, který upozorní na překročení tolerančního pole cílového utahovacího momentu pomocí vibrací a červeného světla na klíči a na majáku, který je součástí stanoviště. Operátor si tedy zaručeně všimne překročení utahovacího momentu a lze předpokládat snížení nákladů na díly, které by byly zničené působením příliš velkého utahovacího momentu na nulu. V následující tabulce je uvedena kalkulační úspor za zničené díly za sledované období.

Tabulka 33 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na zničené díly

Údaj	Hodnota
Objem výroby za sledované období	8 525 strojů
Náklady na zničené díly za sledované období	45 774 Kč
Průměrné na zničené díly pro jeden stroj	5,37 Kč
Plánovaný objem výroby pro rok 2021	10 902 strojů
Předpokládané náklady za zničené díly pro rok 2021	58 567 Kč
Potencionální roční úspory použití optimalizačního návrhu	58 567 Kč

Při použití navrhnutého optimalizačního řešení lze očekávat potencionální roční úspory za zničené díly o výši 58 567 Kč.

Čtvrtou oblastí potencionálních úspor je úspora času při absenci procesu značení spojů pomocí fixů. Tento typ značení se v současném montážním procesu používá jako potvrzení o utažení spoje. V rámci optimalizačního návrhu se ukládá záznam o utažení každého spoje a tento záznam plně nahrazuje značení pomocí fixů. Každý stroj obsahuje průměrně 114,7 šroubových hydraulických spojů (s přihlédnutím na podíl strojů ve výrobě) a označení každého spoje trvá dle předem stanoveného času pomocí MTM-2 celkově 8,28 sekund (viz. Tabulka 6). Průměrné náklady na práci operátora montáže činí 300 Kč za hodinu. Odstraněním procesu značení šroubových hydraulických spojů se tedy ušetří čas, který lze přepočítat na peníze. Tento přepočet je uvedený v následující tabulce.

Tabulka 34 - Kalkulace potencionálních ročních úspor času pro značení spojů

Údaj	Hodnota
Průměrný počet šroubových hydraulických spojů na stroj	114,7
Čas potřebný pro označení jednoho spoje dle MTM-2	8,28 s
Hodinové náklady na práci operátora montáže	300 Kč
Plánovaný objem výroby pro rok 2021	10 902 strojů
Náklady na operátory montáže pro značení spojů pro 1 stroj	79,1 Kč
Potencionální roční úspory použití optimalizačního návrhu	862 817 Kč

Náklady na operátory výroby pro proces značení šroubových hydraulických spojů činí průměrně 79,1 Kč na jeden stroj. Při ročním objemu výroby 10 902 se jedná o úspory v celkové výši 862 817 Kč.

Pátou a zároveň poslední oblastí potencionálních úspor je snížení nákladů na pořízení fixů pro značení spojů. Důvody pro absenci značení hydraulických šroubových spojů jsou zmíněny v přecházejícím bodě kalkulace potencionálních úspor. Náklady na pořízení fixu pro značení šroubových hydraulických spojů jsou 42 Kč za kus. Jeden fix má životnost přibližně 3 směny, tedy 69 strojů. Na lince jsou celkem 3 operátoři a každý používá dvě barvy fixů. Potencionální roční úspory nákladů na pořízení fixů pro značení hydraulických šroubových spojů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 35 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na fixy pro značení spojů

Údaj	Hodnota
Náklady na jeden fix	42 Kč
Průměrná životnost fixu	69 strojů
Počet fixů na montážní lince hydraulický rozvaděčů	6 ks
Plánovaný objem výroby pro rok 2021	10 902 strojů
Průměrné náklady na fixy pro jeden stroj	3,65 Kč
Potencionální roční úspory použití optimalizačního návrhu	39 816 Kč

Při vynechání procesu značení šroubových hydraulických spojů pomocí fixů dojde k snížení ročních nákladů o 39 816 Kč.

V této podkapitole je kalkulace průměrných ročních úspor pro 5 oblastí úspor. Všechny hodnoty jsou přibližné. Zakládají si na datech s problémy v současném výrobním procesu, které byly impulsem pro samotnou optimalizaci. Souhrn všech dílčích potencionálních úspor a jejich celková velikost je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 36 - Celkový roční potencionální objem úspor optimalizačního řešení

Oblast potencionálních úspor	Roční úspora [Kč]
Úspora za zákaznické reklamace	1 647 994
Úspora za opravu šroubových hydraulických spojů v rámci výrobního procesu	5 221
Úspora za zničené díly v průběhu montážního procesu	45 774
Úspora času při absenci procesu značení spojů pomocí fixů	862 817
Úspora nákladů na pořízení fixů pro značení spojů	39 816
Celková potencionální roční úspora optimalizačního návrhu	2 601 622

V případě aplikování navržené optimalizace montážní linky hydraulických rozvaděčů pro kompaktní pásová rypadla lze očekávat roční úsporu potencionálních nákladů v minimální výši 2 601 622 Kč. Jejich skutečná hodnota bude pravděpodobně vyšší, a to především z důvodu pravděpodobně neúplných dat nákladů na vyřešení zákaznických reklamací.

7.2.3 Doba návratnosti investice

Poslední částí ekonomického zhodnocení návrhu optimalizace je výpočet doby návratnosti investice. V předchozích kapitolách byly vyčísleny náklady na optimalizaci montážní linky hydraulických rozvaděčů a také potencionální úspory, které tento návrh přinese. V následující tabulce jsou tyto dva údaje porovnány a je vypočtena doba návratnosti investice.

Tabulka 37 - Výpočet doby návratnosti investice

Údaj	Hodnota
Náklady na optimalizaci	1 891 000 Kč
Potencionální roční úspora	2 601 622 Kč
Doba návratnosti	0,73 roku
Počet vyrobených strojů pro dosažení navrácení investice	7 925
Průměrné úspory pro jeden stroj	238,6 Kč

Doba návratnosti investice je méně než rok, konkrétně 0,73 roku. Největší položkou v seznamu potencionální roční úspory je snížení nákladů na zákaznické reklamace způsobené špatným utažením hydraulických šroubových spojů. Tato položka byla vyčíslena celkově na 1 647 994 Kč ročně. Při dosažení počtu 7 925 vyrobených sestav hydraulického rozvaděče sestav, kdy dojde k vyrovnání nákladů hydraulického rozvaděče na montážní lince dle vybraného optimalizačního návrhu, lze očekávat úsporu 238,6 Kč za každý vyrobený stroj.

8 Závěr

Diplomová práce s názvem „Optimalizace procesu montáže hydraulického rozvaděče rypadla“ vznikla ve spolupráci s firmou Doosan Bobcat EMEA s.r.o. Cílem práce byl návrh montážní linky hydraulických rozvaděčů, která je součástí výrobní linky kompaktních pásových rypadel. Stavební stroje jsou neodmyslitelně spojené s hydraulickými systémy a jejich častým problémem jsou úniky hydraulického oleje. Bezproblémový chod sestavy hydraulického rozvaděče je pro správné fungování stavebního stroje naprosto zásadní, a proto je snaha o dosažení co nejvyšší kvality finální montáže. Důvodem pro samotnou optimalizaci je tedy především zvýšení kvality hydraulických spojů na naprosto klíčové sestavě, kterou lze přeneseně považovat za srdce celého stavebního stroje.

Tato závěrečná práce vznikla ve spolupráci se společností Doosan Bobcat EMEA s.r.o., která byla v úvodní kapitole krátce představena. Společnost, působící v ČR od roku 2001, se zabývá výrobou kompaktní stavební techniky s objemem výroby okolo dvaceti tisíc strojů ročně. V této kapitole je stručně popsána historie značky a také areál sídlící na Dobříši.

Následující kapitola pojednává o problematice montážních procesů. Montáž je specifickým druhem procesu, a i v provozech typu automotive je většina finální montáže prováděna ručně bez automatizace. Důvody nízkého stupně automatizace montážních procesů byly v této kapitole podrobněji popsány. Velkým milníkem ve výrobních procesech bylo zavedení montážních linek, a proto jsou tu zmíněny společně s jejich dělením dle různých kritérií.

Další kapitola je opět rešeršního charakteru a zabývá se metodami a optimalizací procesů. Každý výrobní podnik musí v rámci konkurenčního boje inovovat a optimalizovat své interní procesy. Poměrně moderním trendem v optimalizaci procesů jsou myšlenky štíhlé výroby. Vybrané metody jsou v této kapitole představeny a je vysvětlen jejich cíl a aplikace. Také je tu představena statistická metoda six sigma, která se později použila pro výběr vhodné technologie. Před každou provedenou optimalizací je důležité co nejpřesněji popsat současný stav, aby bylo možné vyčíslit zlepšení. Čím přesnější jsou vstupní data, tím přesnější a reálnější lze očekávat výsledek samotné optimalizace. Z toho důvodu jsou v druhé části kapitoly představeny metody pro analýzu procesů, a to především z časového hlediska.

Třetí kapitola se zaměřuje na popis současného procesu. Nejdříve je zde popsána montážní linka hydraulických rozvaděčů pro kompaktní pásová rypadla. Tato linka obsahuje pohyblivý pásový dopravník, na kterém probíhá konečná montáž. Celá linka obsahuje celkem 9 stacionárních montážních stanovišť, na kterých probíhá montáž podsestav rypadla (např. motor nebo hydraulický rozvaděč). Po popisu montážní linky následuje popis procesu montáže. Na montážní lince hydraulických rozvaděčů pracují celkem tři operátoři na dvou stanovištích. Pro utahování šroubových hydraulických spojů na požadovaný utahovací moment se používají manuální mechanické klíče, které však nejsou schopné zaručit potřebnou přesnost utažení spojů a vznikají s tím spojené problémy.

V rámci následující kapitoly je provedena vlastní optimalizace montážního procesu, dle interního firemního standardu pro optimalizaci pracovišť. Optimalizace proběhla především z důvodu zvýšení kvality utažení šroubových hydraulických spojů. Na montážní lince se vyrábí více typů hydraulických rozvaděčů, proto byl vybrán jeden konkrétní model, na kterém byla provedena analýza a stanoveny nové zásady montáže a dělení práce. V rámci návrhu pracoviště se rozdělilo druhé stanoviště linky, vznikla tedy montážní linka o třech stanovištích. Posledním krokem optimalizace byl výběr nové technologie pro utahování hydraulických šroubových spojů. Byly navrženy celkem 4 různé varianty této technologie, a na základě rozhodnutí byla vybrána jedna varianta. Tato varianta byla použita pro výsledné optimalizační řešení.

Poslední kapitola zhodnocuje finální návrh a splnění cílů optimalizace. Všechny vytyčené cíle jsou uspokojivě splněny. Náklady na optimalizaci byly vyčísleny na 1 891 000 Kč. Navržené řešení snižuje počet šroubových hydraulických spojů utažených mimo předepsané toleranční pole o 99,8 % na hodnotu 1 700 spojů z milionu. Dále byly stanoveny jednoznačné montážní postupy, které předepisují nemožnost změny sekvence montáže. O každém provedeném spoji existuje nově záznam správnosti utažení. V rámci této kapitoly se také zhodnotily potencionální roční úspory navrženého řešení (při maximální roční kapacitě linky 10 902 strojů) na hodnotu 2 601 622 Kč. Celkové úspory se skládají z pěti kategorií. Jedná se o úspory za zákaznické reklamace, opravu šroubových hydraulických spojů v rámci výrobního procesu, za zničené díly během procesu montáže, časová úspora za odstranění procesu značení šroubových spojů pomocí fixů a úspora nákladů na pořízení fixů. Návratnost této investice je vypočtena na 0,73 roku, nebo 7 925 vyrobených kompaktních pásových rypadel. Navržené optimalizační řešení je v plánu implementovat do výrobního podniku Doosan Bobcat EMEA s.r.o. v průběhu roku 2021.

9 Seznam použité literatury

- [1] Bobcat Story - Bobcat Company. [online]. Copyright ©2020 Bobcat Company. All rights reserved. [cit. 04.03.2020]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/company-info/history/story>
- [2] Homepage | DOOSAN BOBCAT EMEA. Homepage | DOOSAN BOBCAT EMEA [online]. Copyright © DOOSAN BOBCAT EMEA [cit. 04.03.2020]. Dostupné z: <https://www.bobcatdobris.cz/>
- [3] BOBCAT.CZ | Stavební stroje Bobcat Doosan. BOBCAT.CZ | Stavební stroje Bobcat Doosan [online]. Copyright © 2010 [cit. 04.03.2020]. Dostupné z: <https://www.bobcat.cz/>
- [4] DOOSAN BOBCAT EMEA SRO. Doosan Bobcat EMEA s.r.o. VÝROČNÍ ZPRÁVA 2018 [online]. Praha, 2018 [cit. 04.03.2020], 54 s. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=60429870&subjektId=78658&spis=170456>
- [5] První elektrické rypadlo Bobcat sjíždí z výrobní linky v Dobříši / Tiskové zprávy / bagry.cz - vše o stavebních strojích pro zemní práce. bagry.cz - vše o stavebních strojích pro zemní práce [online]. Dostupné z: https://bagry.cz/cze/tiskove_zpravy/prvni_elektricke_rypadlo_bobcat_sjizdi_z_vyrobní_linky_v_dobrisi
- [6] ČSN EN ISO 9000. Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník. Praha: Český normalizační institut, 2001
- [7] ŘEPA, Václav. Podnikové procesy: procesní řízení a modelování. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2252-8.
- [8] ZELENKA, Antonín. Projektování výrobních procesů a systémů. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [9] SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2823-4.
- [10] MÁDL, Jan, Antonín ZELENKA a Martin VRABEC. Technologičnost konstrukce: obrábění a montáže. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03288-4.

- [11] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. Projektování výrobních systémů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2.
- [12] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. Základy montáže: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [13] PLURA, J. Plánování a neustále zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001. 244 s. ISBN 80-7226-543-1
- [14] NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. Racionalizace výroby [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2020-2-2]. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/racionalizace-vyroby.pdf>. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [15] VOJTOVIČ, Sergej. Koncepce personálního řízení a řízení lidských zdrojů. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3948-9.
- [16] ZELENKA, Antonín a Vratislav PRECLÍK. Racionalizace výroby. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001028704.
- [17] History of Lean Manufacturing. [online]. Copyright © 2020 [cit. 22.02.2020]. Dostupné z: <http://leanmanufacturingtools.org/49/history-of-lean-manufacturing>
- [18] A Brief History of (Just-In-) Time. [online]. Copyright © 2020 [cit. 22.02.2020]. Dostupné z: http://www.strategosinc.com/just_in_time.html
- [19] Metody a nástroje | API Akademie. API - Akademie produktivity a inovací [online]. Copyright © 2005 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/24882-metody-a-nastroje>
- [20] Sedm druhů plýtvání: Zeštíhlete administrativu! - Investujeme.cz. [online]. Copyright © 2008 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://www.investujeme.cz/clanky/sedm-druhu-plytvani-zestihlete-administrativu>
- [21] Muda, Mura, Muri: The three Evils of Manufacturing | AllAboutLean.com. AllAboutLean.com – Organize your Industry [online]. Copyright © 2018 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/muda-mura-muri>

- [22] Seven Wastes | 7 Mudras of Lean Manufacturing. Lean Manufacturing Tools [online]. Copyright © 2020 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://leanmanufacturingtools.org/77/the-seven-wastes-7-mudas>
- [23] www.volko.cz. Co je to: "3MU"? [Online] Ing. Vladimír Volko, 2018 [cit. 22.02.2020]. http://www.volko.cz/new/slovník_vykonnosti.php?ID_term=15
- [24] What is "Just in Time" | AllAboutLean.com. AllAboutLean.com – Organize your Industry [online]. Copyright © 2017 [cit. 27.02.2020]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/what-is-just-in-time>
- [25] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. Moderní přístupy k řízení výroby. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [26] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Řízení výroby. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9578-5.
- [27] 5S - pořádek na pracovišti - Vlastní cesta. Sít' poradců - praktických odborníků - Vlastní cesta [online]. Copyright © 2019 [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/5s-poradek-na-pracovisti/>
- [28] BURIETA, Ján. 2012. Svět produktivity. 5S, 6S, nebo dokonce 7S. [Online] CPI Web servis s.r.o., 2012. [cit. 2020-2-2]. <http://www.svetproduktivity.cz/clanek/5s-6s-nebo-dokonce-7s.htm>
- [29] What is 5S? 5S System is explained including tips on getting a 5S program started.. 5SToday.com | 5S Training Solutions and Products [online]. Copyright © 2020 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://www.5stoday.com/what-is-5s>
- [30] VIGNER, Miloslav, Antonín ZELENKA a Mirko KRÁL. Metodika projektování výrobních procesů. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [31] BOOTHROYD, G., Peter DEWHURST a W. A. KNIGHT. Product design for manufacture and assembly. 3rd ed. Boca Raton, Fl: CRC Press, c2011. ISBN 9781420089271.
- [32] INTERQUALITY [online]. 2010 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <http://www.sixsigma-iq.cz/COJESIXSIGMA.aspx>

- [33] PANDE, Peter S., Robert P. NEUMAN a Roland R. CAVANAGH. Zavádíme metodu Six Sigma: aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti. Brno: TwinsCom, s. r. o., 2002. ISBN 80- 238-9289-4.
- [34] The 1.5 Sigma Shift Explained | Quality Digest. Quality Digest [online]. Copyright © 2020 Quality Digest. Copyright on content held by Quality Digest or by individual authors. [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://www.qualitydigest.com/inside/six-sigma-column/15-sigma-shift-explained>
- [35] Six Sigma Conversion Tables. Six Sigma Material [online]. Copyright © 2020 Six [cit. 26.05.2020]. Dostupné z: <https://www.six-sigma-material.com/Tables.html>
- [36] BERÁNEK, Libor. Strojírenská metrologie: Způsobilost měřidel strojů a procesů, Přejímací a periodické zkoušky CMM. Praha, 2017. Učební materiály. České vysoké učení technické, Fakulta strojní.
- [37] KOŽÍŠEK, Jan. Management jakosti. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3096-2.
- [38] SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [39] ŠIMONOVÁ, Stanislava. Modelování procesů a dat pro zvyšování kvality. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, 2009. ISBN 978-80-7395-205-1.
- [40] MAŠÍN, Ivan. Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902235-6-7.
- [41] LHOTSKÝ, Oldřich. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI, 2005. Lidské zdroje. ISBN 80-7357-095-5.
- [42] API – Akademie produktivity a inovací. API – Akademie produktivity a inovací [online]. Copyright © 2005 [cit. 12.05.2020]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz>
- [43] KARBUSOVÁ, Marie. Moderní metody průmyslového inženýrství: Od metod normování práce k optimalizaci procesů. Praha, 2017. Učební materiály. České vysoké učení technické, Fakulta strojní.
- [44] Interní materiály společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

[45] MultiWrench Star [online].]. Copyright © 2020 Crane Electronics Ltd. [cit. 23.07.2020]. Dostupné z: <https://crane-electronics.com/products/torque-wrenches/wrenchstar-multi-torque-wrench/>

[46] Klíč Delta – WLAN - Systémy měření utahovacího momentu - Desoutter Industrial Tools. Průmyslové nářadí Desoutter – průmyslové pneumatické nářadí pro letecký a automobilový průmysl [online]. Copyright © 2020 Desoutter Industrial Tools. Všechna práva vyhrazena. [cit. 23.07.2020]. Dostupné z: <https://www.desouttertools.cz/naradi/5/torque-measurement-systems/53/torque-wrenches/532/klice-delta/5322/klic-delta-wlan>

[47] Battery Nutrunners EABCom - EPBCom - Desoutter Industrial Tools. Desoutter Industrial Tools - Industrial Pneumatic Tool for Aeronautics & Automotive [online]. Copyright © 2020 Desoutter Industrial Tools. All rights reserved. [cit. 25.07.2020]. Dostupné z: <https://www.desouttertools.com/tools/1/battery-assembly-tools/215/eabcom-epbcom-wireless-transducerized-battery-tool>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Porovnání nakladače M200 (vlevo) a současného modelu pásového nakladače (vpravo) [1]	12
Obrázek 2 - Sortiment strojů Bobcat vyráběných v ČR – kompaktní pásové rypadlo (vlevo) a smykem řízený nakladač (vpravo) [3]	14
Obrázek 3 - První elektrické minirypadlo E10e sjíždí z výrobní linky [5].....	15
Obrázek 4 - Základní schéma podnikového procesu [7]	16
Obrázek 5 - Důvody nízkého stupně automatizace a mechanizace [9], [10].....	19
Obrázek 6 - Technicko-organizační formy montáže [11].....	21
Obrázek 7 - Pracoviště nestacionární rozčleněné montáže hydraulického rozvaděče.....	22
Obrázek 8 - Pohyblivý montážní pás v automobilce Ford [12].....	23
Obrázek 9 - Dělení montážních linek [12].....	24
Obrázek 10 - Schéma přímé (vlevo) a rozvětvené (vpravo) montážní linky [12]	25
Obrázek 11 - Přehled metod štíhlé výroby	26
Obrázek 12 - Hlavní cíle optimalizace výrobních procesů [7]	27
Obrázek 13 - PDCA diagram [13]	28
Obrázek 14 - Cíle racionalizace výroby [14].....	30
Obrázek 15 - Základní pilíře štíhlého podniku [19]	32
Obrázek 16 - Sedm druhů plýtvání [20]	33
Obrázek 17 - Znázornění pojmů muda, mura a muri [23]	35
Obrázek 18 - Základní myšlenky Just in time	36
Obrázek 19 - Omezení skladových zásob v rámci metody Just in time [24].....	37
Obrázek 20 - Další cíle a požadavky metody 5S	38
Obrázek 21 - Znázornění metody 5S	39
Obrázek 22 - Porovnání stavu před a po aplikaci metody 5S [29]	40
Obrázek 23 - Příklad aplikace 5S na montážní lince hydraulických rozvaděčů [44]	41
Obrázek 24 - Porovnání skrytých nákladů na výrobu a montáž [31]	43
Obrázek 25 - Vliv přístupnosti k místu šroubového spojení na pracnost [10]	44
Obrázek 26 - Porovnání procesu s ukazatelem způsobilosti C_p 1 a 2 [36]	46
Obrázek 27 - 7 procesů se stejnou velikostí C_p s rozdílnou pozicí v tolerančním poli [36]47	
Obrázek 28 - Porovnání cyklu PDCA (vlevo) a DMAIC (vpravo) [38]	48
Obrázek 29 - Systém pro co nejlepší analýzu práce	50
Obrázek 30 - Možné parametry pro studium práce [41].....	50

Obrázek 31 - Dělení spotřeby času [30]	52
Obrázek 32 - Dělení normovaných časů [30]	52
Obrázek 33 - Orientační dělení metod měření spotřeby času [42]	53
Obrázek 34 - Základní dělení MTM	55
Obrázek 35 - Základní rozdíl v podrobnosti metody MTM-1 a MTM-2 [43].....	56
Obrázek 36 - Označený šroubový spoj na hydraulické pumpě nakladače Bobcat	57
Obrázek 37 - Zkompletovaná sestava hydraulického rozvaděče [44]	59
Obrázek 38 - Prostorová dispozice výrobního závodu Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [44]..	60
Obrázek 39 - Detail platformy pohyblivé montážní linky [44]	60
Obrázek 40 - Schéma montážní linky kompaktních pásových rypadel [44]	61
Obrázek 41 - Prostorové rozvržení montážní linky hydraulických rozvaděčů [44]	62
Obrázek 42 - Schéma procesu montáže hydraulického rozvaděče	62
Obrázek 43 - Porovnání velikosti nejmenšího a největšího rypadla vyráběného na montážní lince [3]	63
Obrázek 44 - Porovnání hotové sestavy hydraulického rozvaděče pro modely o hmotnosti 1 až 2 tuny (vlevo) a pro rypadla s hmotností 4 až 6 tun (vpravo)	65
Obrázek 45 - Menší hydraulické ventily – ventil 2. auxu (vlevo) a manifold (vpravo)	65
Obrázek 46 - Vozík s díly pro montáž sestavy rozvaděče stroje E50 /	68
Obrázek 47 - Montážní přípravek pro stroje o hmotnosti 1-3 tuny (vlevo) a pro stroje o hmotnosti 3 – 6 tun (vpravo).....	68
Obrázek 48 - Ukázka pracovního postupu pro montáž rozvaděče [44].....	69
Obrázek 49 - Ukázka manuálních momentových klíčů.....	70
Obrázek 50 - Pracoviště se sledováním momentu	71
Obrázek 51 - Příklad značení šroubových hydraulických spojů pomocí fixů	74
Obrázek 52 - Důvody pro optimalizaci na montážní lince hydraulických rozvaděčů	77
Obrázek 53 - 3D model hydraulického rozvaděče pro kompaktní rypadlo E27	78
Obrázek 54 - Rozdělení dílů podle velikosti koncovek klíče – přední strana	80
Obrázek 55 - Rozdělení dílů podle velikosti koncovek klíče – zadní strana	80
Obrázek 56 - Klasifikace dílů sestavy hydraulického rozvaděče do vrstev – přední strana	81
Obrázek 57 - Klasifikace dílů sestavy hydraulického rozvaděče do vrstev – zadní strana	82
Obrázek 58 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání první vrstvy – přední strana	82
Obrázek 59 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání první vrstvy – zadní strana...	83
Obrázek 60 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání druhé vrstvy	83
Obrázek 61 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání třetí vrstvy	84

Obrázek 62 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání čtvrté vrstvy	85
Obrázek 63 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání páté vrstvy.....	85
Obrázek 64 - Sestava hydraulického rozvaděče po odebrání šesté vrstvy	86
Obrázek 65 - Sestava hydraulického rozvaděče po namontování 3. vrstvy dílů	87
Obrázek 66 - Schéma navrženého procesu montáže po stanovištích	88
Obrázek 67 - Ukázka procesní mapy montáže hydraulického rozvaděče	89
Obrázek 69 - Ukázka klíče WrenchStar Multi od firmy Crane Electronics Ltd [45].....	91
Obrázek 70 - Ukázka klíče Delta Wrench od firmy Desoutter Tools [46]	93
Obrázek 71 - Akumulátorový utahovací systém EABC od společnosti Desoutter Tools [47]	94
Obrázek 72 - Navrhnutá koncepce optimalizovaného způsobu montáže	102
Obrázek 73 - Navrhované prostorové uspořádání montážní linky rozvaděčů.....	103
Obrázek 74 - Koncepční návrh montážního přípravku pro hydraulické rozvaděče	104
Obrázek 75 - Schéma a popis klíčových komponent utahovací stanice	105
Obrázek 76 - Ukázka dvou kroků pracovního postupu na dotykovém panelu.....	105
Obrázek 77 - Popis montážního procesu na navržené utahovací stanici	106
Obrázek 78 - Ukázka protokolu o montáži	110
Obrázek 79 - Ukázka pracovního postupu na dotykovém panelu	111
Obrázek 80 - Zhodnocení navrženého optimalizačního řešení.....	112

11 Seznam tabulek




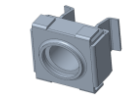
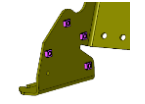
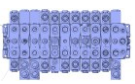


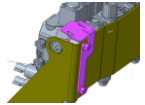
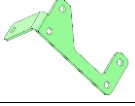
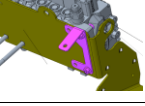
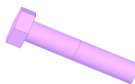
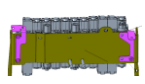

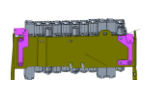
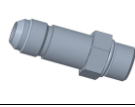
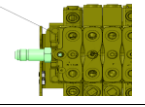
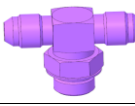
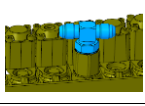


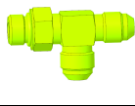

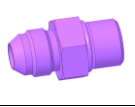
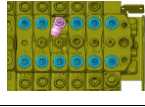
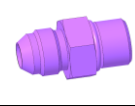
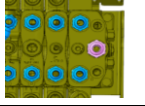
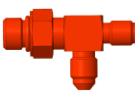
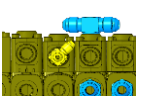
Tabulka 1 - Důležité milníky v historii společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [2]	13
Tabulka 2 - Struktura činností v kusové a malosériové montáži [10]	19
Tabulka 3 - Přehled japonských, anglických a českých názvů kroků 5S [27], [28]	38
Tabulka 4 - Úroveň kvality metody Six Sigma [35], [36]	45
Tabulka 5 - Přepočítání time measurement unit a klasických jednotek času [43]	55
Tabulka 6 - Příklad tabulky pro vyhodnocení činnosti označení šroubového spoje fixem [44]	57
Tabulka 7 - Doba taktu pro maximální objem výroby na lince (23 strojů za směnu) [44] ..	64
Tabulka 8 - Porovnání počtu spojů podle typu stroje pro montážní linku rozvaděčů [44] ..	66
Tabulka 9 - Porovnání časové náročnosti montáží na lince rozvaděčů podle typu stroje [44] ..	67
Tabulka 10 - Standard utahovacích momentů ve firmě Doosan Bobcat EMEA s.r.o. [44] ..	70
Tabulka 11 - Seznam kombinací velikosti koncovky klíče a utahovacího momentu [44] ..	72
Tabulka 12 - Výsledky studie utahovacího momentu pomocí manuálních klíčů [44]	74
Tabulka 13 - Upravené hodnoty tolerančního pole utahovacího momentu	75
Tabulka 14 - Požadovaná velikost směrodatné odchylky pro různé hodnoty způsobilosti procesu	76
Tabulka 15 - Posloupnost kroků v rámci optimalizačního procesu	79
Tabulka 16 - Začátek montážní sekvence hydraulického rozvaděče	90
Tabulka 17 - Charakteristika klíčů WrenchStar Multi [45]	92
Tabulka 18 - Charakteristika klíčů Delta Wrench [46]	93
Tabulka 19 - Charakteristika akumulátorového utahovacího systému EABC [47]	95
Tabulka 20 - Procentuální zastoupení velikostí utahovacího momentu	97
Tabulka 21 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 1	98
Tabulka 22 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 2	99
Tabulka 23 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 3	100
Tabulka 24 - Porovnání koeficientu využití způsobilosti C_{pk} pro variantu 4	101
Tabulka 25 - Výběr finální varianty použité technologie utahování šroubových hydraulických spojů	101
Tabulka 26 - Přehled zvolené montážní technologie	109
Tabulka 27 - Předpokládané náklady na pořízení vybavení utahovacích stanic	114

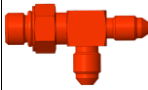


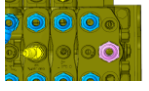

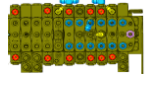

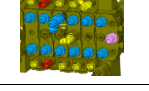

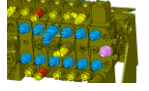

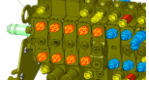
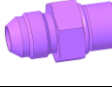
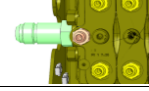

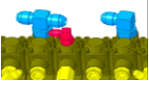
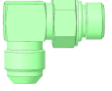


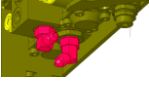

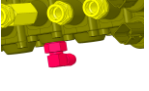
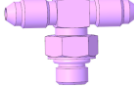
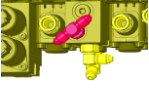
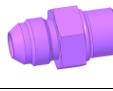

Tabulka 28 - Předpokládané náklady na úpravu montážní linky dle optimalizačního návrhu	115
Tabulka 29 - Součet celkových předpokládaných nákladů na optimalizaci	115
Tabulka 30 - Maximální roční výrobní kapacita celé montážní linky	116
Tabulka 31 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na reklamace strojů	117
Tabulka - 32 Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na opravy strojů.....	118
Tabulka 33 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na zničené díly	119
Tabulka 34 - Kalkulace potencionálních ročních úspor času pro značení spojů	119
Tabulka 35 - Kalkulace potencionálních ročních úspor nákladů na fixy pro značení spojů	120
Tabulka 36 - Celkový roční potencionální objem úspor optimalizačního řešení	121
Tabulka 37 - Výpočet doby návratnosti investice	121

12 Seznam příloh

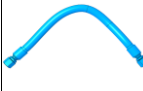

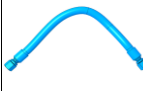
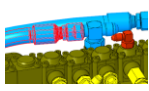

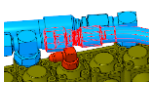
Montážní sekvence hydraulického rozvaděče pro rypadlo E27..... Příloha 1


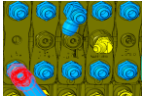

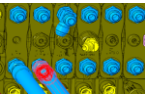

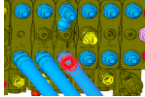

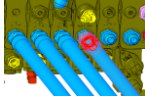

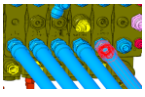

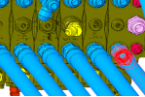

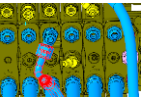

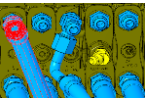

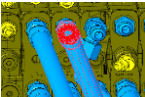

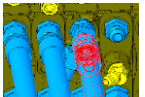

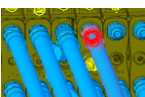

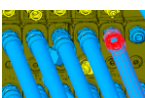



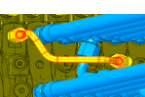






Příloha 1 - Montážní sekvence hydraulického rozvaděče pro rypadlo E27




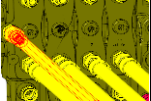

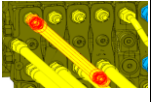

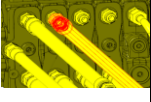

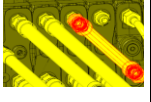


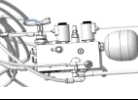


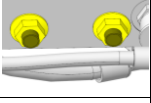
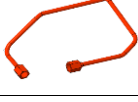
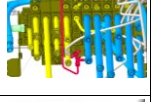
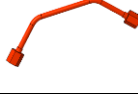
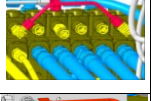

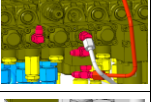
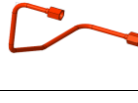
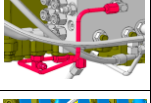
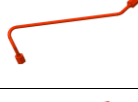

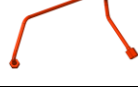



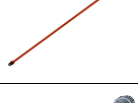
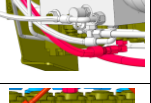

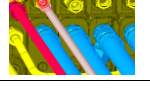
Krok	Číslo dílu	Název dílu	Počet dílů	Úhlová orientace	Vrstva dílu	Velikost koncovky	Utahovací moment	Počet hydraulických šroubových spojů	Obrázek dílu	Obrázek spojení	Změna koncovky klíče
10	7309420	Držák rozvaděče	1	X	7	X	X	X			
11	28CM10100	Samojistící matice	2	X	6	X	X	X			
20	7170765	Šroub	4	X	1	X	X	X			
30	7307475	Hydraulický rozvaděč	1	X	5	X	X	X			
30	7309422	Držák hadic	1	X	5	X	X	X			
30	7309421	Držák hadic	1	X	5	X	X	X			
30	1CM840	Šroub	4	X	5	13 mm		X			
30	4DM8	Šestihraná matice	4	X	5	13 mm		X			
40	7324029	Dlouhé hydraulické šroubení	1	X	1	32 mm	75 Nm	1			na 32 mm
50	19KB0808	Rozvětvené hydraulické šroubení	1	ANO	3	24 mm	55 Nm	1			na 24 mm
60	17KB0808	Hydraulické šroubení 90°	1	ANO	3	24 mm	55 Nm	1			
70	21KB0808	Rozvětvené hydraulické šroubení	1	ANO	2	24 mm	55 Nm	1			
80	15KB0808	Přímé hydraulické šroubení	11	X	2, 3	24 mm	55 Nm	11			
85	15KB1008	Přímé hydraulické šroubení	1	X	1	27 mm	55 Nm	1			na 27 mm
90	21KB0406	Rozvětvené hydraulické šroubení	1	ANO	2	19 mm	30 Nm	1			na 19 mm






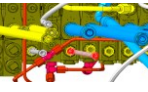










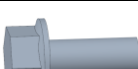













100	21KB0406	Rozvětvené hydraulické šroubení	1	ANO	2	19 mm	30 Nm	1			
101	18KB0606	Hydraulické šroubení 45°	1	ANO	2	19 mm	30 Nm	1			
110	10L0606	Přímé hydraulické šroubení	11	X	2, 3	19 mm	30 Nm	11			
111	7012494	Přímé hydraulické šroubení	2	X	2, 4	19 mm	30 Nm	2			
120	10L0606	Přímé hydraulické šroubení	2	X	2, 3	19 mm	30 Nm	2			
130	15KB0606	Přímé hydraulické šroubení	9	X	2	19 mm	30 Nm	9			
140	15KB0604	Přímé hydraulické šroubení	1	X	3	19 mm	30 Nm	1			
150	17KB0404	Hydraulické šroubení 90°	1	ANO	2	14 mm	18 Nm	1			na 14 mm
160	17KB0404	Hydraulické šroubení 90°	1	ANO	2	14 mm	18 Nm	1			
170	18KB0404	Hydraulické šroubení 45°	1	ANO	3	14 mm	18 Nm	1			
180	17KB0404	Hydraulické šroubení 90°	1	ANO	3	14 mm	18 Nm	1			
190	19KB0404	Rozvětvené hydraulické šroubení	1	YES	2	14 mm	18 Nm	1			
200	15KB0404	Přímé hydraulické šroubení	2	X	1	14 mm	18 Nm	2			

Přesun na stanoviště 3

210	7302462	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			na 24 mm
220	7310782	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
230	7318491	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			

240	7317570	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
250	7317578	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
260	7317575	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
270	7308829	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
280	7309178	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
290	7309182	Hadice	1	X	2	24 mm	55 Nm	1			
300	7318492	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
310	7317570	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
320	7317577	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
330	7317574	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
340	7307603	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
350	7309178	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
360	7343558	Hadice	1	X	1	24 mm	55 Nm	1			
370	7204057	Trubička	1	X	1	19 mm	30 Nm	2			na 19 mm
380	7317566	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
390	7309184	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
400	7316499	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			

410	7317569	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
420	7317567	Hadice	1	X	2	19 mm	30 Nm	1			
430	7317566	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
440	7309184	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
450	7316499	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
460	7308827	Hadice	1	X	1	19 mm	30 Nm	1			
470	7301680	Sestava manifolu	1	X	2	X	X	X			
470	43DM10	Šestihraná matice	2	X	2	15 mm		X			
480	7320477	Trubička	1	X	2	14 mm	18 Nm	2			na 14 mm
490	7321924	Trubička	1	X	1	14 mm	18 Nm	2			
500	7320479	Trubička	1	X	1	14 mm	18 Nm	2			
510	7325114	Trubička	1	X	1	14 mm	18 Nm	2			
512	7320478	Trubička	1	X	1	14 mm	18 Nm	2			
520	7347593	Trubička	1	X	1	14 mm	18 Nm	2			
530	7333145	Hadice	1	YES	1	14 mm	18 Nm	1			
540	7333147	Hadice	1	X	2	14 mm	18 Nm	1			
550	7316609	Hadice	1	X	1	X	X	X			

560	7316608	Hadice	1	X	1	X	X	X		
570	7342891	Hadice	1	X	2	X	X	X		
580	7316611	Hadice	1	X	2	X	X	X		
590	7342889	Hadice	1	X	2	X	X	X		
600	7316610	Hadice	1	X	2	X	X	X		
610	7234504	Elektrický svazek rozvaděče	1	X	2	X	X	X		
620	7342995	Elektrický svazek rozvaděče	1	X	2	X	X	X		
630	31H46	Klip na hadice	1	X	1	X	X	X		
630	29CM820	Šroub	1	X	1	13 mm		X		
630	43DM8	Šestihraná matice	1	X	1	13 mm		X		
640	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X		
650	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X		
660	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X		
670	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X		
680	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X		
690	6624289	Stahovací páska	1	X	1	X	X	X	