

# Standardizace montážních postupů

Bc. Filip Hubáček

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Filip Hubáček  
Osobní číslo: T21419  
Studijní program: N3909 Procesní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní inženýrství  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Standardizace montážních postupů

## Zásady pro vypracování

### I. Teoretická část:

- Technologie montáže
- Technická příprava výroby a standardizace práce
- Technologická dokumentace
- Optimalizace montážních procesů
- Kontrola kvality ve strojírenských procesech (mezioperační kontrola)

### II. Praktická část:

- Analýza výchozího stavu vybraného montážního procesu
- Definice technologické dokumentace (montážní postup, kontrolní plány)
- Implementace nového montážního postupu vč. systému mezioperační kontroly a optimalizace montážních časů
- Srovnání stavu před a po implementaci
- Diskuze

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

**Seznam doporučené literatury:**

TANG, He. *Quality planning and assurance: principles, approaches, and methods for product and service development*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2022, 1 online resource. Dostupné z: doi:9781119819301

JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.

NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.

BUDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada, 2010. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3243-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Předmětem této diplomové práce je optimalizace montážního procesu. V teoretické části jsou kapitoly zaměřené na samotnou montáž, nástroje pro řízení kvality nebo průmyslu 4.0. Dále se zde píše o digitálním dvojčeti. Praktická část se zabývá analýzou stávajícího stavu, následnou optimalizací a vytvoření montážní dokumentace. V neposlední řadě jsou zde porovnány podpory montáže jako je návodka, výrobní výkres a video. V závěru práce je vytvořené digitální dvojče pro zkoumaný montážní proces.

Klíčová slova: montáž, montážní linka, optimalizace, Průmysl 4.0, digitální dvojče

## **ABSTRACT**

The subject of this thesis is the optimization of the assembly process. In the theoretical part there are chapters focused on the assembly itself, quality management tools or industry 4.0. Furthermore, the digital twin is also introduced. The practical part deals with the analysis of the current state, the subsequent optimization and the creation of assembly documentation. Last but not least, assembly supports such as instructions, production drawing and video are compared. Finally, a digital twin for the examined assembly process is created

Keywords: assembly, assembly line, optimization, Industry 4.0, digital twin

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Bílkovi za vedení mé diplomové práce a jeho čas při potřebných konzultacích. Především bych chtěl poděkovat paní Ing. Petře Hámorové, za konzultace a příležitost psát diplomovou práci ve společnosti Windmüller & Hölscher. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům společnosti za vstřícnost při měření a dalším testování pro potřeby diplomové práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 MONTÁŽNÍ PROCESY</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE MONTÁŽE.....	13
1.2 MONTÁŽNÍ LINKA.....	14
1.2.1 Ruční montážní linka .....	16
1.2.2 Automatizovaná montážní linka .....	20
1.2.3 Flexibilní montážní linka .....	23
1.2.4 Navržení designu montáže .....	25
1.2.5 Vliv logistiky na montáž .....	30
1.2.6 Vyvažování montážní linky .....	35
1.2.7 3D projektová montáž .....	36
<b>2 NÁSTROJE ŘÍZENÍ KVALITY</b> .....	<b>38</b>
2.1 SEDM KLASICKÝCH NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ KVALITY .....	38
2.1.1 Kontrolní list .....	38
2.1.2 Vývojový diagram.....	40
2.1.3 Ishikawa Diagram .....	41
2.1.4 Histogram.....	42
2.1.5 Paretova analýza.....	42
2.1.6 Bodový diagram .....	42
2.1.7 Regulační diagram .....	43
2.2 SEDM NOVÝCH NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ KVALITY .....	43
2.2.1 Afinitní diagram .....	44
2.2.2 Diagram vzájemných vztahů.....	44
2.2.3 Stromový diagram.....	45
2.2.4 Maticový diagram .....	45
2.2.5 Analýza údajů v matici.....	46
2.2.6 Diagram PDPC.....	46
2.2.7 Síťový diagram.....	46
<b>3 KONTROLA KVALITY VE STROJÍRENSKÝCH PROCESECH</b> .....	<b>47</b>
3.1 MĚŘENÍ.....	47
3.2 SPC (STATISTICKÁ REGULACE PROCESU).....	49
3.2.1 Aplikace SPC .....	49
3.2.2 Implementace SPC .....	49
3.2.3 Výhody SPC.....	50
3.3 KONTROLNÍ PLÁN.....	50
<b>4 PRŮMYSL 4.0 A 5.0</b> .....	<b>51</b>
4.1 NÁSTROJE PRO PRŮMYSL 4.0 .....	52
4.1.1 Kybernetické fyzické systémy (CPS).....	52
4.1.2 Internet věcí (IoT) .....	52

4.1.3	Internet služeb .....	53
4.1.4	Chytrá továrna .....	53
4.2	MONTÁŽNÍ SYSTÉMY V PRŮMYSLU 4.0.....	54
<b>5</b>	<b>DIGITÁLNÍ DVOJČE.....</b>	<b>56</b>
5.1	HISTORIE VÝVOJE DIGITÁLNÍHO DVOJČETE .....	56
5.2	VÝHODY DIGITÁLNÍHO DVOJČETE .....	57
<b>6</b>	<b>SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>58</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>MONTÁŽNÍ PROCES .....</b>	<b>60</b>
7.1	POPIS MONTOVANÉ SESTAVY.....	61
7.2	POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU .....	67
7.2.1	Použité nářadí .....	69
7.2.2	Změřené časy při stávajících podmínkách .....	70
7.3	POPIS OPTIMALIZOVANÉHO STAVU PRACOVÍŠTĚ.....	75
7.3.1	Použité nářadí .....	78
7.3.2	Změřené časy při optimalizovaných podmínkách.....	79
7.4	POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ ČASŮ PŘED A PO OPTIMALIZACI .....	84
<b>8</b>	<b>DOKUMENTACE PRO MONTÁŽ .....</b>	<b>89</b>
8.1	SEZNAM DÍLŮ .....	89
8.2	SEZNAM NÁSTROJŮ .....	91
8.3	NÁVODKA .....	93
8.4	KONTROLNÍ KARTA .....	95
<b>9</b>	<b>PODPORA MONTÁŽE.....</b>	<b>99</b>
9.1	NÁVODKA .....	99
9.2	VIDEO MONTÁŽ .....	100
9.3	VÝROBNÍ VÝKRES .....	103
9.4	VYHODNOCENÍ PODPORY MONTÁŽE .....	104
<b>10</b>	<b>DIGITÁLNÍ DVOJČE MONTÁŽE .....</b>	<b>106</b>
<b>11</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>109</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>112</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>116</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>117</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>119</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>120</b>



## ÚVOD

Cílem práce Standardizace montážních postupů je zlepšit montážní proces ve firmě Windmöller & Hölscher. Zkoumaná sestava v minulosti často podléhala reklamacím, tudíž je nutné optimalizovat montážní proces a tím zlepšit kvalitu montáže, získat čas pro vstupní, mezioperační a finální kontrolu.

První kapitola této diplomové práce se zaměřuje na montážní procesy. Je zde psáno o samotné montáži a jejich typech. Je možné se zde dočíst o montážních linkách, jak se montáž navrhuje, aby splňovala určité parametry, ale také jak se již stávající linka vyvažuje. V poslední části této kapitole je psáno o 3D projektové montáži.

Druhá kapitola se zabývá nástroji používajícími se pro řízení kvality. Dočteme se zde o sedmi klasických nástrojích kvality, a také o sedmi nových nástrojích kvality.

Ve třetí kapitole je psáno o kontrole kvality ve strojírenských procesech, kam spadá měření, statistická regulace procesu a kontrolní plán.

Čtvrtá kapitola se zabývá průmyslem 4.0 a 5.0. Většina této kapitoly je věnována průmyslu 4.0 a jeho nástrojům. Ve druhé části této kapitoly je také psáno o montážních systémech v průmyslu 4.0.

V předposlední kapitole teoretické části je psáno o digitálním dvojčeti, jeho historii, využití a výhodách.

V poslední kapitole je shrnutí teoretické části diplomové práce.

Sedmá kapitola diplomové práce, tedy první kapitola praktické části obsahuje popisy montážního postupu a montážního pracoviště před i po optimalizaci. Je zde také psáno o měřeních, která byla provedena v rámci zavedených i optimalizovaných podmínek, tato měření byla následně porovnána.

V osmé kapitole je psáno o vytvořených dokumentech, které jsou nezbytnou součástí montážního procesu.

V deváté kapitole byly testovány tři různé podpory montáže na nezaučených pracovnících. Jsou zde také popsány výsledky měření a porovnání jednotlivých typů podpory montáže mezi sebou.

V desáté kapitole je psáno o digitálním dvojčeti montáže. Digitální dvojče bylo vytvořeno jak pro zavedené, tak i optimalizované podmínky.

Poslední kapitolou této diplomové práce je diskuze, kde jsou shrnuty všechny výsledky z jednotlivých kapitol praktické části.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MONTÁŽNÍ PROCESY

Montáž je nedílnou součástí výrobních procesů ve všech průmyslových podnicích. Montážní práce jsou závěrečnou částí výrobního procesu, ale složitostí jejich organizačního zajištění či nízkému stupni mechanizace jsou fází ve výrobě nejpracnější. Montáž spojuje všechny předcházející procesy (návrh, konstrukce, výroba a logistika), aby vznikl produkt, který má plnit danou funkci.

Montáž jako „proces vytváření spojení mezi součástmi nebo podsestavami za účelem vytvoření komplexních konečných produktů“ definovali v roce 1991 Wang a Li [1]. Podobně definuje Nof [2] a kol. v roce 1997 montáž jako „agregaci všech procesů, kterými jsou různé části a pod sestavy sestaveny dohromady tak, aby vytvořily kompletní, geometricky navrženou sestavu nebo produkt buď individuálním, dávkovým nebo kontinuálním procesem“. Montážní práce tvoří 20–70 % celkové výrobní práce, tudíž náklady na ně představují významný podíl v celkových výrobních nákladech. Podle Rileyho [3] činí tyto náklady více než polovinu nákladů spojených s výrobním procesem. Montážní práce jsou vrcholem výrobního procesu, kdy spojují nejen jednotlivé díly, ale také lidi či společnosti, které tyto díly navrhují nebo vyrábějí. [4] [5] [6]

### Organizace montážního procesu

Způsobů organizace montážního procesu může být hned několik. Jsou podmíněny především typem a rozsahem výroby. Dále pak závisí na pracnosti montáže, dodavatelsko-odběratelských vztazích a také na vybavení podniku. Montáž je tedy ovlivněna řadou faktorů, ze kterých jsou nejdůležitější:

- Vliv konstrukčního řešení – konstrukční složitost výrobků určuje výslednou složitost montáže. Konstrukční řešení dále může ovlivnit mechanizaci a automatizaci montáže.
- Vliv technologie a organizace – technologie a organizace ovlivňuje mnoho faktorů, kterými jsou např.: výrobní program, sériovost, obsah montážních operací a velikost dávek. Tyto faktory společně předurčují časovou strukturu montáže.
- Vliv pracovních sil a pracovních podmínek – například kvalifikace zaměstnanců, počtu zaměstnanců, druhy profesí, pracovní schopnost zaměstnanců a jejich výkon. Z druhé strany můžeme vliv chápat z hlediska pracovního prostředí, režimu práce na montáži a způsobu odměňování.

- Vliv pracovních prostředků – tzn. vybavenost montážních stanic náradím či přípravky pro snadnější montáž. Také záleží na univerzálnosti nebo jednoúčelovosti daných prostředků a jejich stupni mechanizace a automatizace.

### Základní typy montáže

Existují dva typy montáže:

- a) Interní
- b) Externí

#### a) Interní typ montáže

Interní montáž můžeme rozdělit na stacionární (nepohyblivá) a nestacionární (pohyblivou).

- **Stacionární montáž** (používaná nejčastěji pro kusovou výrobu)
  - *Soustředěná* – při soustředěné montáži se výrobek montuje na jednom vyhrazeném pracovišti, kde pracuje jeden nebo skupina operátorů (podle složitosti výrobku).
  - *Rozčleněná* – u tohoto typu montáže se montáž dělí na několik dílčích částí a finální část. Každou dílčí část provádí specializovaný tým operátorů a jednotlivé prvky z předmontáže se ve finální části spojí a vytvoří konečný produkt. Tento typ montáže se používá především u složitějších výrobců v malosériové a sériové montáži.
  - *Přerušovaná proudová* – v tomto případě probíhá výroba také na stacionárních pracovištích, ale jednotlivé skupiny operátorů se na stanovištích střídají. Skupina provede vždy tu část práce, na kterou se specializuje a přesune se na další stanoviště, kde provede opět stejnou část práce.
- **Nestacionární montáž** (používaná ve velkosériové výrobě)
  - *Předmětná* – při předmětné montáži má montovaná součást volný pohyb mezi specializovanými pracovišti, kde na nich operátoři vykonají svou část práce a předají výrobek dalšímu specializovanému pracovišti. Na jednotlivých pracovištích se sled operací nemusí dodržovat.
  - *Linková* – montovaný předmět je v pohybu, který může být plynulý nebo přerušovaný. Tento pohyb je dán taktem montážní linky. U linkové montáže se sled operací musí dodržet v daném pořadí.

- *Nepřerušovaná proudová* – nepřerušovaná proudová montáž se používá většinou v hromadné výrobě, kdy se může pohybovat jak montovaný předmět, tak operátoři s pracovními nástroji a pomůckami. Nejčastěji se ale lze setkat s variantou, kdy se posouvá montovaný předmět.

## b) Externí typ montáže

Externí montáž se používá pro montáž příliš velkých zařízení, které se montují mimo výrobní závod a montují se přímo na místě určení. Tento typ montáže se využívá např. při montáži velkých strojů, zařízení, potrubí a armatur nebo pro montáž mostů a velkých konstrukcí. [7] [8]

## 1.1 Historie montáže

Montážní procesy z historického hlediska existují od dob, kdy lidé začali vyrábět první nástroje ze dřeva a kamene. I tyto jednoduché nástroje byly tvořeny minimálně ze dvou částí, které musely být pevně spojeny dalším materiálem tak, aby nástroj fungoval. V počátcích výroby byly montážní práce prováděny převážně lidskýma rukama. Později byly montážní procesy založeny na dělbě práce, což vedlo ke zvýšení efektivity a rychlosti práce.

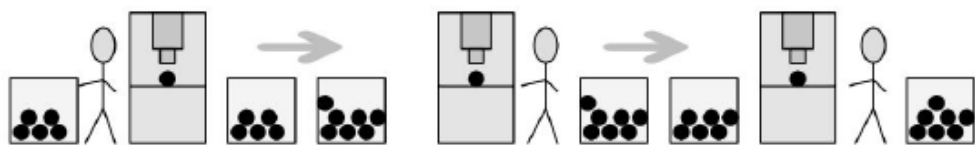
V devatenáctém století Henry Ford zvýšením přesnosti a opakovatelnosti výrobních strojů dosáhl menší časové náročnosti montážních operací. Zorganizoval pracovníky do týmů, z nich každý vyráběl jednu dílčí sestavu. Pro zlepšení efektivity a zvýšení časové úspory přesunul lidi k montážní lince, kde byly k dispozici i všechny potřebné díly a nikdo se nemusel při práci zdržovat jejich hledáním. Automatické montážní stroje byly zkonstruovány již na počátku 20. století, aby urychlily montáž jednoduchých výrobků. K prvním takovým automatickým linkám patřily například stroje na výrobu cigaret. V sedmdesátých letech 20. století se začal zvyšovat zájem o robotickou montáž. Roboti disponovali přesností pohybu a dotykovými senzory, výkonnými počítači a umělou inteligencí. Jejich použití i schopnosti se stále rozšiřují. [4] [5] [9]

## 1.2 Montážní linka

Jedním z nejpoužívanějších montážních procesů je montážní linka. Montážní linka je výrobní systém, kde jsou různé úkony výrobního procesu rozděleny do jednotlivých pracovních stanic. Ty jsou uspořádány tak, aby se výrobek pohyboval vždy z jedné stanice na druhou a pokaždé se na daném místě na ní vykonala daná část z celkové práce. Výrobky se mezi jednotlivými stanicemi mohou přesouvat několika způsoby, kterými jsou např. dopravní pásy, kolejnice nebo automaticky řízená vozidla. [9] [10]

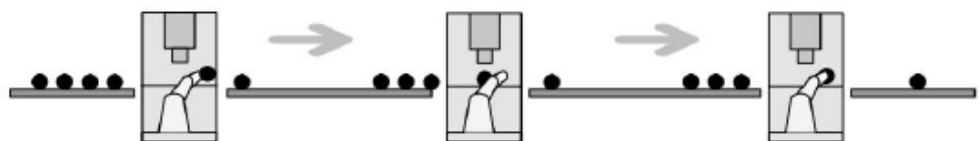
Montážní linky se podle typu přepravy mezi jednotlivými stanicemi rozdělují na [11]:

- Volná montáž – nejjednodušší typ, při kterém lze dosáhnout nezávislosti jednotlivých pracovních stanic na sobě. Umožňuje i to, aby každý cyklus měl jinou dobu trvání. Také funguje jako malá kompenzace při výpadku jednoho z pracovišť.



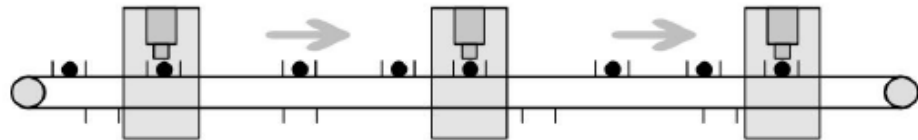
Obrázek 1 Volná montážní linka [11]

- Elastická montáž – tento typ využívá jak uvolněný typ linky, tak pevný typ. Jednotlivé stanice jsou propojeny již zmiňovanými dopravními prostředky. Jelikož jednotlivé dopravní systémy nejsou vzájemně propojeny mohou se využít jako další vyrovnávací paměť, a tak nemusí porucha jednoho stroje nutně zastavit celou linku.



Obrázek 2 Elastická montáž [11]

- Plynulá montáž – tento poslední typ funguje přesně opačně než typ první. Výrobky jsou dopravovány od stanice do stanice bez dalších mezikroků, tím pádem doba cyklu odpovídá nejpomalejšímu stroji. Velkou nevýhodou tohoto typu linky je, že pokud se jeden stroj dostane mimo provoz, musí být celá linka pozastavena, dokud se stroj neuvede zpět do provozu.



Obrázek 3 Plynulá montáž [11]

Pro správné fungování dopravních stanic je nutné dodržovat časové intervaly. Ty jsou pro každou stanicí stejné. Za určitý čas se musí na výrobku vykonat práce, která je pro danou stanicí přiřazena. Díky dodržování jednotlivých pracovních cyklů může montážní linka jet nepřetržitě. Z hlediska kapacity lze montážní linky rozdělit do 3 typů [9]:

- Jedno-modelová linka – tyto linky vyrábí pouze jeden model výrobku, nejsou zde žádné variace. Úlohy prováděné na jednotlivých stanicích jsou vždy stejné.
- Sériová linka – tento druh linek vyrábí každý model v sériích. Pracovní stanice jsou nastaveny tak, aby produkovaly požadované množství určitého výrobku. Poté jsou stanice přenastaveny tak, aby produkovaly dané množství dalšího výrobku. Tento proces se opakuje vždy při každé nové sérii.
- Více-modelová linka – tato montážní linka produkuje taktéž více různých modelů výrobku, ale spíše než v jednotlivých dávkách, se různé modely míchají ve stejném čase. Zatímco se na jedné pracovní stanici vyrábí jeden konkrétní model, na druhé stanici se pracuje na modelu výrobku jiném.

Montážní linky se mohou také rozdělit podle stupně automatizace [9]:

- Ruční montážní linka
- Automatizovaná montážní linka
- Flexibilní montážní linka

### 1.2.1 Ruční montážní linka

Ruční montážní linka se skládá z vícero pracovních stanic uspořádaných za sebou, na kterých jsou montážní operace prováděny lidskými pracovníky. Jelikož jsou to operace prováděné pouze pod dozorem pracovníka, jsou proto používané nástroje jednodušší a levnější než nástroje používané při automatizované montáži. Ruční montážní systémy jsou nejvhodnější pro maloobjemové produkty s vysokou rozmanitostí nebo složitostí, také se často používají v oblasti jemné mechaniky a elektrotechniky. Mezi konkrétní operace patří např. bodové svařování, ruční pájení a lepení. Lidští pracovníci se nachází přímo v centru montážních systémů. Operace provádí pomocí vlastní manuální zručnosti, svých smyslů a inteligence. [9] [6]

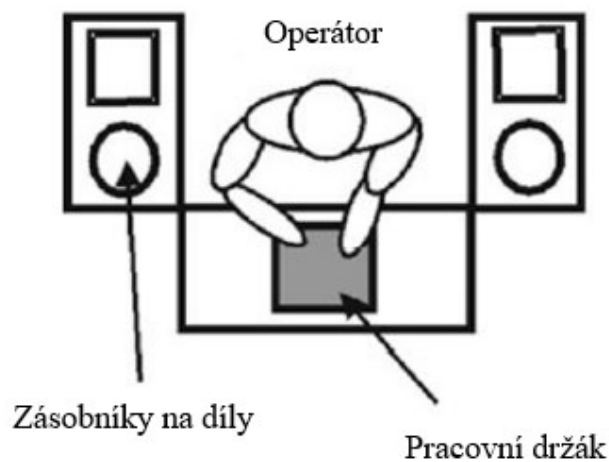
Lidé ve výrobním procesu používají různé nástroje a zařízení. Výběr daných nástrojů závisí samozřejmě na typu produktu i na konkrétní formě organizace montáže. Nejčastěji používanou formou organizace je montáž na samostatném pracovišti. Často ale taky probíhá montáž na několika pracovištích, které jsou na sebe navázány. Dále se také používá forma, kdy probíhá pouze jedna montáž na celém pracovišti. Nejvhodnější forma se zvolí v závislosti na velikosti produktu, složitosti produktu, počtu výsledného produktu, ale také na náročnosti montáže. Pracovní stanice se používají především na malé produkty nebo produkty s určitou složitostí či malým počtem jednotek. Největší výhody ruční montážní linky jsou vysoká flexibilita provedení a variabilita množství. Také pouze ve velmi malé míře ovlivňuje ostatní pracovní stanice. [11] [9]

#### Variace procesu:

- Podávání – podávání součástí do manipulačního zařízení tak, aby bylo ve správné orientaci, je možné několika způsoby. Díly se ručně odebírají ze skladů a následně jsou orientované operátorem. Orientace může být dosažena vibračními/odstředivými miskovými podavači, použitím mechanismů pro únik části nebo jsou díly již orientované ve formě palet/zásobníků/pásů. [12]
- Manipulace – v této fázi procesu se spojují součásti nebo podsestavy tak, aby mohlo později dojít k jejich složení. Manipulace probíhá buďto jen ručně, nebo pomocí jednoduchých zvedacích pomůcek či dalšího příslušenství. [12]

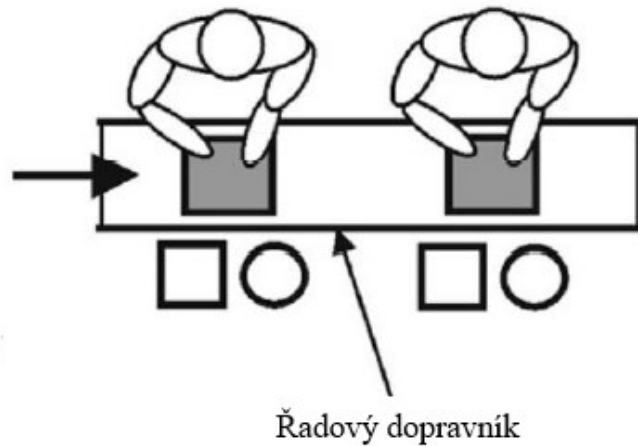


- Montáž – samotná montáž může probíhat mnohými způsoby. Lze použít různé konfigurace umístění a umístění dílů. Jsou také různé způsoby upevnění/spojení např.: zasazení do otvoru, lisované uložení, svařování, nýtování, lepení, nasazování šroubování, a to pomocí různých ručních, mechanizovaných, anebo elektrických nástrojů. [12]
- Kontrola – následná kontrola má také několik podob. Jde především o detekci chybějících, nesprávných, zdeformovaných nebo nesprávně orientovaných součástí, a to pomocí vysoce výkonných snímacích a kontrolních schopností operátorů a mechanických či elektrických pomůcek. Také se detekují cizí tělesa, selhání dílů a možnost nefunkčnosti stroje. [12]
- Přenos – jak již bylo řečeno, často se jednotlivé montáže provádějí na samostatných stanicích, obvykle postavených na pracovním nosiči, paletě nebo držáku. Proto je vyžadován systém pro přenos částečně dokončených sestav z jedné pracovní stanice na druhou. Obecně lze říci, že různé typy pracovních stanic pro ruční montáž jsou [12]:
  - a) Samostatná stanice – montáž probíhá na jedné stanici či lavici, kde se provádí konkrétní operace. [12]



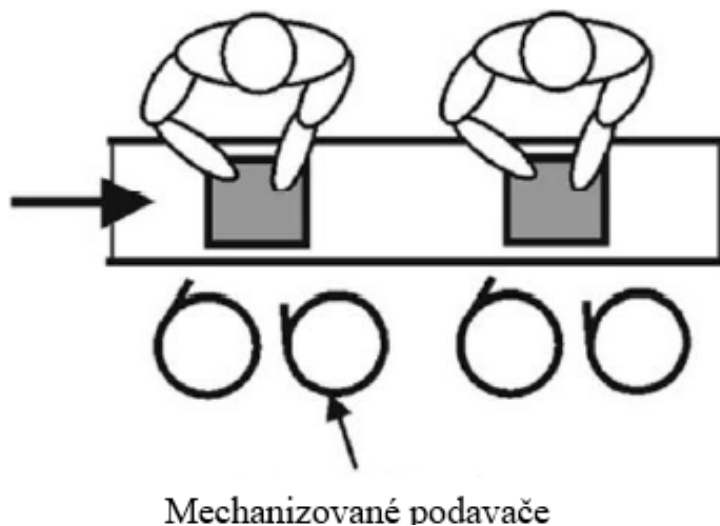
Obrázek 4 Samostatná stanice [12]

- b) Nepřetržitá montážní stanice – při této montáži pracovní nosič proudí bez zastavení pomocí dopravníků (in-line, otočný kotouč), závěsné kolejnice nebo vlečného lana [12]



Obrázek 5 Nepřetržitá montážní stanice [12]

- c) Přerušovaná montážní stanice – tento systém může mít dva způsoby práce. Synchronní/indexační – pohybuje se s pevnou dobou cyklu nebo nesynchronní/volný přenos – pohybuje se podle potřeby nebo po dokončení operace/montáže operátorem, a to pomocí in-line nebo rotačních systémů. [12]



Obrázek 6 Přerušovaná montážní stanice [12]

## Ekonomické úvahy

Ruční montáž je z ekonomického hlediska výhodnější než zbylé dva typy, a to hned z několika důvodů. Rychlost výroby je většinou nízká, ale může být až střední v závislosti na složitosti, počtu a velikosti součástek. Tyto faktory také určují míru potřebné mechanizované pomoci.

Jako další můžeme vzít v potaz flexibilitu. Montovaný produkt lze změnit ihned, nenastává žádná prodleva, která je z ekonomického hlediska nepřijatelná, s čímž souvisí i jednorázové střední a malé montážní série, které mohou být zařazeny do procesu bez větších problémů a ekonomických ztrát. Pomůcky pro ruční montáž jsou obvykle normované nástroje, jejich cena tak není vysoká.

Ekonomické náklady na pracovníky mohou být střední až vysoké. Záleží na složitosti montovaných dílů a proškolenosti personálu, dále také záleží na zkušenostech jednotlivých operátorů. [12]

## Kvalita a její problémy

Kvalita ruční montáže je dána řadou faktorů a to především:

- Součásti menší či větší než specifikované tolerance
- Chyba seřízení
- Hrubé vady (špatný tvar, chybějící prvky, poškození)
- Cizí látka způsobující kontaminaci a ucpání
- Absence součástky
- Nesprávné součástky způsobené nesprávným zdrojem či pokyny
- Nedostatečná technologie spojování

Ruční montáž není vhodná pro drsná prostředí. Zároveň velikost a hmotnost montovaných výrobků musí být zohledněna pro bezpečnost manipulace. Také je třeba vzít v úvahu únavu operátora, jeho zdraví a čas na odpočinek, zvláště u často se opakujících operací. Chyby při sestavování mohou vznikat především pokud jsou součásti složité, obtížně se zarovnávají, vkládají nebo pokud je přístup pro vkládání omezený. Zároveň se ale kvalita ruční výroby zvyšuje kvůli tomu, že komponenty nízké kvality mohou být během

montážního úkolu vytríděny bez obtíží nebo vysokých ztrát, a to díky pokročilým kontrolním schopnostem lidské obsluhy. [12]

### 1.2.2 Automatizovaná montážní linka

Automatizovaná montážní linka na rozdíl od ruční montážní linky využívá mechanizované a automatizované zařízení, která nahrazují lidskou práci tzn. provádí různé montážní úkoly na montážní lince. Má význam při určité sériové a opakované výrobě a je závislá na ekonomických podmínkách dané výroby. Většina automatizovaných montážních systémů je navržena tak, aby prováděla pevnou sekvenci montážních kroků na konkrétním produktu. Automatizovaná montážní linka se skládá z jednotlivých automatizovaných pracovišť. Ty jsou propojeny systémem přenosu dílů. Možnosti přepravy dílů mezi jednotlivými pracovišti jsou zmíněny v kapitole 1.2 Montážní linka. [6] [9] [13]

V ideálním případě nejsou přítomni na montážní lince žádní lidé s výjimkou pomocných prací jako je výměna nástrojů, nakládání vykládání dílů, opravy strojů a jejich údržba. Moderní automatizované linky jsou integrované systémy fungující pod kontrolou počítače. Tento typ linek využívá především ve zpracovatelských provozech a montážích.

Automatizovaný montážní systém provádí sekvenci montážních operací za účelem sloučení více částí do jedné sestavy. Jedna sestava může být konečný produkt nebo podsestava většího produktu. Často se sestavená sestava skládá ze základní části, ke které jsou připojeny další vedlejší části. Jednotlivé části se spojují po jednom, takže montáž se dokončuje postupně. [9]

Automatizované montážní systémy se skládají z několika subsystémů [9]:

- a) Jedna nebo více montážních stanic. Na těchto linkách se provádí montážní úkony.
- b) Podávací zařízení, které slouží k dodávání jednotlivých komponentů do montážních stanic.
- c) Systémy pro manipulaci a práci s montážními sestavami.

### Důvody využití automatizovaných linek

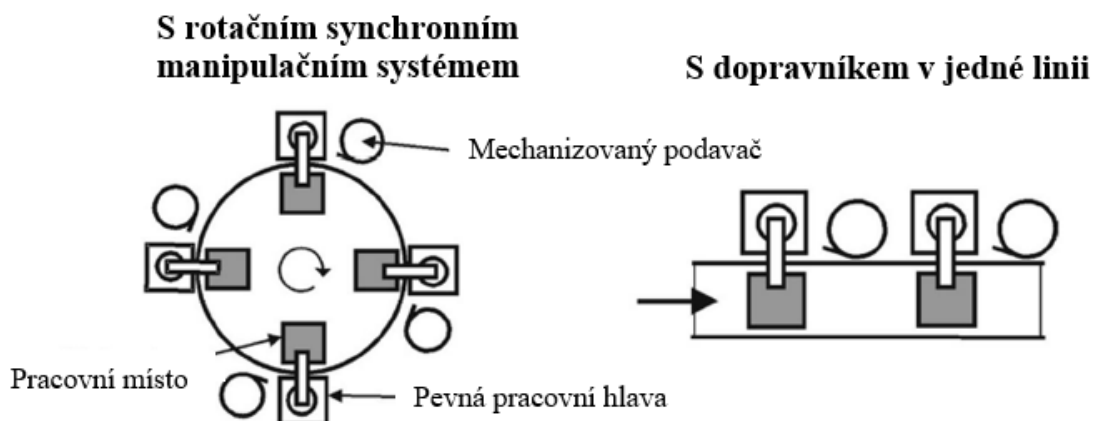
Aby byla automatizovaná montáž patřičně využita, měly by být zváženy některé podmínky. První z nich závisí na poptávce po montovaném produktu. Pokud je produkt vyráběný ve velkém množství, alespoň v milionech kusů, pak je vhodné využít automatizovanou montážní linku. [9]

Dalším podmínkou pro vhodné využití montážní linky je stabilní design montovaného produktu. Obecně platí, že při každé změně designu produktu se mění montážní nástroje v pracovních stanicích. V horších případech se může měnit i pořadí montážních operací. Takové změny mohou být mnohdy velice časově i finančně nákladné. Tohle tvrzení však neplatí, pokud je v dané firmě zavedená nějaká forma standardizace, nebo by se jednalo o montáž přidružených součástí. [7] [9]

Poslední podmínkou vhodného využití montážní linky je počet součástí, ze kterých se montovaný výrobek skládá. V ideálním případě by jich měl být tak střední počet, aby sestava nebyla natolik složitá, že by to automatizovaná linka nezvládla, ale zároveň ani tak jednoduchá, že by to lidský pracovník měl rychleji. [9]

Automatizované výrobní linky můžeme rozdělit na dva různé typy [9]:

- a) Přenosové linky – tyto linky se skládají z pracovních stanic poskládaných za sebou. Mezi jednotlivými pracovišti je zajištěna automatická přeprava. Tento druh linek je velice nákladný, tudíž se vyplatí při práci s velkým množstvím dílů v sestavě.
- b) Číselníkové indexové – tyto stroje jsou určeny k dopravě dílů na montáž. Číselníkové indexové stroje jsou umístěny ve prostřed kruhu vytvořeného z pracovních stanic. Pracovní stůl je ovládán mechanismem tak, aby bylo zajištěno pootočení před každým následujícím cyklem.



Obrázek 7 Příklady uspořádání automatizované linky [12]

**Variace procesu:**

- Podávání – na začátku je důležitá orientace, kvůli správné prezentaci součástky koncovému efektoru ramene robota. Té lze dosáhnout vibračními/odstředivými miskovými podavači, ale také příjmem dílů již orientovaných dodavatelem na paletě, zásobníku nebo únikovými mechanismy pro podávání dílů.
- Manipulace – v této fázi dochází ke spojování součástí anebo podsestav dohromady, aby bylo možné později sestavit konečný produkt.
- Montáž – při montáži lze použít různé nastavení umístění dílů a také různé způsoby spojování.
- Kontrola – je důležité identifikovat chybějící, nesprávné, poškozené, špatně orientované nebo jinak poškozené součásti. Dále probíhá detekce cizích těles, selhání dílů a nefunkčních strojů. Mezi technologie, které kontrolují tyto možné nedostatky, patří různé video systémy, tlakové senzory a další.
- Přenos – jelikož jsou tyto systémy většinou postaveny na paletě nebo držáku, je nutné zajistit přenos podsestav z jedné stanice na druhou. Možnosti přepravy jsou zmíněny v kapitole 1.2.2 Automatizovaná montážní linka konkrétně důvody využití automatizovaných linek. [12]

**Ekonomické úvahy**

Nevýhodou automatizované montážní linky je to, že je zcela nepružná. Nejčastěji je jeden pevný montážní systém pro jeden typ produktu (kromě případů, kdy jsou varianty založeny na součástech chybějících v původním návrhu). Naopak velkou výhodou je vysoká výrobní rychlost, dodací lhůta výrobku tak bývá obvykle jeden měsíc. Tato skutečnost je velmi ekonomicky výhodná. Automatizovaná výroba má ještě několik nevýhod, a to především, že náklady na nástroje jsou velmi vysoké a náklady na vybavení taktéž. [12]

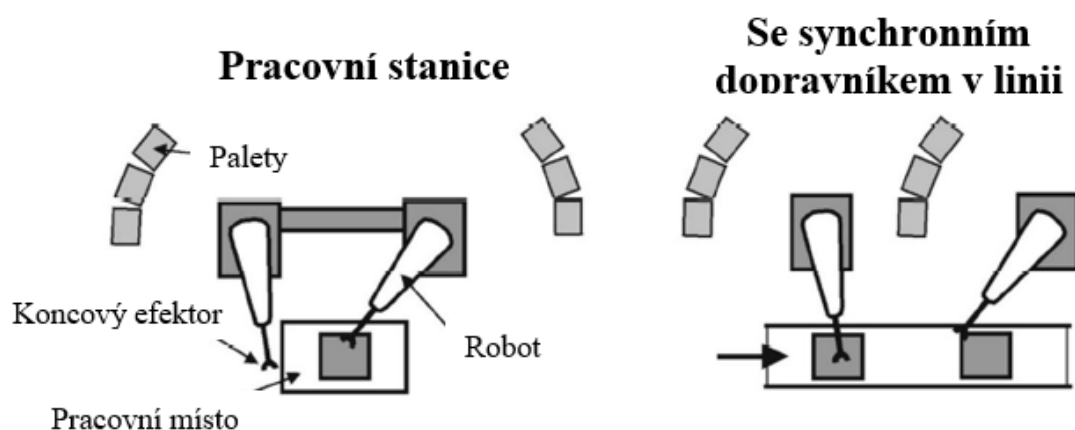
**Typické aplikace [12]:**

- Elektronické a elektrické komponenty a zařízení
- Desky plošných spojů
- Malé domácí spotřebiče
- Lékařské produkty

- Automobilové podsestavy
- Kancelářská technika

### 1.2.3 Flexibilní montážní linka

Flexibilní montážní systémy využívají programovatelná, robotická zařízení ke skládání dříve vyrobených komponent anebo podsestav do kompletního produktu či jednotky produktu na stejném nastavení s rychlými automatickými změnami nastavení. K dosažení obecného montážního systému lze využít řadu přenosných mechanismů, podávacích zařízení, různé typy robotů a koncových efektorů. Flexibilní zařízení je obvykle spojeno s automatickým zařízením, které dokáže identifikovat produkty a podle toho měnit programy. Tento typ montáže klade na konstruktéry určitá omezení nejen kvůli tomu, že musí být všechny produkty navrženy pro automatizaci, ale také proto, že všechny díly a konečné produkty musí být dostatečně podobné, aby mohly být postaveny na stejném strojním zařízení nebo pracovní stanici. Flexibilní typ montáže se využívá především, aby roboti vykonávali pro lidské pracovníky namáhavé úkoly, manipulovali s kapalinami a přesně umísťovali komplikované tvary. Hojně se aplikuje v automobilovém průmyslu, kde typicky instalují čelní sklo, montují baterie, nalévají benzín nebo montují pneumatiky. [12] [6] [11]



Obrázek 8 Příklad flexibilní montážní linky [12]

**Variace procesu:**

- Typy robotů – existuje několik typů robotů. Mohou mít různé konfigurace, nosnost, pracovní obálku, stupně volnosti zápěstí a přesnost.
- Koncové efekty – jsou různé podle tvaru součásti a směru podávání, flexibility, křehkosti a celkové velikosti a hmotnosti. Koncové efekty mohou mít ovládání uchopovacího mechanismu buď pneumatické, vakuové, elektromechanické či elektromagnetické.
- Podávání – stejně jako u automatizované montáže musí být součást do koncového efektoru vložena ve správné orientaci. Orientace lze dosáhnout stejným způsobem jako u automatizované montáže.
- Manipulace – při manipulaci dochází ke spojování součástí a podsestav stejně jako u automatizované montáže. K manipulaci se mohou navíc využívat robotická ramena.
- Montáž – samotná montáž má stejný postup jako automatizovaná montáž.
- Kontrola – u kontroly flexibilní montáže se využívají stejné postupy jako při automatizované montáži, kterými jsou tlakové senzory a video systémy.
- Přenos – přenos dílů funguje na stejném principu jako u předchozích montáží. [12]

**Ekonomické úvahy:**

I přes název tohoto typu montáže není jeho flexibilita až tak vysoká. Také rychlost výroby je pouze mírná, tudíž dodací lhůta výrobků je týdny až měsíce. Náklady na nástroje i vybavení jsou vysoké a mohou být až velmi vysoké. Zároveň programování a učení robotických operací a pohybů je složité a zdoluhavé. Tento typ výroby má ale také velkou výhodu v tom, že ji lze přizpůsobit pro montáž několika různých produktů a jejich variant. [12]

**Typické aplikace:**

- Celková montáž, manipulace s materiálem
- Pro prostředí nebezpečná pro člověka (radioaktivní, toxická)
- Nakládání a vykládání dílů pro výrobní procesy
- Bodové a MIG svařování



- Obrábění abrazivním paprskem
- Povrchové úpravy, broušení, leštění, stříkání [12]

#### 1.2.4 Navržení designu montáže

Návrh designu montáže by měl být podle Boothroyda a Dewhursta (1992) [14] prvním krokem v procesu vývoje produktu. Je potřeba umožnit konstrukčnímu týmu vybrat nejvhodnější montážní systém pro uvažovaný výrobek, jelikož samotná montáž má na konečný výrobek velký vliv. Výběr designu montáže se liší na základě složitosti a četnosti vyráběných dílů. Velké rozdíly v montáži, a tudíž i v jejím designování, se mohou demonstrovat na třech různých typech průmyslů – automobilový průmysl, průmysl obráběcích strojů a elektronický průmysl. [6]

Automobilový průmysl je charakteristický [6]:

- Mnoha komponenty
- Velkým množstvím a různými typy upevňovacích a spojovacích operací
- Složitějšími montážními úkoly
- Velkou hmotností finálního výrobku
- Pohyblivou montážní linkou
- Mnoha specializovanými nástroji potřebnými pro montáž
- Velmi velkoobjemovými výrobky

Průmysl obráběcích strojů je charakteristický [6]:

- Mnoha komponenty
- Velkým množstvím a různými typy upevňovacích a spojovacích operací
- Složitějšími montážními úkoly
- Velmi těžkou váhou finálního výrobku
- Centrální montáží
- Mnoha univerzálními nástroji potřebnými pro montáž
- Velkoobjemovými produkty

Elektronický průmysl je charakteristický [6]:

- Malým počtem součástí
- Malým počtem operací, upevňováním a spojováním
- Méně komplikovanými montážními úkoly
- Nízkou váhou finálního výrobku
- Montážními pracovními stanicemi
- Menší potřebou nástrojů a vybavení
- Velkoobjemovými produkty

### **Návrh montážního systému**

Obecně může být montážní linka vyhrazena buďto pro výrobu jednoho produktu nebo pro více produktů. Jsou zmiňovány především tři hlavní druhy problémů s vytvářením montážní linky. Prvním z nich je problém s vyvážením montážní linky jednoho modelu, druhým je problém s vyvážením dávkového modelu montážní linky a třetí problém je s vyvážením montážní linky se smíšeným modelem. [15]

Ve starší literatuře si odborníci především kladou za cíl optimalizovat již existující systémy nebo vyvážení nových konfigurací sestav, aniž by brali v úvahu jiné parametry jako je např. ergonomie pracoviště nebo doba prováděných úkolů. Jednoduše se zaměřují na proveditelnost a správnost. I přesto se zjistilo, že právě zmiňovaná ergonomie by měla být zařazená do kritérií při navrhování montážní linky, a to především proto, že několik činností prováděných v montážních systémech, a hlavně v těch, které jsou spojeny s opakovanými pohyby, se značnou mírou stresu nebo využíváním nepohodlných pozic může zapříčinit vznik muskuloskeletální poruchy. Aplikace ergonomie při navrhování montážních systémů má hned několik výhod. Výhody jsou spojeny především se snížením rizik pracovních úrazů a se zlepšením fyzických a psychosociálních podmínek, což souvisí i se snížením všech nákladů spojených s nepřítomností anebo zdravotním pojištěním. [15]

Dříve se projekty zaměřovaly zvláště na ergonomii a zvláště na plánování a návrh montážní linky. Dnes už existují projekty, které dokazují mimořádné hodnoty kombinace montážního inženýrství s ergonomií.

Studie z roku 2011 [15] se zaměřuje na nový koncepční rámec vyvinutý pro navrhování a optimalizaci systému, který spojuje produktivitu právě se zmiňovanou ergonomií. Navrhovaný postup se skládá ze tří částí. V první části jsou technologické

proměnné, kam spadají všechny proměnné, které souvisí s vlastnostmi produktu, procesem montáže, s průmyslovým trhem a dostupným prostorem. Ve druhé části jsou proměnné prostředí, kam patří proměnné související s pracovní silou, s fyzickou a psychickou pohodou a bezpečím pracovníků. A následuje třetí část, do které náleží integrovaný postup, což je vývojový diagram znázorňující 14 základních kroků, který vyžaduje integrovaný návrh montážního systému. Návrh postupu si klade za cíl maximalizovat jak produktivitu systému, tak fyzické a psychosociální podmínky pracovní síly prostřednictvím individuálních řešení a analýz.

Již zmíněných 14 kroků třetí části je seskupeno do tří fází. [15]

#### 1. Fáze předběžného návrhu

Fáze předběžného návrhu zahrnuje kroky 1–4 a zaměřuje se na analýzu produktové řady a na vytvoření schématu montážního procesu. Tato fáze předpokládá, že návrh produktu bude proveden především pomocí technik Design For Assembly, které berou v úvahu také aspekty ergonomie a produktivity. [15]

Design For Assembly (DFA) je známý postup formální analýzy, který posuzuje vhodnost návrhů pro výrobu a montáž. Vytváří se multidisciplinární týmy za účelem nalezení odpovídajících řešení. Metodika se již využívá a má viditelné pozitivní výsledky. DFA by se mělo využívat již v raných fázích návrhu, díky čemuž se zabrání zbytečným nákladům v pozdějších fázích vývoje produktu. Obvykle se postupy DFA dělí na dvě kategorie, a to na kvalitativní metody a kvantitativní metody. Kvalitativní metody předkládají designérovi pravidla a pokyny, které doprovází ilustrované příklady. Také zahrnují koncepční pokyny a jasně specifikují, že výběr adekvátních principů strukturování produktu by měl předcházet ošetření jednotlivých složek. Kvantitativní metody zahrnují časové období, náklady a číselné kódy, které jsou přiřazeny k různým součástem a montážním operacím. Druhý kvalitativní přístup je oproti prvnímu více obecný a tím pádem se pro praktickou aplikaci využívá méně. Kvalitativní metoda není samostatná metodologie, přestože zahrnuje pokyny pro úroveň produktu. Tato metoda se využívá spíše jako postup na úrovni jednotlivých součástí v již existujících sestavách než jako nástroj pro návrh na úrovni celého produktu. DFA by měla usnadňovat montáž tím, že celý produkt navrhne pomocí postupů, které zjednoduší produkty pomocí minimalizace počtu dílů. Také je potřeba zjednodušit montážní operace jako manipulace, vkládání nebo podávání. I s tímto metodika DFA počítá. [6]

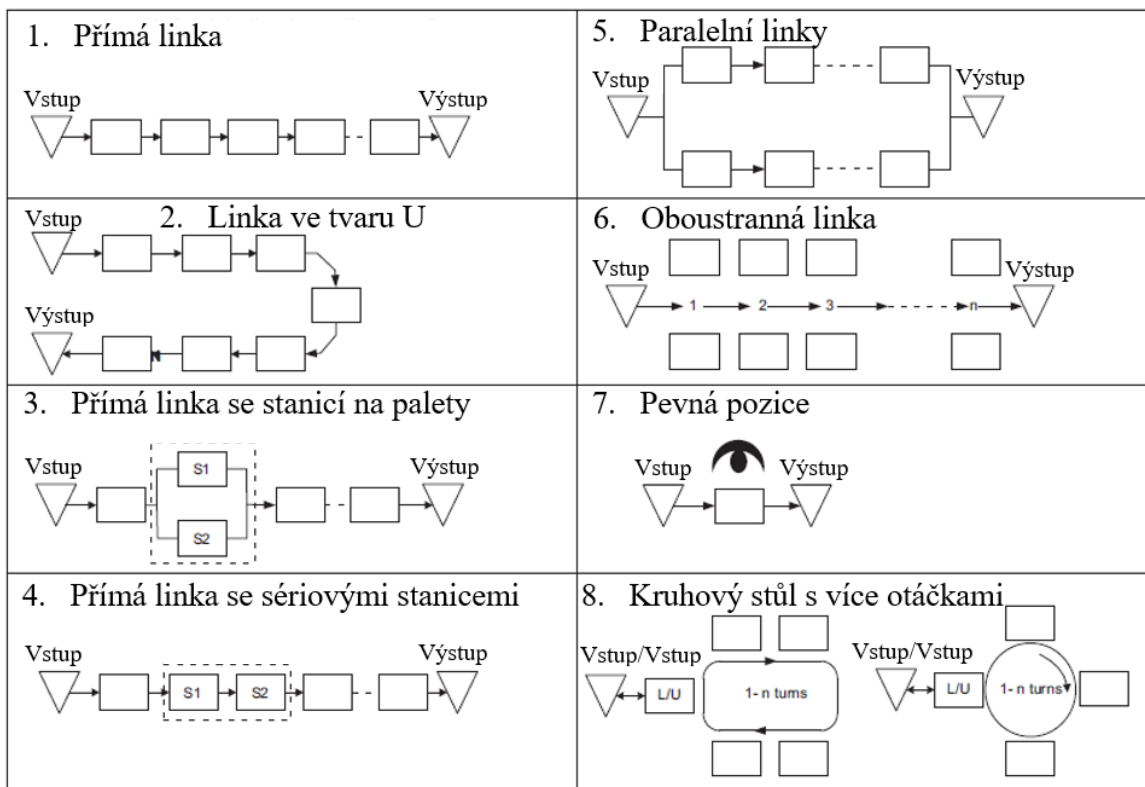
Samotný montážní cyklus může být rozdělen na soubory hlavních úkolů – soubor základních úkolů, které postupně tvoří operátor, akční člen či oba a soubor elementárních

úkolů, které lze definovat jako skupinu jednoho nebo více nedělitelných primárních pohybů, které jsou přiřaditelné jedinému operátorovi. V následující analýze nám toto rozdělení úkolů může pomoci provést tři základní kroky nezbytné k tomu, aby manažeři provozu rozhodli o přesných montážních postupech. Tyto tři kroky jsou [15]:

- přesné měření času úkolů
- zlepšení hodnocení se zjištěním řešení ergonomie
- sestavení databáze pro evidenci a odhad podnikového standardu časů úkolů

Až díky třetímu kroku je možné formulovat odhad časové náročnosti případně dosáhnout správných montážních postupů. V následujícím čtvrtém kroku jsou zohledněny jak technologické, tak environmentální proměnné. Tento krok nabízí nejlepší řešení montážního systému s nejvyšší efektivitou. [15]

Konfigurace uspořádání montážního systému se může velmi lišit, aby vyhovovala různým výrobním potřebám, což ukazuje obrázek č. 9, na kterém jsou zobrazeny nejznámější alternativy konfigurace. Jednou z nejčastějších chyb při navrhování systémů je dělat rozhodnutí založená pouze na několika proměnných, které se zdají být relevantní, bez zohlednění dopadů, které mohou mít v dlouhodobém horizontu. [15]



Obrázek 9 Typy linek [15]

## 2. Fáze detailního návrhu

Fáze detailního návrhu přechází od kroku 5 až ke kroku 10. V pátém kroku se začíná s kompletní analýzou času úkolu, která je nezbytná k identifikaci úzkých míst a časových ztrát způsobených tokem materiálu a ergonomií. Měření pracovní doby a vyhodnocení ergonomie musí být prováděno pro konkrétní pracoviště na několika úrovních pomocí např. techniky časových studií, metody hodnocení ergonomie. Časová studie je analytický postup využívaný ke stanovení nejlepší metody pro splnění úkolu. Nejčastěji se z technik měření času úkolu využívají tyto – přímé měření časů (tj. Bedauxova metoda), Predetermined motion time systém nebo práce Postupy odběrů vzorků. Výsledkem časové studie je navržený tzv. standardní čas, který bere v úvahu rychlost výkonu operátora, a to i s ohledem na osobní potřeby anebo nevyhnutelné zpoždění. Výsledky takovéto analýzy jsou obvykle velmi subjektivní výsledky a mohou se tedy lišit někdy i o 30 % celkového času montáže zaznamenaného pro každou základní operaci. Tudíž stále existují pochybnosti o jejich správném použití v praxi. Jak bylo již zmíněno, lidská rozmanitost dramaticky ovlivňuje analýzu výkonu operátora a výběr designu pracoviště. [15]

Proto následuje krok 6, ve kterém probíhá antropometrické měření. Tato měření zahrnují rozměry částí těla, sílu stisku, výšku, hmotnost a index tělesné hmotnosti (BMI). Výsledky měření jsou pak porovnávány s referenčními standardy pro posouzení stavu hmotnosti a rizika různých onemocnění. [15] [6]

Během těchto kroků lze použít mnoho technik ergonomie (krok 7). Kterákoliv z nich umožňuje konstruktérovi montážního systému identifikovat nezbytné změny či vylepšení ergonomie podle pěti hlavních akcí: změna dispozice materiálu, změna dispozice nástrojů, zlepšení principů ekonomiky pohybu, změna zvedacích či manipulačních zařízení, zdvojení operátorů a zlepšení školení personálu. Výsledkem alternativního postupu návrhu pracoviště (kroky 5,6,7) je definice optimálního druhu a počtu pracovních míst, požadovaného prostoru, umístění nástrojů, potřebného vybavení, a to s ohledem na ergonomii a bezpečnost. [15]

Po kroku 7 tedy v kroku 8 je nutné provést obecnou analýzu ergo kvality, aby bylo možné pokračovat v procesu návrhu. Pokud návrh pracoviště nezaručuje určitou úroveň ergo kvality, musí se návrh vrátit do kroku 4, aby bylo možné vybrat konfiguraci systému, která má menší dopad na psychosociální podmínky. V opačném případě, tedy pokud návrh odpovídá určité kvalitě, bude návrh definován a schválen konečný návrh pracoviště.

Kroky 9 a 10 slouží ke kontrole, proto pro zlepšení účinnosti a respektování doby cyklu musí každá pracovní stanice projít minutovým a dobře naplánovaným přidělením času

úkolů. Také techniky relativního vyvážení by měly být aplikovány podle konkrétního zvoleného uspořádání sestavy. [15]

### 3. Fáze řízení a zlepšování

Nově vyvinutý rámec si klade za cíl najít konfiguraci montážních systémů, které nejlépe umožňují maximalizovat produktivitu i fyzické a psychosociální podmínky pracovní síly. K dosažení tohoto cíle jsou potřeba poslední 4 následující kroky, aby bylo zajištěno úplné monitorování a neustálé zlepšování procesu. V kroku 11 je třeba definovat a provádět účinný systém pobídek. Následuje krok 12, kde se periodicky plánuje a realizuje zlepšení konfigurace sestaveného systému. V kroku 13 se vyhodnocují výkonnostní indexy a ty se neustále porovnávají s konečným výstupem realizovaných systémů. Tyto prvky motivačního systému umožňují zlepšit psychosociální podmínky na pracovišti. Databáze standardních časů úkolů se neustále aktualizuje díky shromážděným konečným datům, aby se vytvořila standardní data, která mohou společnosti použít v budoucích designových studiích (krok 14). [15] [6]

#### 1.2.5 Vliv logistiky na montáž

Při navrhování práce na montážních linkách se musí dbát na maximalizaci času s přidanou hodnotou. Ve štíhlé výrobě se využívá standardizace práce pro snížení neefektivních časů a ztrát. Z hlediska podávání materiálu by měl operátor konat pouze takové úkony, které výrobku zvyšují hodnotu. Vyvarovat se úkonům, které nepřidávají hodnotu produktu úplně nejde, ale měly by být co nejkratší. Mezi takové časy patří i čas manipulace a chystání montovaných dílů. Proto musí být zásobovací logistika přesně vyvážená, díly by neměly přebývat nebo, v horším případě, aby chybějící díly pozastavily montáž. [16]

Pro dokonalé zásobování je důležité vědět kolik komponentů je potřeba na každé pracovní stanici během určitého časového období. Jedním z hlavních problémů plánování je, jak dopravit komponenty z centrálního skladu do každé montážní buňky nebo na každou stanici výrobního systému. Tuhle dopravu můžeme rozdělit do tří hlavních skupin:

- 1) Paleta na pracovní stanici
- 2) Vozík na pracovní stanici
- 3) Sada pro montážní linku

Pro vyřešení můžeme použít mnoho dalších jiných způsobů dopravy materiálu na pracovní místo. Tyto tři způsoby byly zvoleny z důvodu jejich odlišnosti. Liší se například přepravními zařízeními (vysokozdvížený vozík, ruční vozík, montážní sada) nebo různým řešením balení. V prvním případě (paleta na pracovní stanici) je celý položkový náklad předán na pracovní stanici. Ve druhém případě jsou jednotlivé požadované položky vychystány a nakládány do vozíků nebo mobilních boxů. [17]

Každá strategie dodávání materiálu má jiné náklady na manipulaci, vychystávání a přepravu. Proto je důležité porozumět různým typům nákladů, abychom byly schopni zvolit ten správný systém, a tím minimalizovat časové i finanční ztráty. Každý způsob dopravy vyžaduje jiné množství prostoru, různé uličky pro dodání a přesun materiálu. Nezohlednění těchto požadavků by mohlo mít negativní vliv na optimální výkon doplňování materiálu na montáž. [17]

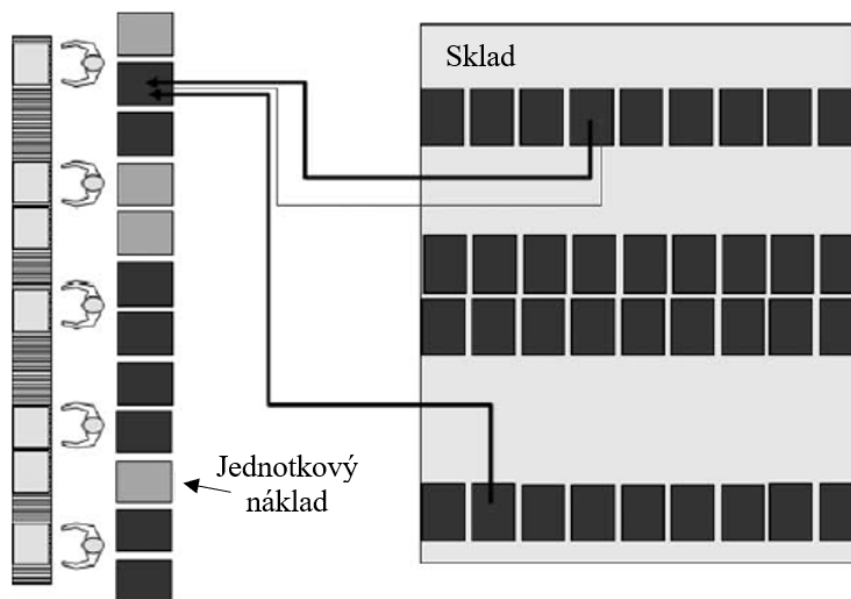
### **1) Paleta na pracovní stanici**

V tomto způsobu zásobování jsou součásti přepravovány ze skladu na různé montážní linky pomocí jednotkového nákladu neboli na paletách. Jelikož konkrétní výrobní systém vyžaduje více druhů komponentů, které závisí na zakázce, jsou dodávány všechny potřebné komponenty potřebné ke zhotovení produktu. Tyto palety jsou dopravovány ze skladu až na konkrétní pracovní stanici, kde se materiál zpracovává. [17]

Tento typ zásobování se často využívá u více modelových montážních linek a dobře standardizovaných produktů. Když díl již není potřeba na montážní stanici, paleta se se zbytkem materiálu vrátí zpět na své místo do centrálního skladu. Až se paleta vyprázdní je odstraněna, aby její místo mohla zaujmout nová paleta s doplněným materiálem. Tento způsob je ideální, když dodané komponenty jsou potřebné pouze na jedné montážní stanici během určitého období, aby nedocházelo tvoření neproduktivních časů přenášením na jiné montážní stanice. [16] [17]

Tento způsob zásobování je výhodný, pokud je paleta vždy vyprázdněna na pracovní stanici. Paleta může být vyprazdňována s vysokou frekvencí anebo jen na konci montáže, vždy je ale důležité, aby materiál nemusel putovat zpět do skladu.

Problém tohoto způsobu zásobování je v přepravování celých jednotkových nákladů, jelikož všechny vybalovací činnosti musí provádět operátoři, což zahrnuje další pohyby a úkony navíc, což snižuje efektivitu práce a narůstá i neproduktivní čas. Kromě tohoto problému můžeme narazit na další nedostatky jako vrácení nevyužitého materiálu do skladu (reverzní logistika), protože materiál, který není využitý by zabíral místo v pracovní stanici a překážel operátorům v produktivní činnosti. [17]



Obrázek 10 Paleta na pracovní stanici [17]

## 2) Vozík na pracovní stanici

Způsob zásobování montážních pracovišť pomocí vozíku na pracovní stanici se využívá pro více stanic, které vyžívají stejné komponenty ve stejném čase. Komponenty jsou pro každou stanici sestaveny dle seznamů. Seznamy využívají skladníci, kteří připravují vozíky se všemi komponenty potřebnými pro montáž, tyto vozíky jsou pak dopravovány na jednotlivá pracovní místa. [17]

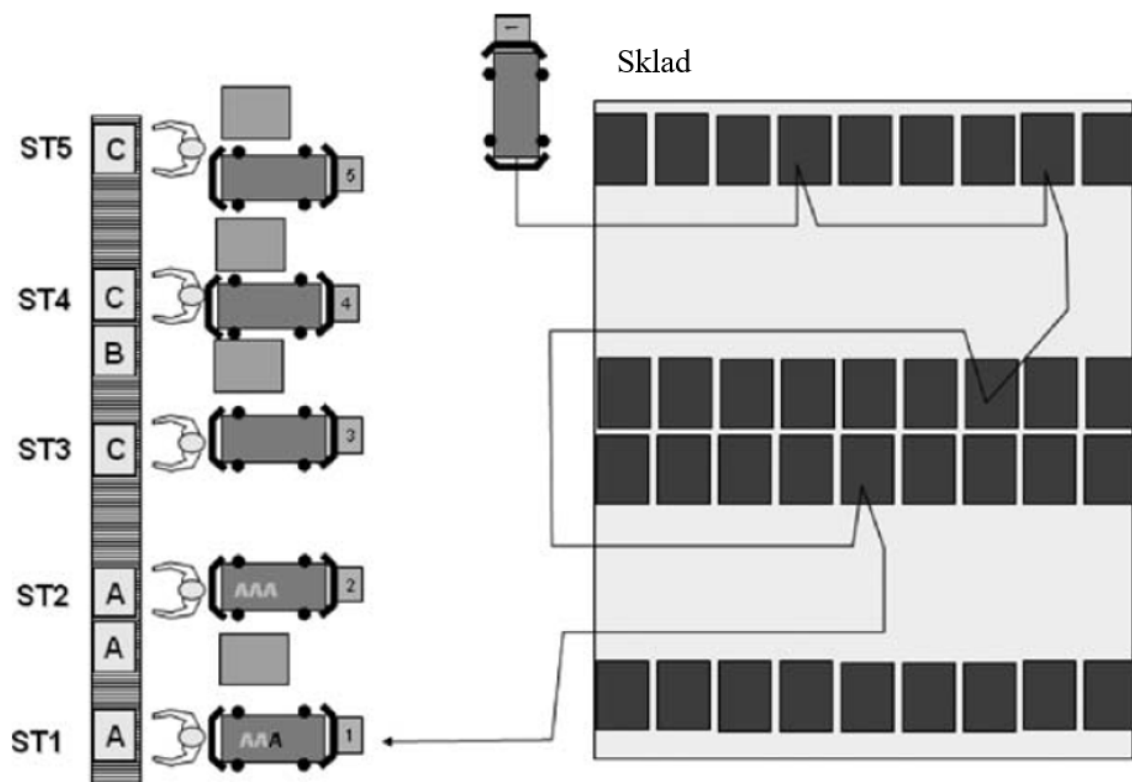
V tomto systému montážní pracovníci manipulují pouze s díly používanými při jejich montážních úkolech. Každý vozík je připraven ke konkrétnímu produktu a ke konkrétní montážní stanici, aby nedošlo k možnosti chyby. [17]



V porovnání s předchozím systémem zásobování, tento systém umožňuje snížit počet cest mezi skladem a pracovištěm. Výhodou se stává i množství nahromaděného materiálu na pracovišti, které není nikdy větší, než je potřebné pro daný úkon, a tím se zvětšuje manipulační prostor operátorovi. [16]

Tento způsob dodávání materiálu je omezený nejen velikostí dávky, ale taky velikostí daných komponentů. Jelikož dopravní vozík přepravuje správné množství komponentů pro daný počet položek. [17]

Tento typ dopravy materiálu v montáži se využívá u komponentů se specifickými vlastnostmi jako je například malé rozměry a nízká frekvence. [17] [18]



Obrázek 11 Vozík na pracovní stanici [17]

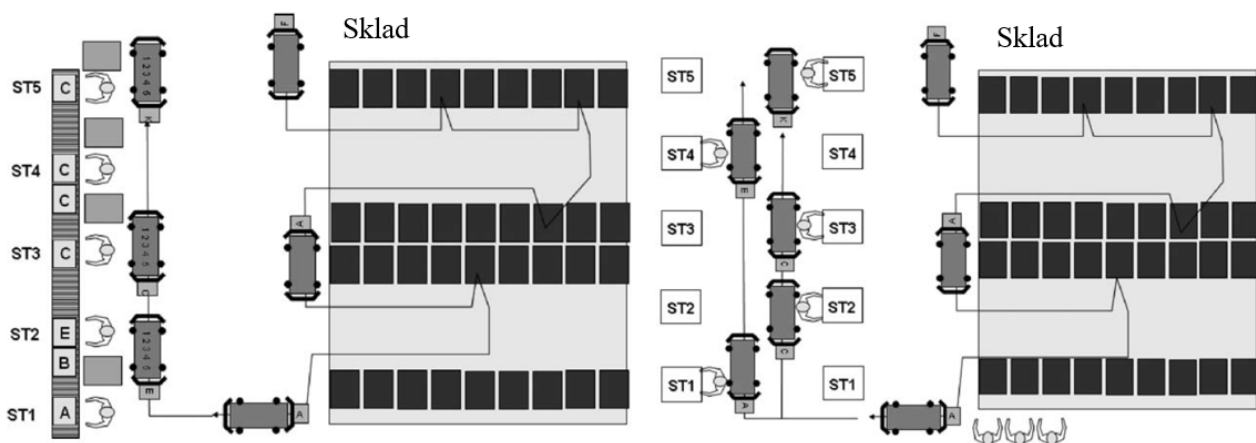
### 3) Sada pro montážní linku

Tento typ zásobování montážní linky spočívá ve vytváření sad komponentů pro každý konečný produkt sestavený na montážní lince. Každá sada obsahuje jak hlavní, tak i vedlejší části pro vytvoření jednoho finálního produktu. Podle časového rozvrhu jsou takto připravené sady ze skladu dopravovány na montážní linku. [17]

Takhle připravené sada putuje na první stanoviště montážní linky, kde operátor splní svoji část montáže a posouvá sadu dále. Takhle sada projde celou montážní linkou. Komponenty jsou mnohdy barevně či číselně označeny podle toho, na kterém pracovišti montážní linky mají být zapracovány do výrobku. Značení se využívá k předcházení chyb na pracovištích. [17]

Tato strategie se používá pro různé montážní systémy jako je klasická sekvenční linka nebo montážní linka s paralelními stanicemi obě můžeme vidět na obrázku 12. Obě využití mají své výhody i nevýhody.

Rozdíl mezi vozíkem na pracovní stanici a sadou pro montážní linku je počet připravených vozíků. V druhé strategii je počet vozíků přímo vázaný na velikost výrobní šarže nebo počtu stanic. Zatímco ve třetí zmíněné strategii se počet připravených sad rovná počtu konečných produktů pro každou pracovní linku, nejedná se o funkci dalších proměnných produkčního systému. [16] [17]



Obrázek 12 Sada pro montážní linku [17]

### 1.2.6 Vyvažování montážní linky

Problém s vyvažováním montážní linky je považován za jeden z hlavních problémů při navrhování a plánování výrobních systémů. Vyvážení montážní linky je velmi zdlouhavý a náročný proces. Vyvažování montážní linky je hledání optimálního přísunu práce na jednotlivá pracovní stanoviště podle předem definovaného cíle. Tyto cíle mohou být odlišné v mnoha odvětvích nebo v různých situacích např. minimalizace pracovních stanic s udržením dané doby cyklu, nebo může být cílem minimalizovat dobu cyklu s daným počtem montážních stanic. [19] [20]

Vyvažování montážní linky, kde se montuje pouze jeden druh výrobku, můžeme realizovat pomocí dvou způsobů. První typ vyvážení spočívá v přidělování úkolů pracovním stanicím tak, aby byl počet stanic pro danou rychlost výroby minimalizovaný. Druhým způsobem je v maximalizace rychlosti výroby nebo minimalizování součtu neproduktivních časů na všech montážních pracovištích. Vyvažování montážních linek s větším sortimentem montovaných produktů zahrnuje hlubší rozpracování počátečního hrubého uspořádání montážní linky. [19] [20]

Vyvažování linek s vyšším sortimentem se rozděluje na dvě části. Tou první je montážní linka pro více modelů, kde se různé modely výrazně liší, proto výroba probíhá v dávkách každého jednotlivého produktu. Druhou možností je montážní linka, na které probíhá montáž několika podobných druhů výrobků. Při vyvažování linek smíšených modelů však rozdílné charakteristiky montážních procesů různých modelů mají za následek nové problémy, jako je drift. [20]

Drift: Tento termín představuje odchylku od optimální doby cyklu. Jedním z hlavních cílů vyvažování je dosažení podobného času na jednotlivých pracovištích. Tohle je v praxi velmi složité až nemožné při výrobě velkého množství různých produktů, kde probíhají různé montážní operace. Odchylky mohou být jak kladné, tak záporné. [20]

Záporný drift představuje časový úsek, po který stanice neprovádí žádnou činnost. Záporný drift je často způsoben velkým rozptylem montážních procesů. Záporný drift snižuje celkovou efektivitu celé montážní linky. [20]

Kladný drift je časové rozpětí, během kterého pracovní stanice prodlužuje předem určenou dobu cyklu. Kladný drift vyvíjí velký tlak na pracovníka na dané stanici, především ale má špatný dopad na celkovou produkci celé montážní linky. [20]

K řešení kladného i záporného driftu, tak i celého vyvážení montážních linek, můžeme využít heuristické techniky, které mohou poskytnout dobré výsledky u jednotlivých problémů v krátkém čase. Řešení, které se blíží optimálnímu vyvážení linky lze také dosáhnout pomocí iteračních algoritmů. Tyto algoritmy dokážou v krátkém výpočetním čase dosáhnout velmi dobrých výsledků. [19]

### 1.2.7 3D projektová montáž

Díky velkým výkyvům v poptávce je vyžadováno, aby nový výrobní systém měl rychlé reakční schopnosti. Jednou z příležitostí je to, že všechny výrobní stroje jsou propojeny mezi sebou a zároveň s okolím pomocí senzorů. Stroje si tak mohou uvědomit kontext a vnímat přítomnost operátorů a také jejich chování, což otevírá nové druhy spolupráce mezi člověkem a strojem. Stroje tak mohou pomoci nezkušené obsluze, aby nenastala nějaká chyba. To je velmi důležité, protože lidé jsou stále nedílnou součástí výrobního prostředí navzdory snaze vše automatizovat. Výzkumné obory jako je počítačové vidění, analýza obrazu a hloubky pomocí senzorů a 3D projektová montáž zlepšují zpracovávání informací. Právě 3D projektová montáž se začíná používat čím dál častěji. Jednak kvůli rychlosti a také kvůli jednoduchosti učení operátora montážní činnosti. Díky těmto možnostem učení jsou i noví operátoři schopni pracovat na složitějších sestavách za krátký časový úsek. [18]

#### a) Videem podporovaná montáž

Video je jedním z nástrojů, které se využívá při učení nových operátorů. Zejména učení montážních procesů prostřednictvím videí je možné a zlepšuje i celkový výsledek zaškolení. Zaškolení operátoři vidí jako největší výhodu video montáže možnost nekonečného opakování postupu, který se potřebují naučit. Také tvrdí, že je to mnohem přesnější než pokyny psané na papíře. Video má také výhodu v tom, že lze zpomalit na rychlost operátora a přizpůsobit se mu tak. Pro nahrávání těchto výukových videí zatím není určena nejlepší pozice kamery. Předpokládá se, že nejlepší by bylo umístit kameru přímo na operátora a zároveň se řeší, v jakém jazyce by mělo být video nahráváno. Prozatím se jako nejlepší možnost ukázala varianta, kdy operátor, který video vytváří, vůbec nemluví, pokyny jsou pouze vizuální. [18]

#### b) Montáž podpořená virtuální realitou (AR)

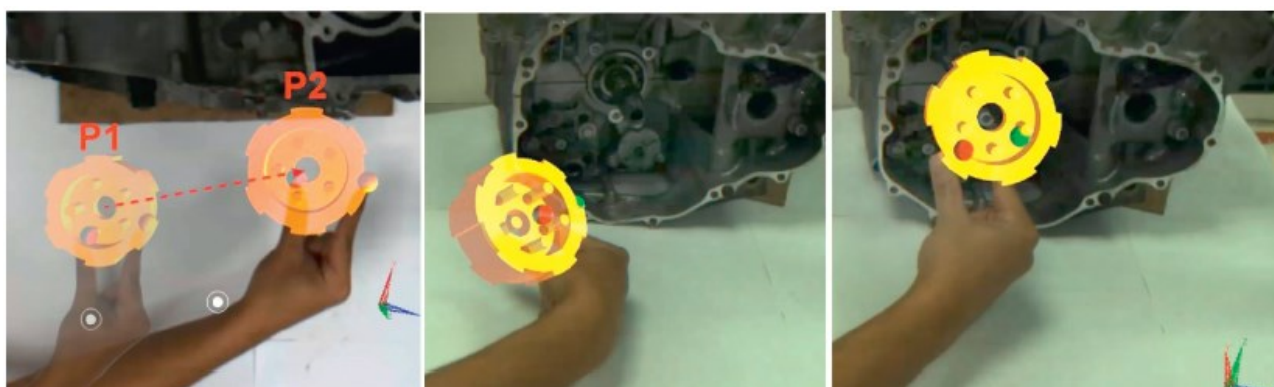
V posledních letech se čím dál více pozornosti věnuje virtuální realitě. Probíhá mnoho výzkumů, které se zaměřují právě na využití virtuální reality v různých odvětvích. AR je ze své podstaty vysoce interdisciplinární obor zabývající se zpracováním signálů, počítačovým

viděním, počítačovou grafikou, uživatelským rozhraním, lidskými faktory, vizualizací informací a designem senzorů. Koncepty virtuální reality jsou použitelné pro širokou škálu oborů jako např. automobilový průmysl, chirurgie a kancelářské prostředí. [21]

AR umožňuje, aby počítačově generovaný virtuální obsah překrýval pohled na skutečný svět. Ukázalo se, že přijímání instrukcí pomocí AR ve srovnání se čtením papírových manuálů výrazně zkracuje dobu dokončení stejných úkonů. [22]

Virtuální realita se také používá při montáži, převážně jako učební pomůcka. ARsembly je počítačem podporovaná montáž pro manuální pracovníky, kteří používají AR. Podobné systémy se využívají také pro kontrolu a údržbu. [23]

Důležitou oblastí využití jsou asistenční systémy, které podporují pracovníky ve složitých montážních procesech. I v tomto případě jsou slibné systémy, které překračují psané pokyny, např. již zmiňovaná video dokumentace. Ukázalo se, že AR je velmi nápomocná. Může poskytovat pomoc krok za krokem pro ruční montážní procesy. Studie z roku 2016 ukázala, že AR zlepšuje výkon úkolů tím, že snižuje chybovost o 82 % a může rovněž zmírnit mentální zátěž. [24]



Obrázek 13 Montáž podporovaná AR [56]

## 2 NÁSTROJE ŘÍZENÍ KVALITY

Nástroje pro hodnocení kvality se začaly využívat již ve 40. letech minulého století. V začátcích kontroly kvality se nástroje opíraly především o pojmy z teorie pravděpodobnosti a statistiky. Tyto nástroje jsou ve výsledku velice jednoduché, ale při správném využití je jejich efektivita velmi dobrá. Dají se díky nim analyzovat problémy s kvalitou, mohou odhalit příčiny problému, ale také ukázat směr pro odstranění chyby a zlepšení kvality. [25] [26]

### 2.1 Sedm klasických nástrojů řízení kvality

Sedm klasických nástrojů řízení kvality bylo vyvinuto nezávisle na sobě. Poprvé je pospolu popularizoval Dr. Kaoru Ishikawa a pojmenoval je „Základních sedm nástrojů kvality“. Pan Ishikawa nevynalezl všech sedm nástrojů, některé z nich se používaly už kolem roku 1900. Tyto nástroje jsou také známé jako základní nástroje kvality, jelikož jsou velmi jednoduché a využijí je i lidé méně proškolení v oblasti statistiky. [27]

Mezi tyto nástroje patří [25]:

- Kontrolní list
- Vývojový diagram
- Ishikawa diagram
- Histogram
- Paretova analýza
- Bodový diagram
- Regulační diagram

#### 2.1.1 Kontrolní list

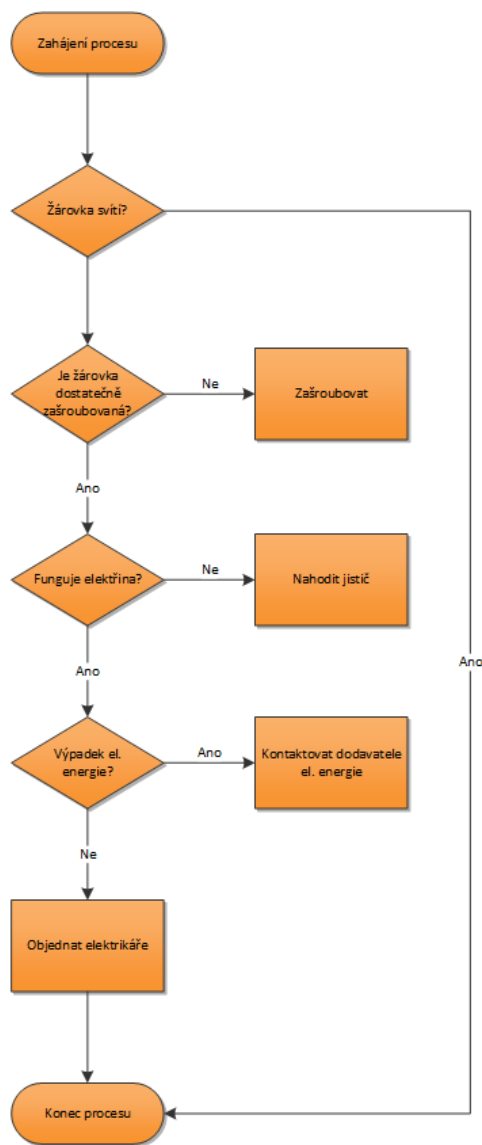
Kontrolní listy jsou formuláře s určitými formáty, které slouží k prvotnímu sběru dat. Napomáhají uživatelům systematicky zaznamenávat a kategorizovat data, která mohou být dále zpracovávána například Paretovou analýzou nebo histogramem. Data jsou systematicky sbírána právě na kontrolní list. Zaznamenávají se tak frekvence konkrétních událostí během sběrného období dat. Zatím neexistuje jednotný design kontrolních listů, ale obecnou myšlenkou je zaznamenávat všechny relativní informace týkající se neshod a problémů, aby listy usnadňovaly zlepšování procesu. Takové informace mohou zahrnovat např. poznámky

o surovinách, výkonnosti strojů nebo změny obsluhy. Výhod kontrolních listů je hned několik. Dají se velmi snadno pochopit, mohou se snadno aplikovat a mohou také vytvořit jasný obrázek o situaci a stavu organizace. Jsou to také účinné a výkonné nástroje k identifikaci častých problémů, ale už nemají efektivní schopnost je analyzovat. [27] [28]

V posledních letech také vznikla digitální verze kontrolního listu. Digitální podoba má hned několik výhod. Jednak se její podoba dá přizpůsobit preferencím kontrolovaného výrobku, také výsledky se automaticky ukládají, vyhodnocují a mohou informace o případném chytrém výrobku předat mnohem rychleji než u klasických papírových kontrolních listech. Digitální kontrolní list mohou operátoři používat na tabletech nebo počítačích. [29]

### 2.1.2 Vývojový diagram

Vývojový diagram je jedním ze základních nástrojů, který představuje přehledné grafické znázornění algoritmu. Slouží ke studiu celého procesu, ukazuje řadu symbolů popisujících sled kroků, které v procesu existují. V podstatě je grafickým vyjádřením



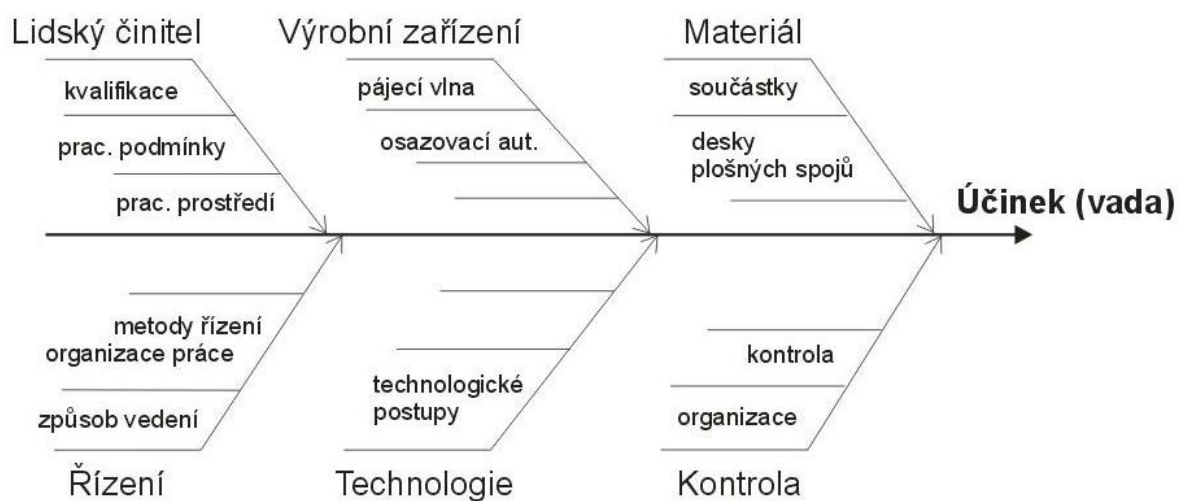
Obrázek 14 Vývojový diagram [53]

pracovního postupu s pouze jediným začátkem a jediným koncem a jeho struktura je vyjádřena právě znaky. Vývojové diagramy se využívají k identifikaci a analýze oblastí nebo bodů procesu a k řízení procesu po odstranění závady. Vývojových diagramů je celá řada, ale obecně se dělí na vývojové diagramy lineární, vývojové diagramy vstup/výstup a vývojové diagramy integrované. Na obrázku 13 můžeme vidět vývojový diagram s příkladem na žárovce. [25] [27] [28]



### 2.1.3 Ishikawa Diagram

Ishikawa diagram jinak také nazývaný diagram příčin a následků nebo také diagram rybí kosti, a to kvůli své struktuře. Zavedl jej profesor Ishikawa v roce 1943 na Tokijské univerzitě. Tento diagram slouží k řešení problémů, systematicky zkoumá a analyzuje všechny potenciální nebo skutečné příčiny, které vedou k jedinému účinku. Abychom mohli účinek zlepšit, řídit nebo odstranit, musíme nalézt co nejvíce možných nebo pravděpodobných příčin problému. Diagram by měl zůstat přehledný a měl by zachovat vztah mezi problémem a jednotlivými příčinami. Tento způsob se často využívá k analýze variability procesu, slouží pro získání dat a svědčí o existenci faktorů ovlivňující problém. Příčiny, které ovlivňují problém mohou mít vlastní příčiny, kterým se říká podpříčiny. Jak již bylo řečeno, z Ishikawova diagramu nelze získat informace ani kvantitativní vyhodnocení jak hlavních, tak ani vedlejších příčin vlivu na proces. Pro takovou analýzu je potřeba jednotlivé příčiny vyhodnotit. K vyhodnocení se využívá Paretova analýza. Na obrázku 14 lze vidět příklad Ishikawa diagramu. [25] [27] [28] [30]



Obrázek 15 Ishikawa diagram [54]

### 2.1.4 Histogram

Histogram je velmi užitečný a také nejčastěji používaný graf ze všech nástrojů kvality. Jedná se o grafické znázornění číselných dat v intervalech. Histogram je velice podobný sloupcovému grafu, jediný rozdíl mezi nimi je ten, že u histogramu navazují sloupce přímo na sebe a není mezi nimi žádná mezera. Základna na ose  $x$  prezentuje interval šířce intervalu, zatímco výška  $h$  představuje četnost výskytu hodnot v daném intervalu. Histogram se používá k zjištění tvaru souboru dat. Jeho použití je vhodnější při menších souborech. [25] [27] [28] [30] [31]

### 2.1.5 Paretova analýza

Paretova analýza je graf, který je do jisté míry podobný histogramu, a to hlavně díky sloupcům které graf vytváří. Liší se převážně v rozložení sloupců, v Paretově analýze jsou sloupce seřazeny sestupně podle výšky. Název této analýzy je odvozen od italského ekonoma Vilfreda Pareta, který pracoval s příjmy a jinými nerovnoměrnými rozděleními v 19.století. Později byla Paretova analýza rozvinuta J. M. Juranem v roce 1950. Myšlenkou Paretova diagramu je převedení příčin na procenta tak, aby celkový součet činil 100 %. Vychází z pravidla 20 na 80, to ukazuje, která z 20 % chyb způsobuje 80 % vad. Cílem Paretovy analýzy je zjistit rozdíly/neshody datových údajů, údajů o údržbě, údajů o opravách, míry zmetkovitosti dílů nebo jiné zdroje. Paretova analýza může také generovat data pro zkoumání zlepšení kvality a zlepšení účinnosti (např. materiálové plýtvání, úspory energie, otázky bezpečnosti, snižování nákladů). [25] [27] [28] [30]

### 2.1.6 Bodový diagram

Bodový diagram je využíván především pro regulaci procesu zdokonalování. Využívá se pro párová číselná data. V případě potřeby měření nějakého obtížně měřitelného parametru se dá využít měření jiného snadněji, rychleji nebo levněji měřitelného parametru, který je přímo závislý na potřebném parametru. Tvar rozptýleného diagramu ukazuje stupeň a směr vztahu mezi dvěma proměnnými. Příčiny problému může odhalit korelace. Bodové diagramy jsou velice užitečné při regresivním modelování. Korelaci mezi dvěma proměnnými může bodový diagram potvrdit či vyvrátit, ale také může naznačit druh korelace mezi proměnnými. Korelace může být pozitivní, negativní nebo je diagram zcela bez korelace. [27] [28] [31]

### 2.1.7 Regulační diagram

Regulační diagram je nástrojem pro regulaci procesů pomocí statistiky. Byl zaveden ve 20. letech 20. století v Bell Telephone Laboratories Walterem A. Shewhartem. Je jedním z nejpropracovanějších nástrojů pro řízení kvality. Využívá se jako preventivní opatření k řízení kvality, snaží se tak předcházet defektům v procesu. Regulační diagram se odvíjí od dlouhodobé kontroly regulované veličiny. Kontroluje se, zda hodnota regulované veličiny odpovídá požadované hodnotě.

Konstrukce regulačního diagramu vychází ze statických principů. Je speciální formou průběhového diagramu a ilustruje množství a povahu změn v procesu za uplynulý čas. Regulační křivka také může popisovat, co se v tomto procesu dělo. Proto je důležité využívat regulační diagram, který lze pozorovat a monitorovat proces, jenž je ve statistické kontrole tedy v souladu s odběry nebo s odběry mezi UCL (horní kontrolní mez) LCL (dolní kontrolní mez). Pokud proces neodpovídá mezím UCL a LCL, tak není pod kontrolou. I tato kontrola se dá dále využít. Může být použita k nalezení příčin problémů s kvalitou. [25] [28] [30]

## 2.2 Sedm nových nástrojů řízení kvality

Mimo sedm základních nástrojů pro řízení kvality existují i další. I když byly představeny již v sedmdesátých letech minulého století, tak se jim říká sedm nových nástrojů kvality. Narozdíl od sedmi klasických, které se zabývají spíše operativním řízením, se nové nástroje zaměřují spíše na plánování. Mezi sedm nových nástrojů kvality patří [25] [30]:

- Afinitní diagram
- Diagram vzájemných vztahů
- Stromový diagram
- Maticový diagram
- Analýza údajů v matici
- Diagram PDPC
- Síťový graf

### 2.2.1 Afinitní diagram

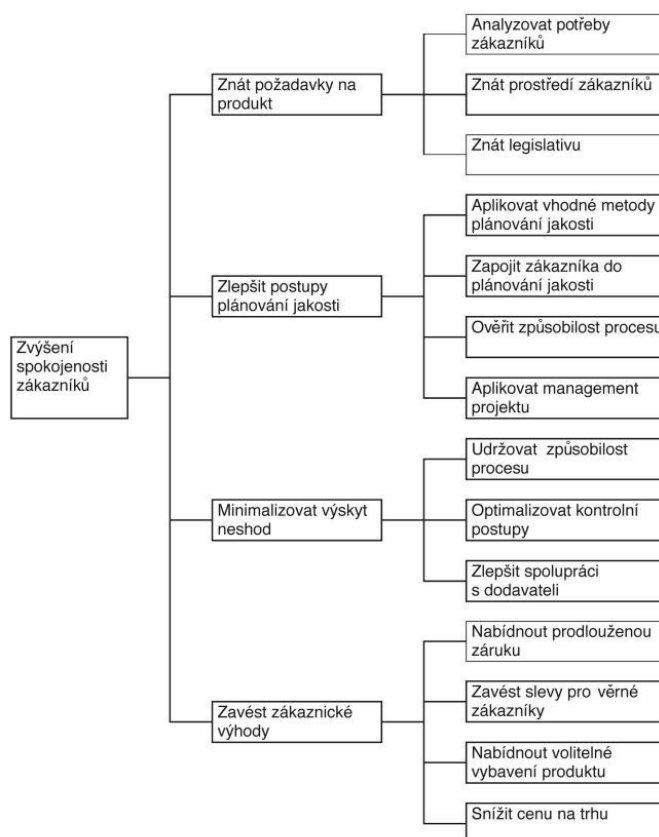
Afinitní diagram je vhodné využívat pro vytvoření a následné uspořádání velkého objemu informací, které se týkají určitého problému. Díky němu se získané informace dají uspořádat do jednotlivých skupin s cílem vyjasnit strukturu řešené problému. Diagram je konečným produktem brainstormingu, který má jistá pravidla. Tým se skládá maximálně z pěti či šesti lidí a uplatňuje se při něm především intuitivní myšlení. Zároveň se doporučuje, aby tým tvořili lidé, kteří spolu již pracovali. Nejdříve je nutné vybrat problém, který bude řešen. Následně každý člen týmu napíše své náměty na řešení daného problému, a doplní si je o informace z jiných zdrojů (konzultace s odborníky, literární rešerše). Poté se karty se získanými náměty náhodně rozptýlí na dostatečně velkou plochu. Získané náměty se rozdělí do skupin podle příbuznosti. Počet vytvořených skupin by se měl pohybovat okolo 7–10 a také je potřeba každou skupinu pojmenovat. Afinitní diagram je tedy soubor skupin a seznam nápadů, které tvoří každou skupinu. [25] [30]

### 2.2.2 Diagram vzájemných vztahů

Diagram vzájemných vztahů je znám také pod názvem relační diagram. Používá se ke zkoumání vzájemných vztahů mezi souvisejícími myšlenkami, které se vztahují k řešení problému. Tento graf se používá hlavně pro dešifrování složitých problémů. Jinými slovy patří k řešení problémů, kde jsou jejich příčiny v korelačních vazbách. Vytvořením diagramu vzájemných vztahů se zobrazí souvislosti mezi příčinou a následkem ve vzájemných vztazích a také zde může vzniknout určitá podobnost mezi různými kauzálními faktory. To nám umožňuje určit příčinu problému a najít řešení. Relační a afinitní diagramy využívají stejné metodiky pro jejich tvorbu, proto je lepší nejdříve vytvořit afinitní diagram a následně ho využít pro tvorbu diagramu příčin a následků, kdy už se pouze doplní šipky. [25] [30]

### 2.2.3 Stromový diagram

Stromový diagram se používá ke znázornění rozdělení celku na části, které spolu logicky souvisí. Jeho využití je zejména v oblasti vysvětlování složitých problémů rozdělením na více částí. Těmto částem se říká dílčí části a tímto rozdělením se problémy značně zjednoduší. Příklad stromového diagramu lze vidět na obrázku č. 15. [25]



Obrázek 16 Stromový diagram [55]

### 2.2.4 Maticový diagram

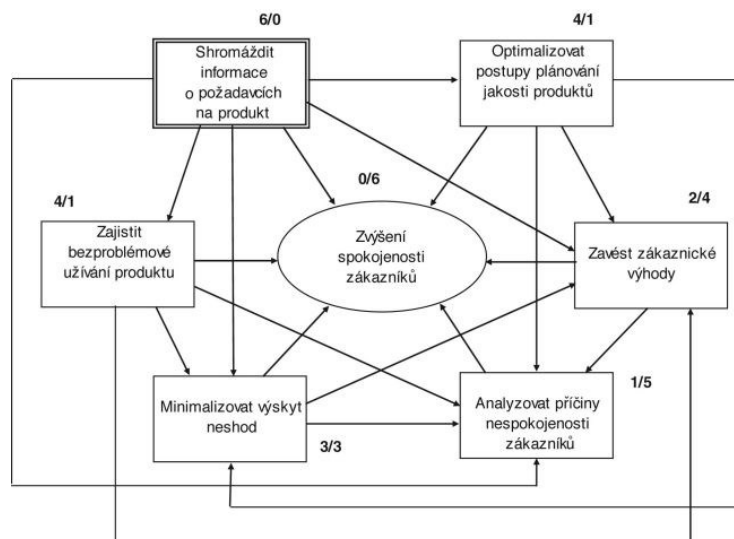
Maticový diagram se využívá pro zobrazení vztahů mezi dvěma nebo více sadami dat. Jeho použitím zajistíme odstranění nepoznaných faktorů. Maticový diagram se vyskytuje v několika různých tvarech. Brassard v roce 1989 uvedl, že se používá nejméně 5 forem. Maticový diagram ve tvaru písmene C, L, T, X a Y, přičemž matice ve tvaru písmene L se používá nejčastěji. Souvislosti mezi dvěma oblastmi zájmu vysvětluje dvojrozměrný diagram. Diagram pro více rozměrné proměnné má vysoce obecnou funkci, může představovat vše od vlastností jednotlivých surovin až po vlastnosti procesů. [25] [30]

### 2.2.5 Analýza údajů v matici

Analýza údajů v matici se využívá z velké části pro průzkum trhu. Může být využita k vývoji a plánování nových výrobků nebo služeb. Je to grafické znázornění analýzy číselných údajů. Jedním z příkladů aplikace je hodnocení různých segmentů trhu a v něm následné porovnávání náležitých produktů. [25] [30]

### 2.2.6 Diagram PDPC

Diagram PDPC (Proces Decision Programme Chart) se využívá pro řešení kritických nežádoucích událostí, které nastávají během procesu plnění. Díky tomuto diagramu se vytváří opatření, aby k možným abnormalitám nedocházelo. V běžném provozu jde o nacházení odpovědí na otázku: Co by se mohlo stát, kdyby? Odpovědí na tuto otázku je efektivní nástroj pro plánování projektu s nastavenými protiopatřeními. [25] [30]



Obrázek 17 Diagram PDPC [55]

### 2.2.7 Síťový diagram

Jako síť spojnic se šipkami pro znázornění denního programu se používá síťový diagram. Síť spojnic a uzlů znázorňuje jejich pořadí v procesu, ale také vztahy mezi jednotlivými etapami. Jedná se v podstatě o kombinaci dvou známých technik. Těmito technikami jsou PERT (Program Evaluation and Review Technique) a CPM (Critical Path Method). Síťové diagramy se používají převážně k plánování vývojových činností. Jsou využívány pro vysokou efektivitu v koordinaci jednotlivých procesů, ale také přináší míru standardizace. [25] [30]

### 3 KONTROLA KVALITY VE STROJÍRENSKÝCH PROCESECH

Kontrola kvality a plánování výroby jsou nejzákladnějšími prvky výrobního systému. Integrace mezi kvalitou, výrobou a údržbou je zásadní proto, aby byla společnost úspěšná. Tyto prvky společně přispívají ke zlepšení efektivity výrobního systému a ke snižování nákladů. Bohužel ve většině výrobních systémů je výroba nedokonalá, což znamená, že vzniká spousta vadných položek, což může být zapříčiněno právě nedostatečnou kontrolou procesu. Hlavním účelem kontroly je identifikovat jednotky produktu, které neodpovídají specifikacím chtěného produktu. [32]

#### 3.1 Měření

Měření je praktický proces, kterým se zjišťuje hodnota fyzického měření za použití standardních měřicích nebo pracovních prostředků. Je dokázáno, že v případě měření stejné velikosti několikrát, může být pokaždé získaná jiná veličina, přestože měření probíhají za stejných podmínek se stejným typem měření a se stejným operátorem. U měření se tedy neurčuje skutečná hodnota veličiny, ale určuje se hodnota blízká skutečnosti. Říká se, že se určuje velikost veličiny s určitým stupněm přesnosti, vyšším nebo nižším. Teorie chyby měření má velký význam, protože daná měření musí být zpracována a kompenzována tak, aby výsledná hodnota byla co nejbližší skutečné hodnotě. [33]

Důležitou otázkou v procesu měření je optimální přesnost. V praxi by tedy měla být měření považována za dostatečnou optimální přesnost. Bohužel se většinou klade důraz na měřicí operaci, což způsobuje velké náklady na nepřiměřené školení operátora a na měřicí prostředky s nedostatečnou přesností, což způsobuje nižší kvalitu výsledků měření. Nedostatečná přesnost měření se v průběhu času ukázala jako velký problém. Vedla k nesrovnalostem mezi teorií a praxí. Vývoj technologií vedl ke zlepšení měřicích zařízení a stejně tak k rozvoji správné teorie měření a chyb měření. Pro zvýšení přesnosti měření lze provést analýzu kvality procesu měření identifikací všech příčin, které mohou způsobit chyby v tomto procesu. Vhodnou metodou může v tomto případě být použití klasického nástroje pro řízení kvality Ishikawa diagram. Metoda využívaná k určení Ishikawova diagramu je založena na daných pracovních krocích, kterých je několik. Až se tím dostane k brainstormingu se specialisty z oblasti technických měření a metrologie, pak lze identifikovat potencionální příčiny z hlavních 5 směrů. [33]

Prvním z nich je člověk (operátor). Ten může být nezkušený, unavený, nervózní, neadekvátně školený, nepozorný při čtení atd. Druhé jsou metody, které mohou být

neadekvátní, mohou mít nepřesné schéma měření, může vzniknout chyba polohy měřeného objektu, chyba polohy zařízení atd. Třetím směrem je stroj/měřicí zařízení. Zde může nastat mnoho problémů: nevhodné sondy, nesprávné nastavení, nesprávná poloha sondy, stroje kontrolovány s nedostatečnými standardy, opotřebení na kontaktních plochách, nepřesnost provedení strojních součástí atd. Čtvrtým směrem je materiál/měřený kus. Zde může nastat deformace kusu při měření síly, špatná teplota kusu, nepřesnost kontrolované oblasti či nedostatečná tvrdost povrchu. Pátým a posledním směrem je životní prostředí. Zde hraje roli teplota, tlak, vlhkost vzduchu, vibrace, hluk, gravitační akcelerace a světlo. Při znalosti všech těchto příčin, které mohou vést k chybám měření, lze vypočítat celkovou limitní chybu metody měření pomocí analytických metod anebo experimentálních metod. Pokud se nebere v potaz limit celkové chyby měření, výsledky budou mít vysoký stupeň nejistoty, což může mít nežádoucí účinky na celý proces výroby. [33]

V dnešní době se pro měření začíná využívat také AR systém. Tento systém lze použít jako uživatelské rozhraní měřicího systému. V tomto případě naměřená data poskytovaná externím nástrojem nebo WSN (bezdrátová senzorová síť) jsou přímo zobrazeny uživateli s virtuálními objekty. Úlohou AR systému je komunikovat s měřicím systémem a zobrazovat naměřené hodnoty uživateli. Vždy je důležité vizualizovat naměřená data (např. textové pole, 3D graf, konstrukce obrazových modelů). AR se dá aplikovat např. v průmyslu, v lékařství nebo v laboratořích. Tato technologie je čím dál víc dostupná, a to především díky pokroku v mikroelektronice a zájmu trhu o tyto systémy. Nejdůležitější součástí systému AR je sledovací modul, který měří polohu a orientaci uživatele a skutečnou polohu objektu. Chytré telefony či tablety mají veškerý potřebný hardware k implementaci systémů AR, ale měly by být charakterizovány z hlediska měření. Budoucí výzkumy tak mohou být zaměřeny na studium limitů těchto technologií a na vyhodnocení kalibračních postupů pro každý snímač chytrého telefonu použitý pro sledovací systém, aby se kompenzoval systematický efekt. [34]



## 3.2 SPC (Statistická regulace procesu)

Lidé mají přirozenou potřebu řešit kvalitu výrobků, protože úzce souvisí s kvalitou jejich života. Při kontrole a řízení kvality hraje ústřední roli statistická regulace procesů (SPC). SPC se využívá především pro monitorování sekvenčních procesů (např. výrobní linky, internetový provoz, sociální nebo ekonomický status populace). [35]

Procesy mohou vytvářet vzory časových řad jako je cyklický, lineární trend–up, lineární trend–down, náhlý posun nahoru atd. Identifikace těchto vzorů ve spojení s inženýrskými znalostmi procesu vede k cílenější diagnóze, což výrazně minimalizuje úsilí při odstraňování problémů. [36]

### 3.2.1 Aplikace SPC

Statistické metody se aplikují k monitorování a kontrole procesu, aby se zajistilo, že proces funguje s plným potenciálem k výrobě vyhovujícího produktu. Podle SPC se proces chová předvídatelně, aby produkoval co nejvíce vyhovujících produktů s co nejmenším možným odpadem. Klíčovými nástroji pro SPC jsou regulační diagramy, neustálé zlepšování se a designové experimenty. [37]

Problémy a odchylky, které ovlivňují kvalitu výrobku, je možné najít a opravit, tím se sníží plýtvání a také pravděpodobnost, že se problémy přenesou na zákazníka. Důrazem na včasnou detekci a prevenci problémů má SPC velkou výhodu oproti jiným způsobům řízení kvality. Pokud se prokáže, že je proces montáže mimo kontrolu, je nutné pozastavit proces, nalézt a odstranit chybu, která způsobuje zmetky. Efektivnějším způsobem je zaujmout proaktivnější přístup k zamezení vzniku nekontrolovaných situací. To umožní preventivním způsobem upravit proces tak, aby byla zmetkovitost co nejmenší. [37]

### 3.2.2 Implementace SPC

Před samotnou implementací je důležité porozumět a identifikovat zásadní charakteristiky produktu, které jsou kritické pro zákazníka, nebo klíčové operace procesu. Pro správnou implementaci se musí použít klíčové kroky, těmi jsou: identifikovat definovaný proces, identifikovat měřitelné atributy procesu, charakterizovat přirozené variace atributů a sledovat variaci. Jestliže je variace pod kontrolou, setrvá se ve sledování procesu. Pokud proces pod kontrolou není, je nutné identifikovat a později odstranit příčinu. Po odstranění je nutné proces znovu sledovat. [37]

### 3.2.3 Výhody SPC

Výhodou užívání metody SPC je především možnost statistické optimalizace informací potřebných k rozhodování. Díky SPC lze provádět analýza v reálném čase pro stanovení kontrolovatelných výchozích hodnot. [37]

## 3.3 Kontrolní plán

Kontrolní plán je dokument, který jasně popisuje činnosti měření, inspekce, kontroly kvality nebo monitorování procesních parametrů. Tyto činnosti jsou požadované v každé fázi procesu, aby se zabezpečilo, že na výstupu bude mít výrobek požadovanou kvalitu a vzniklé chyby či vady budou nalezeny v co nejdřívejší fázi procesu. To šetří čas, ale hlavně náklady. Zjednodušeně řečeno, kontrolní plán poskytuje operátorovi informace potřebné k řádnému řízení procesu a výrobě kvalitních dílů a sestav. V kontrolním plánu by měly být instrukce k akcím, které je třeba podniknout při odhalení chyby. Tento dokument neslouží k podrobnému popisu kontroly pro obsluhu. Často se kontrolní plán používá společně s kontrolním listem a kontrolním seznamem. [38]

Zavedení kontrolního plánu má několik výhod. Pomáhá snížit nebo eliminovat plýtvání procesu. Zlepšuje také kvalitu výrobků tím, že identifikuje zdroje odchylek v procesu a zavádí kontrolní mechanismy k jejich sledování. Kontrolní plány se zaměřují především na ty vlastnosti výrobku, které jsou pro zákazníka nebo funkčnost výrobku nejdůležitější. Dostání se vadného výrobku k zákazníkovi se dá předejít zaměřením na to, co je pro kvalitu průběhu procesu rozhodující a eliminují se nákladná přepracování. Při snížení zmetkovitosti a přepracování se také zlepšuje průchodnost procesu. Tím se také zvyšuje efektivita výroby a pozitivně se ovlivňuje hospodářský výsledek ve společnosti. [38] [39]

## 4 PRŮMYSL 4.0 A 5.0

Za poslední dobu se požadavky a celková složitost dílů ve zpracovatelském průmyslu neustále zvyšuje. Je to dáno několika aspekty, mezi které se řadí rostoucí mezinárodní konkurence, volatilita trhu, velký zájem o vysoce individualizované produkty a zkrácení životnosti produktů. Všechny tyto aspekty jsou pro dnešní firmy určitým typem výzev. Je zřejmé, že stávající postupy již nejsou vhodné pro zvládnutí rostoucích požadavků na kvalitu, efektivitu, flexibilitu, stabilitu a udržitelnost. Tento problém se dá vyřešit právě pomocí přicházejících trendů jako je digitalizace, internet věcí, internet služeb nebo třeba kybernetické fyzické systémy. Na tyto trendy reagovali v Německu, kde zahájili v roce 2011 jako součást své high-tech strategie takzvanou iniciativu „Industrie 4.0“ k iniciativě čtvrté průmyslové revoluce. Tato iniciativa představila myšlenku plně integrovaného průmyslu. Průmysl 4.0 můžeme definovat jako komplexní transformaci celé průmyslové výroby prostřednictvím sloučení internetu a informačních a komunikačních technologií. Čili společnosti se budou moci udržet v čele výrobního průmyslu jen tehdy, pokud se jim podaří zapojit prvky průmyslu 4.0. Příležitosti a výhody, které přichází spolu s průmyslem 4.0, jsou velice široké od flexibilní hromadné výroby přes optimalizaci řetězců v reálném čase až po snížení nákladů na celkovou výrobu. [40] [41] [42]

Dalším z cílů průmyslu 4.0 je zvýšit úroveň řízení a konkurenceschopnosti. Neustálé změny probíhají i uvnitř firem, tyto změny zavedly koncept Society 5.0. Tento koncept předvedla japonská vláda v roce 2015, která spoléhá na budoucí super chytrou společnost.

Někteří odborníci tvrdí, že samotné zavedení průmyslu 4.0 není ničím výjimečným, pokud se spolu s ním neintegrují i koncepty štihlé výroby. Úspěch průmyslu 4.0 koreluje s úspěchem štihlé výroby. Na těchto dvou zmíněných faktorech závisí růst obchodní výkonnosti. [43]

Průmysl 5.0 se nezaměřuje na technologický pokrok jako je tomu u průmyslu 4.0, snaží se transformovat průmyslovou výrobu spíše pro prosperitu lidí, planety než jen získávání hodnot ve prospěch akcionářů. Zaměřuje se spíše na snižování a přesouvání spotřeby na nové formy udržitelné, cirkulární a regenerativní tvorby ekonomických hodnot. [44]

## 4.1 Nástroje pro průmysl 4.0

Vysoká konkurence, která v dnešní době na trhu panuje, nutí společnosti modernizovat své výrobní systémy na vyšší úroveň. Tyto modernizace jim umožňují vytvořit flexibilnější a rychlejší výrobní systémy a tím být i připraveni čelit výzvám dynamického globálního trhu. Díky přístupu k technologiím průmyslu 4.0 mohou společnosti dosáhnout udržitelných cílů. Tyto aktualizace také zlepšují pracovní nasazení pracovníků, zkracují výrobní časy, ale i zvyšují kvalitu výroby. Pro dosažení těchto cílů je nutné implementovat různé technologie průmyslu 4.0. Nejdůležitější z nich jsou vypsány v následujících krocích. [43]

### 4.1.1 Kybernetické fyzické systémy (CPS)

Průmysl 4.0 se vyznačuje bezprecedentním propojením pomocí internetu nebo jiných distribuovaných sítí, účetních knih a tzv. CPS. Tyto systémy se využívají pro spojení fyzického a virtuálního světa dohromady. Přesněji řečeno kybernetické fyzické systémy jsou výpočty integrované s fyzikálními procesy. Vestavěné počítače a sítě řídí a monitorují veškeré fyzické procesy, většinou se zpětnovazební smyčkou, kde výpočty ovlivňují fyzické procesy a naopak. Ve výrobě to potom znamená, že informace z fyzické dílny a virtuálního výpočetního prostoru jsou velmi synchronizované. Tahle synchronizace potom umožňuje nový stupeň kontroly, transparentnosti a efektivity výrobního procesu. Při pohledu na strukturu se CPS dělí na dvě paralelní sítě. První z nich je fyzická síť, která spojuje části infrastruktury. Druhou z nich je síť kybernetická. Tato síť tvoří inteligentní řídicí jednotky a komunikační spojení mezi nimi. CPS realizuje integraci těchto sítí pomocí snímačů, akčních členů, řídicích jednotek a komunikačních zařízení. [40]

### 4.1.2 Internet věcí (IoT)

Tento termín se stal populárním v první dekádě 21. století. Internet věcí můžeme považovat za iniciátora průmyslu 4.0. Je to chytré propojení výrobků, které nabízí exponenciálně se rozšiřující příležitosti pro jeho využití od nových funkcí až po větší spolehlivost. Pro plnohodnotné využití IoT (Internet of Things) je důležité, aby všichni členové měli přístup k plnohodnotnému internetovému prostředí vybaveného samo-konfigurovatelnými, samospravovatelnými inteligentními technologiemi. Internet věcí se považuje za jednu z nejstabilnějších technologií s obrovským potenciálem a předpokládá se, že otevře řadu ekonomických příležitostí. Je nutné rozdělovat normální internet a internet věcí, i když jejich rozdíly jsou velmi malé, někdy až neznatelné. IoT využívá nízkopaměťové

počítače s nízkou spotřebou energie, zatímco internet vyžívá plnohodnotné počítače. Kromě toho internet věcí má mnohem více uzlů, než se nachází u běžného internetu. Internet věcí se je považován za jednu z klíčových technologií průmyslu 4.0, umožňuje provádět analýzu celého dodavatelského řetězce v reálném čase. Je to svět, kde v podstatě ze všech fyzických věcí se můžou stát tzv. chytré věci jen přidáním malých počítačů, které jsou připojeny na internet. [40] [43]

#### 4.1.3 Internet služeb

V dnešní době se často slýchá, že žijeme v takzvané společnosti služeb. V této souvislosti existují náznaky, že podobně jako internet věcí, vzniká i internet služeb. Ten se zakládá na myšlence snadno dostupných služeb prostřednictvím webových technologií. To umožňuje firmám, ale i soukromým uživatelům, kombinovat, vytvářet a nabízet druh služby s přidanou hodnotou. Lze předpokládat, že internetová tržnice služeb bude v budoucích průmyslových odvětvích hrát klíčovou roli. S internetem služeb jsou z technologického hlediska úzce spjatý pojmy jako je architektura orientovaná na služby, software jako služba nebo tzv. outsourcing podnikových procesů. Širší definice termínované služby je obchodní transakce, kdy jedna strana poskytuje dočasný přístup ke zdrojům druhé straně za účelem vykonání domluvené funkce za předem dohodnutého prospěchu. Zdroje mohou být lidská pracovní síla, technické systémy, prostory, materiál, informace a další. [40]

#### 4.1.4 Chytrá továrna

Do této chvíle byly zmíněny tři hlavní součásti průmyslu 4.0. Je třeba dodat, že tyto koncepty spolu úzce souvisí, jelikož CPS komunikují skrze internet věcí a služeb, a tím pádem umožňují tzv. chytrou továrnu, která je postavena na myšlence decentralizovaného výrobního systému. V tomto systému mezi sebou lidi a stroje komunikují podobně přirozeně jako v sociální síti. Předpokládá se, že úzké propojení a komunikace mezi stroji, produkty, dopravními systémy a lidmi změní dosavadní výrobní logiku. Proto lze chytré továrny považovat za klíčovou vlastnost průmyslu 4.0. [40] [45]

V chytré továrně si výrobky samostatně hledají cestu výrobními procesy a jsou kdykoli snadno dohledatelné a identifikovatelné. Chytré továrny napomáhají zvládnout zvyšující se složitost výrobních procesů lidem, kteří v nich pracují. Umožňují, aby výroba mohla být zároveň atraktivní, zisková a udržitelná v městském prostředí. Očekává se, že chytré továrny budou mít obrovský potenciál. Předpokládá se, že se dramaticky změní nejen

výrobní procesy, ale také role zaměstnanců. Zaměstnanci budou mít větší zodpovědnost, působil jako rozhodovací orgány a budou přebírat kontrolní úkoly. [40] [45]

## 4.2 Montážní systémy v průmyslu 4.0

Technologie průmyslu 4.0 ve výrobních systémech zlepšuje technickou, ekonomickou i sociální výkonnost závodu. Především integrace do navrhování a řízení montážních systémů vede ke zde definovanému montážnímu systému 4.0. [41]

Montážní systém 4.0 je nová generace montáže, kde se implementuje především technologie internet věcí. Každé pracovní místo, sklad, vybavení, pracovník nebo generická entita montáže jsou senzORIZOVÁNY tak, aby předávali konkrétní data v reálném čase. Systém řízení sestav využívá tyto data k implementaci lepších modelů a metod pro automatickou správu a konfiguraci montáže. Tato hierarchie montáže usnadňuje vývoj různých aplikací, které definují hlavní vlastnosti montážního systému 4.0. Podporovaná montáž zkracuje dobu trvání a zvyšuje bezpečnost při kompletování a vychystávání díky novým technologiím. Hned po dostání produktu na montážní stanici se díky asistovanému vychystávacímu zařízení, jako je lehké vychystávání, automaticky zobrazí komponenty k vychystání ze skladovacích míst na pracovní stanici. Bere ohled na jak konečný produkt, tak na montáž a optimální sekvenci vychystávání, která minimalizuje úsilí pracovníka. Pro přesné upevňování může pracovníkovi pomoci rozšířená realita v podobě displeje na hlavě, kde je mu promítán sled montážních operací pro rychlejší a přesnější dokončení úkolu s ohledem na personalizaci zákazníka. [41]

Další technologií z průmyslu 4.0, které se využívají na montáži jsou coboti. Tento typ robotů v reálném čase automaticky upravuje svou konfiguraci tak, aby co nejlépe odpovídala postavě pracovníka a vlastnostem upevňovacího úkolu. Kromě toho coboti poskytují pracovníkovi umělou sílu k provádění nebezpečných a těžkých činností, a tím snižují ergonomické riziko namáhavých úkolů. [41]

Z hlediska dodávání materiálu na montážní stanice inteligentní systém řízení skladování zajišťuje výrazné časové i ekonomické úspory. Senzorová skladovací místa na pracovišti sama monitorují stav zásob a automaticky posílají požadavky na doplnění určité součástky do centrálního skladu. Díky tomuto systému nedojde k výpadkům kvůli chybějícím dílům ani při neočekávaném rychlém odběru materiálu. Inteligentní systém řízení skladování je také propojen s oddělením nákupu, který na základě těchto informací může doplňovat centrální sklad, aby nedošlo k úplnému vyprázdnění, nebo naopak ke

zbytečnému přeplnění centrálního skladu jedním produktem. Jednou z posledních výhod je, že má tento systém udržovat komponenty v centrálním skladu na co nejnižší úrovni. K tomuto se využívají informace, které poskytují zákaznické objednávky v reálném čase prostřednictvím systému řízení sestavy. [41]

Další charakteristika montážního systému 4.0 souvisí s konfigurací pracovního místa. Samostatně konfigurovatelné uspořádání pracovní stanice autonomně upravuje rozměry regálu, polic a pracovního stolu s ohledem na montážní výrobek a přiděleného pracovníka. V pracovní stanici jsou zabudovány senzory a akční členy, které automaticky nastavují šířku a hloubku regálu i výšku pracovního stolu. Tyto úpravy zohledňují velikost a hmotnost montážních celků i postavu daného pracovníka. Cílem samostatně konfigurovatelného uspořádání je optimalizovat montážní činnosti, minimalizovat dobu kompletace a zajistit pracovníkovi správné ergonomické pracoviště. [41]

Kompletní sledovanost montážního procesu zajišťují senzory, které podávají informace nejen o produktu, ale i informace o montážních fázích. Každý montážní úkol je monitorován, aby bylo možné v reálném čase detekovat případné chyby nebo neshody. Díky této technologii se kvalita produktů zlepšuje. V dnešní době nahrazuje statistickou analýzu chyb kontrolou jedné položky. Nejen montážní procesy a produkty jsou monitorovány, ale také pracovníci, aby mohla být sledována jejich výkonnost a doba trvání jednoho úkolu. Všechny tyto informace jsou ukládány do firemní cloudové databáze pro pozdější využití. Implementací výše popsaného CPS lze výrobek sledovat během celého montážního procesu. [41]

## 5 DIGITÁLNÍ DVOJČE

S nástupem nového IT se posiluje rozsah, stupeň a funkce kybernetického světa výroby a integrace s fyzickým světem. Digitální dvojče připravuje cestu právě pro kybernetickou a fyzickou integraci. Je v popředí revoluce průmyslu 4.0, kterou usnadňuje pokročilá analýza dat a připojení k internetu věcí. Internet věcí zvýšil objem využitelných dat např. z výroby. Digitální dvojče tak poskytuje výrobním podnikům nové možnosti, jak využívat inteligentní výrobu a přesné řízení. Prostředí digitálního dvojčete umožňuje rychlou analýzu a rozhodování v reálném čase prostřednictvím přesné analýzy. Jeho význam stále více uznává jak akademická obec, tak průmysl. [46] [47] [48]

Jedna z nejnovějších definic popisuje digitální dvojče takto: Digitální dvojče je virtuální inscenace fyzického systému (dvojče), která je průběžně aktualizována o jeho výkon, údržbu a údaje o zdravotním stavu v průběhu životního cyklu fyzického systému. [49]

Digitální dvojče je téměř identickou kopií svého fyzického protějšku, pokud jde o vzhled, funkčnost, obsah atd., s velmi vysokou přesností. Super realistický digitální model pomáhá společně napodobovat aspekt fyzického dvojčete. Takhle vytvořené digitální dvojče umožňuje vytvářet přesné a spolehlivé simulace a predikce systémů. [50]

### 5.1 Historie vývoje digitálního dvojčete

Původním cílem digitálního dvojčete bylo poskytnout stejné nebo lepší informace, než jaké by bylo možné získat držením fyzického dvojčete. Technologie digitálního dvojčete je sice populární až v posledních letech, ale vznikla již v roce 2002, kdy poprvé její koncept popsal Dr. Michael Grieves [51]. Jeho navrhovaný model měl tři složky – reálný prostor, virtuální prostor a spojovací mechanismus pro tok informací mezi nimi. Tento model byl označován jako ‚model zrcadlených prostorů‘. Následné pojmenování digital twin byl připsán Johnu Vickersovi z NASA. Zmiňovaní vědci poznamenali, že technologický pokrok ve fyzických produktech dělá systémy složitější. Nové technologie s sebou nesou i nové možnosti, jako je komunikace a výpočetní technika, které nebylo možné zastoupit ve fyzickém (mechanickém) prostoru. Tyto nové možnosti zvýšily složitost systémů, a tím pádem systémy vyžadovaly mechanismus ke zmírnění složitosti poskytováním lepších informací o fyzickém produktu. [50] [52]



## 5.2 Výhody digitálního dvojčete

Hlavním důvodem, proč je digitální dvojče v popředí revoluce Průmyslu 4.0, je množství výhod, které s sebou přináší. Ať už je to snížení chyb, nejistot, neefektivity nebo nákladů v jakémkoliv systému či procesu. Také odstraňuje všechna sila v procesech či organizacích, které jinak fungují v rámci oddělení a divizí izolovaně. Dále patří mezi výhody urychlení prototypování i přepracování produktu, jelikož simulace prozkoumají řadu scénářů a urychlí tak cykly návrhu analýzy, což usnadňuje právě zmiňované prototypování či přepracování produktu. Jelikož se digitální dvojče využívá převážně ve virtuálním prostředí, klesají náklady na výrobu prototypu. Protože se prototypy dělají v digitální podobě, dochází i ke značnému snížení plýtvání, a tím je i ekologičtější. [50]

Další výhodou digitálního dvojčete je bezpečnost. Je mnohem bezpečnější testovat ve virtuálním světě než ve fyzickém. V průmyslových odvětvích, kde jsou velice extrémní a nebezpečné podmínky, jako je například těžba ropy, může digitální dvojče upozornit na možnost vzniku nehod nebo nebezpečné poruchy. [50]

Jednou z posledních výhod digitálního dvojčete je vylepšení systému školení. Digitální dvojče lze využít k vývoji účinnějších a názornějších programů školení v oblasti bezpečnosti, než je tradiční. Před začátkem práce na vysoce rizikovém pracovišti nebo nebezpečném stroji mohou být operátoři proškoleni pomocí digitálního dvojčete, protože ukázání různých scénářů, procesů a možných nebezpečí jim více přiblíží a naučí je, jak by se měli v dané situaci zachovat, aby to bylo bezpečné pro ně i pro jejich okolí. [50]

## 6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V první kapitola teoretické části je věnována montážním procesům. Z úvodu kapitoly je psáno o montáži jako takové a její historii. Další část této kapitoly se věnuje montážní lince, jaké existují druhy montážních linek, jejich rozdělení dle druhu výrobku nebo podle způsobu provedení montáže na ruční, automatizovaná a flexibilní montáž. Další část první kapitoly je věnována návrhu designu montáže, kde jsou podrobně popsány tři fáze, která se používají pro designování montáže. V této kapitole se také píše o vlivu logistiky na montáž, jsou zde popsány možnosti zásobování montážních stanic i s jejich výhody a nevýhody, které procesu přináší. Na konci této kapitoly je psáno o 3D projektové montáži. Tato část je rozdělena do dvou částí první z nich je videem podporovaná montáž a tou druhou je montáž s podporou virtuální reality.

Druhá kapitola je věnována nástrojům řízení kvality. Je rozdělena do dvou částí, kterými jsou Sedm klasických nástrojů kvality a sedm nových nástrojů kvality. V obou částech jsou popsány jednotlivé nástroje.

Ve třetí části se je psáno o kontrole kvality ve strojírenských procesech. Tato kapitola se rozděluje do tří částí první z nich je věnována měření, druhá SPC diagramu a třetí kontrolnímu plánu.

Čtvrtá kapitola se věnuje průmyslu 4.0. Nejdříve je psáno o průmyslu 4.0 jako takovém, dále se však píše o jeho nástrojích, které průmysl 4.0 využívá. V poslední části této kapitole se píše o montážních systémech, které průmysl 4.0 využívá a jaké výhody tenhle způsob montáže má.

Poslední pátá kapitola je věnována digitálnímu dvojčeti. Je zde popsána charakteristika digitálního dvojče a jeho využití. V další části je popsán historický vývoj digitálního dvojčete a v poslední části jsou shrnuty jeho výhody.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 MONTÁŽNÍ PROCES

Praktická část této diplomové práce byla měřena ve firmě Windmüller & Hölscher. Tato firma se zaměřuje na vyrábění širokého sortimentu linek pro obalovou techniku, strojů na vyfukované fólie přes tiskárny na obalové materiály až po pletací stroje pro výrobu pytlů, ze kterého moje testovaná sestava pochází. V Prostějově se firma zaměřuje spíše na montážní a testovací část výroby. Pletací stroj Advantex lze vidět na obrázku 18. Z tohoto stroje pochází i sestava, která byla použita pro potřeby diplomové práce.



Obrázek 18 Pletací stroj Advantex [57]

## 7.1 Popis montované sestavy

Jak již bylo zmíněno, sestava je nedílnou součástí pletacího stroje Advantex. Na obrázku 18 lze vidět kruh, kolem kterého montované sestavy oscilují. Na obrázku 18 jsou tyto sestavy vidět jako hnědé pásy. V pásech jsou očka, kterými jsou provlečeny polymerové nitě a pás osciluje po své délce. Kolem kruhu se sestava pohybuje pomocí dvou malých koleček viz. obrázek 19.

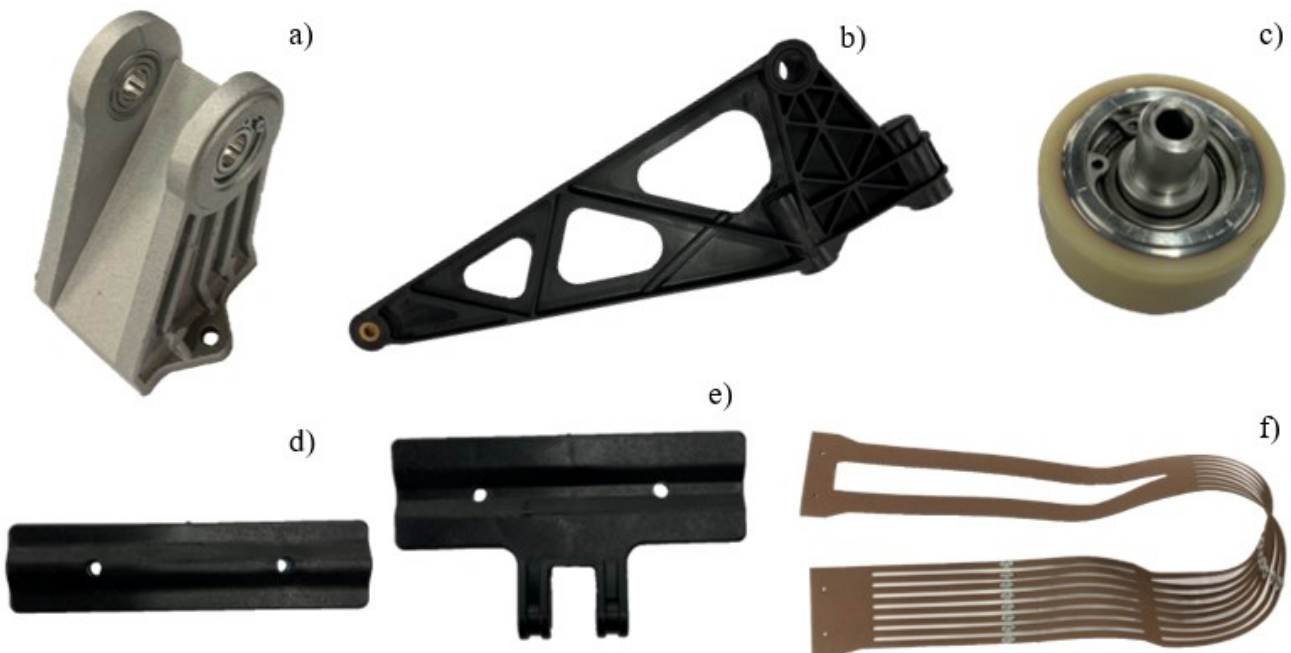


Obrázek 19 Zkoumaná sestava

Zkoumaná sestava se skládá z 15 typů dílů, z čehož 6 dílů je hlavních. Zbýlých 9 dílů jsou spojovací součástky jako šrouby, čepy, podložky nebo matice viz. obrázek 19.

Hlavní díly:

- a) Ložiskový blok s ložisky
- b) Rameno
- c) Excentrický váleček s ložiskem A1
- d) Horní upínací kus
- e) Spodní upínací kus
- f) Pás



Obrázek 20 Hlavní díly sestavy

Pro měření a lepší optimalizaci byla montáž sestavy rozdělena do pěti fází. Všechny fáze na sebe vzájemně navazují, ale časová náročnost fází se liší. V montážním závodu montuje první tři fáze jeden pracovník, poslední dvě fáze montuje pracovník druhý.

**Fáze 1:**

Cílem první fáze bylo spojit čepem rameno s ložiskovým blokem. Toto spojení vytvářel čep, který se lisuje pneumatickým lisem. Nejprve se muselo rameno vložit do ložiskového bloku tak, aby otvory ložisek a otvor v ramenu byly sousedí. Potom se takto připravené díly vložily do přípravku v lisu tak, že se spodní strana ložiskového bloku opírala o stěnu v lisu a vyztužený konec ramene dopadal na určené místo. Do takto připravených součástí je možno zalisovat čep. Čep se vloží do zásobníku, který se přitlačí nad díru, kam bude čep následně zalisován. Po sešlápnutí pedálu se lis spustí a zalisováním čepu se spojí tyto části k sobě tak, aby byl vytvořen kloub a rameno se mohlo pohybovat kolem osy čepu. Na obrázku 21 je vidět sestava po první fázi.



Obrázek 21 Sestava po první fázi

**Fáze 2:**

Ve druhé fázi montáže se na sestavu z první fáze připevňuje spodní upínací kus. Spodní upínací kus se musí nejprve vsunout na vyztužený konec a to tak, aby díry na spodním upínacím kusu lícovaly s dírou na konci ramene. Následně se sestava vloží do připraveného přípravku v ručním lisu. Na vzniklý otvor se vloží čep, zkosenou stranou k díře, který se následně zalisuje a spojí sestavu z fáze 1. a spodní upínací kus. Spodní upínací kus musí být se sestavou spojen tak, aby se s ním dalo jednoduše otáčet kolem osy čepu. Na obrázku 22 zle vidět sestavu po dokončení druhé fáze.



Obrázek 22 Sestava po druhé fázi montáže



**Fáze 3:**

Třetí fáze montáže je poslední fází prvního pracovníka, kde pracovník nejprve vloží excentrické válečky s ložisky (kolečko) do otvorů na rameni. Hřídel, na které je ložisko připevněno, musí být zatlačena až na dno připravené díry. Dalším krokem je přiložení plastových krytek na kolečko. Plastová krytka je tvarována tak, aby kopírovala tvar ložiska i část excentrického válce, z druhé strany má krytka místo na dvě podložky, které se tam následně vloží. Posledním krokem třetí fáze je spojení koleček s ramenem šroubem se šestihrannou hlavou. Šroub se před vložením do připraveného otvoru musí ponořit do lepidla, aby se zabránilo samovolnému povolování šroubu. Stejně tak se připraví i druhé z koleček. Potom se oba šrouby utáhnou pomocí aku-vrtačky. Na obrázku 23 lze vidět sestavu po dokončení třetí fáze.



Obrázek 23 Sestava po třetí fázi montáže

**Fáze 4:**

Ve čtvrté fázi přebírá sestavu druhý pracovník. V této fázi je cílem pracovníka utáhnout šrouby pomocí momentového klíče na 12Nm.

**Fáze 5:**

Ve finální tedy páté fázi montáže se na rameno navleče pás, a to na spodní upínací kus. Pás musí být navlečený tak, aby výřez ve spodní části byl na pravé straně. Následně se do spodního upínacího kusu nasunou šrouby, které jsou opatřeny podložkou. Na obou koncích pásu jsou připravené díry se stejnou roztečí jako šrouby. Nejprve se navleče jeden konec pásu bez výřezu na šrouby. Potom je nasunut i druhý konec s výřezem. Následně se uchopí vrchní upínací kus. Ten obsahuje matice pro šrouby již nasunuté do spodního upínacího kusu. Na matice se opět nanese lepidlo, aby se zamezilo samovolnému povolování šroubů. Horní upínací kus se přiloží ke šroubům a ty se dotáhnou pomocí aku-vrtačky, čímž se pás zafixuje. Tímto krokem je dokončena pátá fáze, a tudíž i celá montáž sestavy viz. obrázek 24.



Obrázek 24 Sestava po dokončení páté fáze

## 7.2 Popis stávajícího stavu

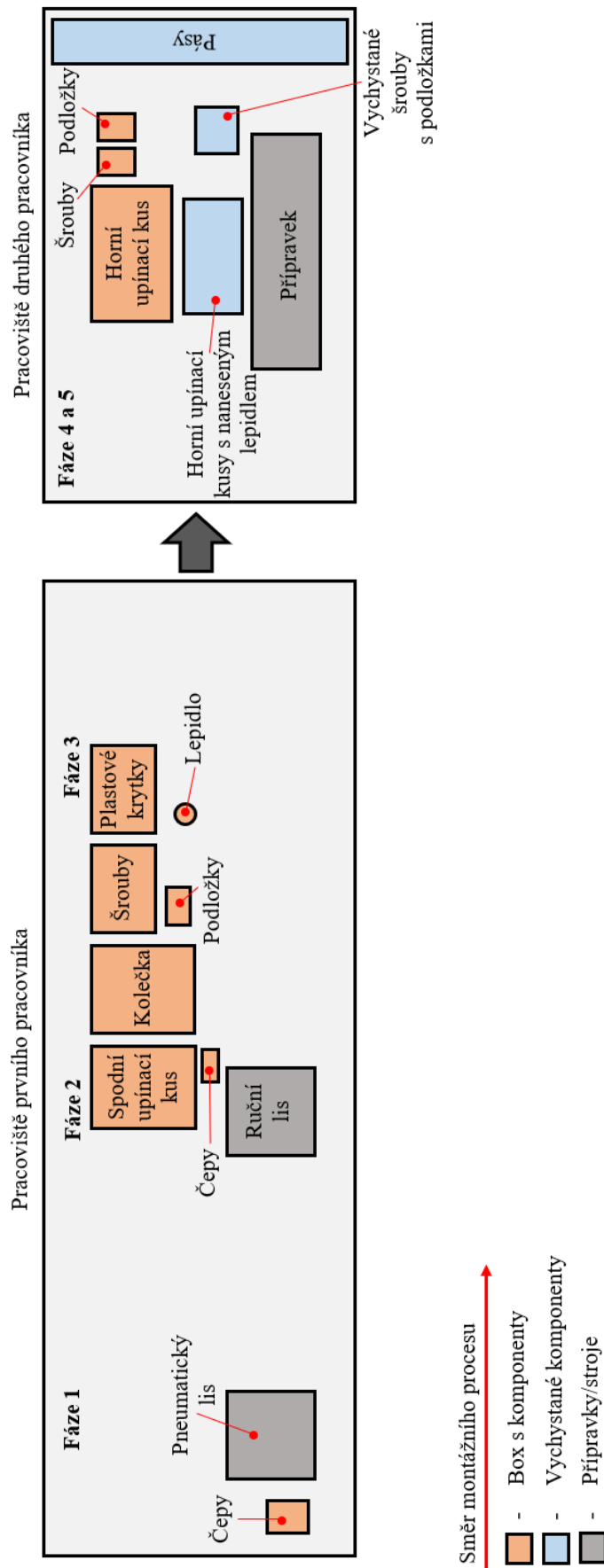
Montážní proces byl představen v předchozí podkapitole. Tato podkapitola bude popisovat uspořádání jednotlivých pracovních stanic za stávajícího stavu.

Ve fázi první jsou potřeba tři montážní komponenty-rameno, ložiskový blok a čep. Rameno a ložiskový blok si pracovník podává z palety před každým cyklem. Čepy má nachystané v boxu po levé straně pneumatického lisu, který je postaven na levém konci pracovní stanice, jak je vidět na obrázku 25.

První pracovník postupuje zleva doprava na stejném pracovním stole do druhé fáze montáže. Ve druhé fázi pracovník přidává spodní upínací kus na konec ramene. Box se spodními upínacími kusy se nachází za ručním lisem. Čepy, které jsou potřebné ke spojení si pracovník bere z malého boxu mezi ručním lisem a boxem se spodními upínacími kusy, jak zobrazuje obrázek 25.

Na pravém konci pracovní stanice provádí první pracovník jeho poslední část montáže. Nejdříve vkládá kolečka do otvorů v rameni. Box s kolečky je umístěn na pravé straně od boxu se spodními upínacími kusy. Z pravé strany od boxu s kolečky je umístěn box se šrouby, které pracovník používá na konci třetí fáze. Před boxem na šrouby je umístěn menší box na podložky. Box na plastové krytky se nachází po pravé straně boxu na šrouby a je posledním boxem s komponenty na pracovním stole prvního pracovníka. Pod boxem na plastové krytky se nachází malá miska s lepidlem, kde pracovník máčí konce závitu na šroubech. Celé uspořádání lze vidět na obrázku 25.

Druhý pracovník, který vykonává čtvrtou a pátou fázi montáže, nejdříve vloží montovanou sestavu do přípravku, který je umístěn na spodní straně jeho pracovní stanice viz. obrázek 25. Ve fázi čtvrté pracovník momentovým klíčem dotáhne šrouby na určitý moment a přechází do poslední fáze montáže, kde nejprve navlékne pás na rameno. Pásy má vychystané na pravé straně pracovního stolu. Nad přípravkem se nachází připravené horní upínací kusy s naneseným lepidlem v matkách a hned vedle má pracovník nachystané šroubky opatřené podložkami. V horní části stolu se pak nachází box s horními upínacími kusy bez lepidla a vpravo vedle něj jsou vedle sebe dva menší boxy, jeden se šrouby a druhý s podložkami.

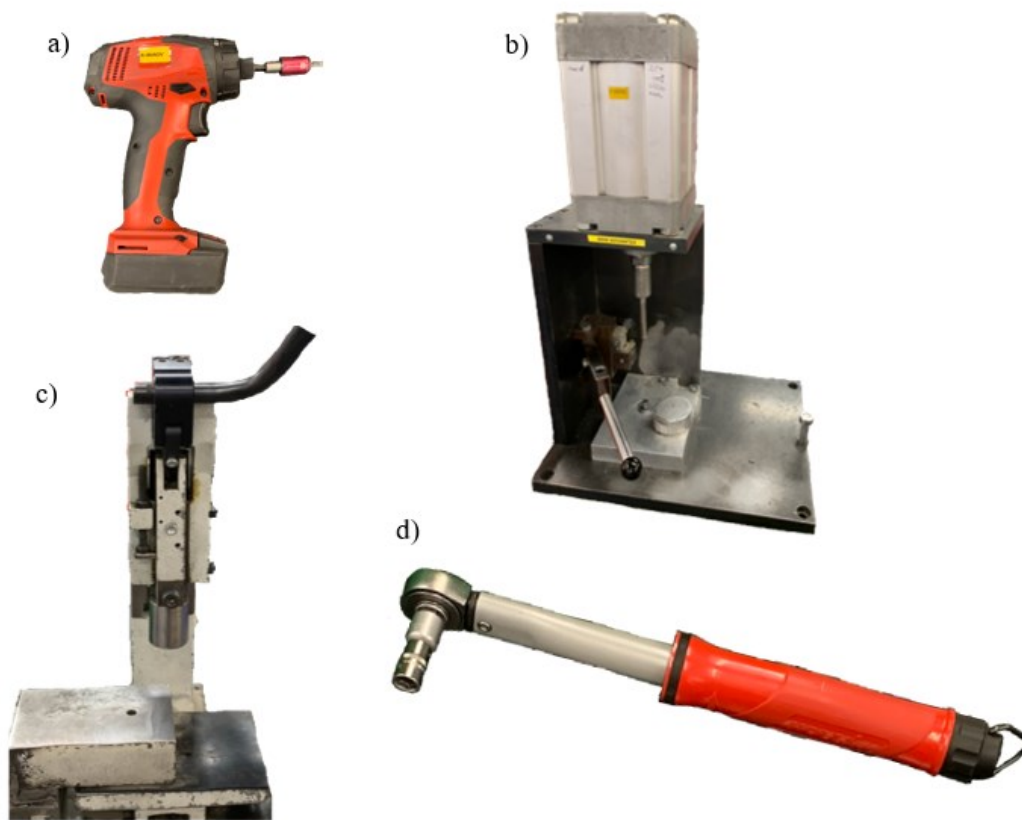


Obrázek 25 Schéma uspořádání stávajícího stavu

### 7.2.1 Použité nářadí

Ve stávajícím stavu pracovníci používali čtyři typy nářadí pro zjednodušení jejich práce, a především časové efektivity. Pracovníci využívali:

- a) Aku-vrtačku
- b) Pneumatický lis
- c) Ruční lis
- d) Momentový klíč



Obrázek 26 Použité nástroje

Na obrázku 26 jsou vidět nástroje, které se používají v celém průběhu montážního procesu. Aku – vrtačka se využívá jak pro zašroubování šroubů u koleček, tak i pro dotažení pásu mezi spodním a horním upínacím kusem. Pneumatický lis se využívá hned v první fázi montáže pro spojení ložiskového bloku s ramenem pomocí čepu. V další fázi, tedy druhé, se využívá lis ruční pro spojení spodního upínacího kusu s ramenem. Posledním nářadím je momentový klíč, pomocí kterého se zajistí přesné dotažení šroubů, kterými se utahují kolečka.

### 7.2.2 Změřené časy při stávajících podmínkách

Měření montážního procesu při zavedených podmínkách probíhalo ve třech částech. První částí bylo měření času montáže od startu po konec, montáž prováděly zkušené pracovnice. Pro zrychlení montážního procesu je zavedené pravidlo, že se montují vždy čtyři sestavy najednou čili i přípravek je uzpůsoben pro čtyři montážní sestavy.

Druhá část měření časů spočívala v měření délky jednotlivých montážních fází. Stejně jako tomu bylo u v první části, měření probíhalo při práci zkušených pracovnic. Každá fáze byla měřena zvlášť od prvního do posledního pracovního úkonu v dané fázi. Stejně jako u předešlého měření byly měřeny čtyři montážní sestavy.

První dvě měření probíhala za plného provozu montáže. Montáž prováděly dvě zkušené pracovnice, první vykonávala fázi 1, 2 a 3, další fáze pak pracovnice druhá. Počet měření byl u prvního měřeného úseku opakovaný třicetkrát, u druhé části bylo provedeno dvacet měření.

Ve třetí části bylo cílem změřit, za jak dlouho smontuje nezaškolený pracovník danou sestavu po čtyřech kusech, jako tomu bylo v předešlém měření, a jestli je schopný konkurovat zaškoleným pracovnícím. Dalším cílem tohoto měření bylo zjistit, zda se nezaškolený pracovník během deseti probíhajících měření zlepší.

Tabulka 1 Časy při zavedených podmínkách série 4 ks

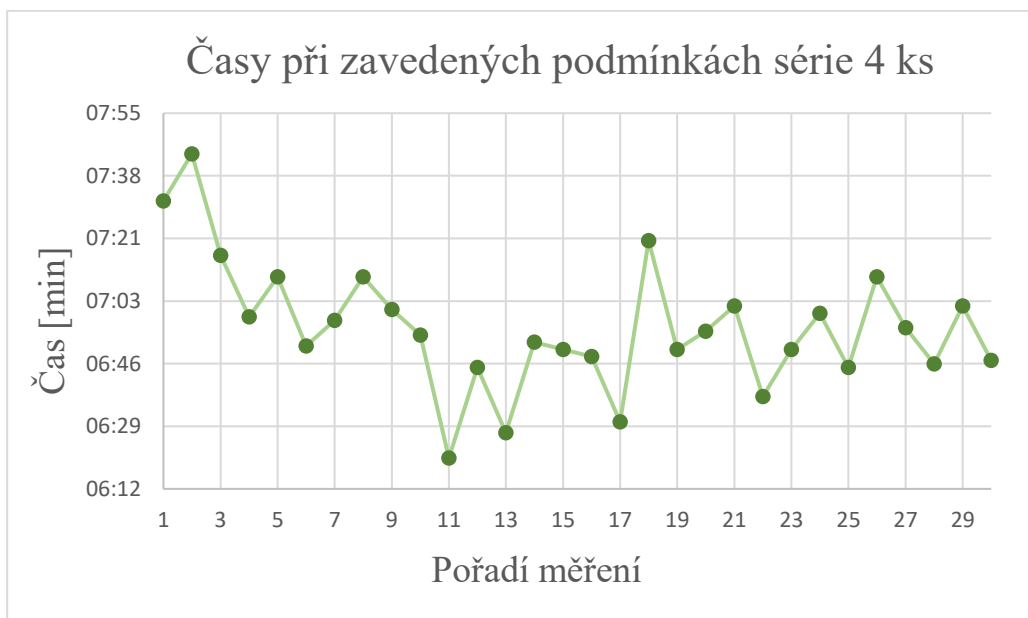
Měření	Čas odborníka [min]	Měření	Čas odborníka [min]
1.	07:31	16.	06:48
2.	07:44	17.	06:30
3.	07:16	18.	07:20
4.	06:59	19.	06:50
5.	07:10	20.	06:55
6.	06:51	21.	07:02
7.	06:58	22.	06:37
8.	07:10	23.	06:50
9.	07:01	24.	07:00
10.	06:54	25.	06:45
11.	06:20	26.	07:10
12.	06:45	27.	06:56
13.	06:27	28.	06:46
14.	06:52	29.	07:02
15.	06:50	30.	06:47

Jak již bylo psáno, tak v tabulce 1 lze vidět naměřené časy montážního procesu odborných pracovníků. Měření probíhalo od začátku procesu až do konce montážního úkonu čili zahrnuje časy jak efektivní, tak i neefektivní. Mezi neefektivní časy se řadí například čas předání sestav mezi pracovníky (nevzniká žádná přidaná hodnota výrobku). Bylo provedeno třicet měření. Každý čas odpovídá sérii čtyř sestavených kusů.

Z tabulky 2 lze vyčíst průměrnou hodnotu, která je bez čtyř sekund sedm minut, medián je o deset sekund delší. Při pohledu na maximální a minimální naměřený čas, je zřejmé, že se časy liší o minutu a dvacet čtyři sekund. Tento rozdíl je enormní, ale dá se vysvětlit. Rozdíl je způsobený především nedokonalými montovanými součástkami jako je například kolečko, které nerotuje, nebo chybějící matice ve horním upínacím kusu. V takových případech se musí sestava opravit a dochází k navyšování montážního času.

Tabulka 2 Statistické údaje k tabulce č.1

Průměr	06:56
Medián	07:06
Max.	07:44
Min.	06:20



Obrázek 27 Graf časů při zavedených podmínkách

Na obrázku 27 je vidět graf všech měření. Lze říci, že první dvě měření byla jedna z nejdelších. Od třetího do desátého měření byly naměřeny časy okolo sedmi minut na jeden cyklus. Jedenáctý měřený čas je naopak časem nejkratším. Do sedmnáctého měření se časy pohybovaly v rozmezí od 6:27 do 6:50 min. Osmnácté měření se řadí mezi časově náročnější, ale ve zbylých měřeních se časy pohybují v rozmezích od 6:37 do 7:10 min.

Tabulka 3 Časy jednotlivých fází montáže 4 ks při zavedených podmínkách

Měření	Čas 1. fáze [min]	Čas 2. fáze [min]	Čas 3. fáze [min]	Čas 4. fáze [min]	Čas 5. fáze [min]	Součet [min]
1.	01:06	00:51	01:51	01:05	02:06	06:59
2.	01:03	00:54	01:45	01:00	02:05	06:47
3.	01:05	01:03	01:42	00:59	02:06	06:55
4.	01:08	00:49	01:54	01:03	02:12	07:06
5.	01:10	01:04	01:58	01:04	01:56	07:12
6.	01:08	00:55	01:53	01:02	02:08	07:06
7.	01:12	00:52	02:01	01:01	02:04	07:10
8.	01:11	00:56	01:53	01:00	02:05	07:05
9.	01:05	00:53	01:48	01:00	02:07	06:53
10.	01:08	00:58	01:46	01:06	02:06	07:04
11.	01:09	00:58	01:50	01:03	02:04	07:04
12.	01:10	00:54	01:51	01:00	02:03	06:58
13.	01:10	00:55	01:48	01:06	02:06	07:05
14.	01:08	00:54	01:52	01:08	02:07	07:09
15.	01:09	00:53	01:58	01:00	02:05	07:05
16.	01:11	00:50	01:57	01:01	02:04	07:03
17.	01:08	00:51	01:57	01:03	02:07	07:06
18.	01:10	00:49	01:55	01:06	02:05	07:05
19.	01:07	00:56	01:57	01:00	02:06	07:06
20.	01:10	00:52	01:58	01:07	02:04	07:11

Tabulka 4 Statistické údaje k tabulce č.3

	1. fáze [min]	2. fáze [min]	3. fáze [min]	4. fáze [min]	5. fáze [min]	Součet [min]
Průměr	01:08	00:54	01:53	01:03	02:05	07:03
Medián	01:08	00:54	01:53	01:03	02:06	07:05
Max.	01:12	01:04	02:01	01:08	02:12	07:12
Min.	01:03	00:49	01:42	00:59	01:56	06:47

V tabulce 3 jsou vidět časy jednotlivých fází. Bylo provedeno 20 měření každé fáze. Poslední sloupec je věnovaný součtu jednotlivých časů. Průměr těchto součtů, který, můžeme vidět v tabulce 4, by měl mít kratší čas než průměr v tabulce 2. Kratší by měl být



z důvodu měření pouze efektivních časů čili odpadá neefektivní složka. Při porovnání si ale lze povšimnout, že průměr časů v tabulce 2 je menší než v tabulce 4, z toho lze usoudit, že v procesu je velice málo nebo žádný neefektivní čas. Je možné, že vyšší průměr součtu časů je větší z důvodu chybných montážních dílů, díky lidskému faktoru nebo může záviset na fázi pracovní směny.

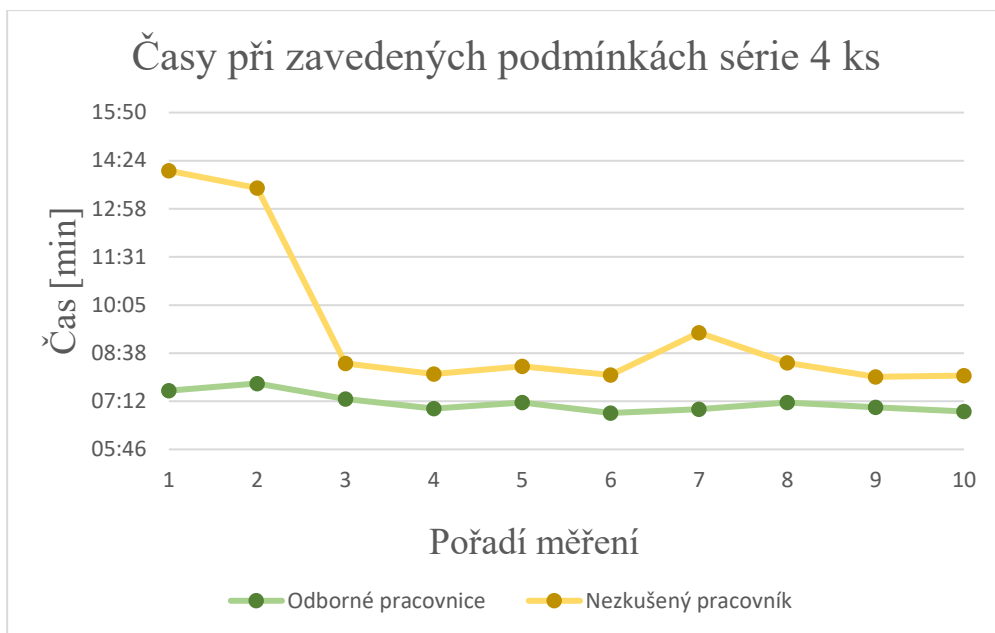
Tabulka 5 Časy začátečníka při zavedených podmínkách série 4 ks

Měření	Čas začátečník [min]
1.	14:06
2.	13:35
3.	08:20
4.	08:01
5.	08:15
6.	07:59
7.	09:15
8.	08:21
9.	07:56
10.	07:58

Posledním měřením bylo měření montáže nezkušeného pracovníka. Toto měření probíhalo za provozu, kdy skládal stejné série čtyř sestav jako zkušené pracovnice. Montáž probíhala bez výrobního výkresu nebo návodky, ale po slovním vysvětlení a názorné ukázkou odborné pracovnice. Celé měření probíhalo pod dohledem odborné pracovnice. Časy nezkušeného pracovníka jsou vidět v tabulce č.5. V tabulce 6 je zapsaný průměrný čas nezkušeného pracovníka. V porovnání s průměrným časem zkušených pracovníků je o 2:24 min horší. Mezi maximálním a minimálním časem montáže je rozdíl 6:10 min. To je dáno především prvním měřením, kdy nezkušený pracovník pracoval na montáži poprvé.

Tabulka 6 Statistické údaje k tabulce č.5

Průměr	09:23
Medián	08:18
Max.	14:06
Min.	07:56



Obrázek 28 Graf srovnání časů odborných pracovníků se začátečníkem

V grafu na obrázku 28 jsou vidět časy nezkušeného pracovníka. Je zřejmé, že první dvě měření se nezkušený pracovník seznamoval s prostředím, montovanou sestavou i nástroji, časy byly rapidně zvýšené. Od třetího měření až do posledního desátého měření se časy pohybují okolo 8 minut, lze tedy říci, že se nezkušený pracovník naučil montovat danou sestavu. V sedmém měření je čas 9:15 min, to bylo dáno chybným kolečkem, které se musel na konci vyměnit za jiné.

Ve stejném grafu je také prvních 10 měření zkušených pracovníků pro srovnání s časy nezkušeného pracovníka. Jak již bylo zmíněno, první dva časy byly vysoké, ale zbylé časy jsou konstantní a přibližují se odborným pracovnícím. Časový rozdíl bych přisuzoval k rozdělení práce mezi dvě pracovnice, ale hlavně zkušenostem a svalové paměti pro tento typ montáže.

### 7.3 Popis optimalizovaného stavu pracoviště

Jelikož montovaná sestava byla zavedena do montážního procesu před několika lety, je její montážní postup optimalizovaný, i tak bylo nalezeno pár změn, které dokázaly celý montážní proces urychlit. Nejedná se o změny v montážním postupu jako takovém, ale spíše v uspořádání pracoviště pro lepší ergonomičnost nebo volby vhodnějších nástrojů.

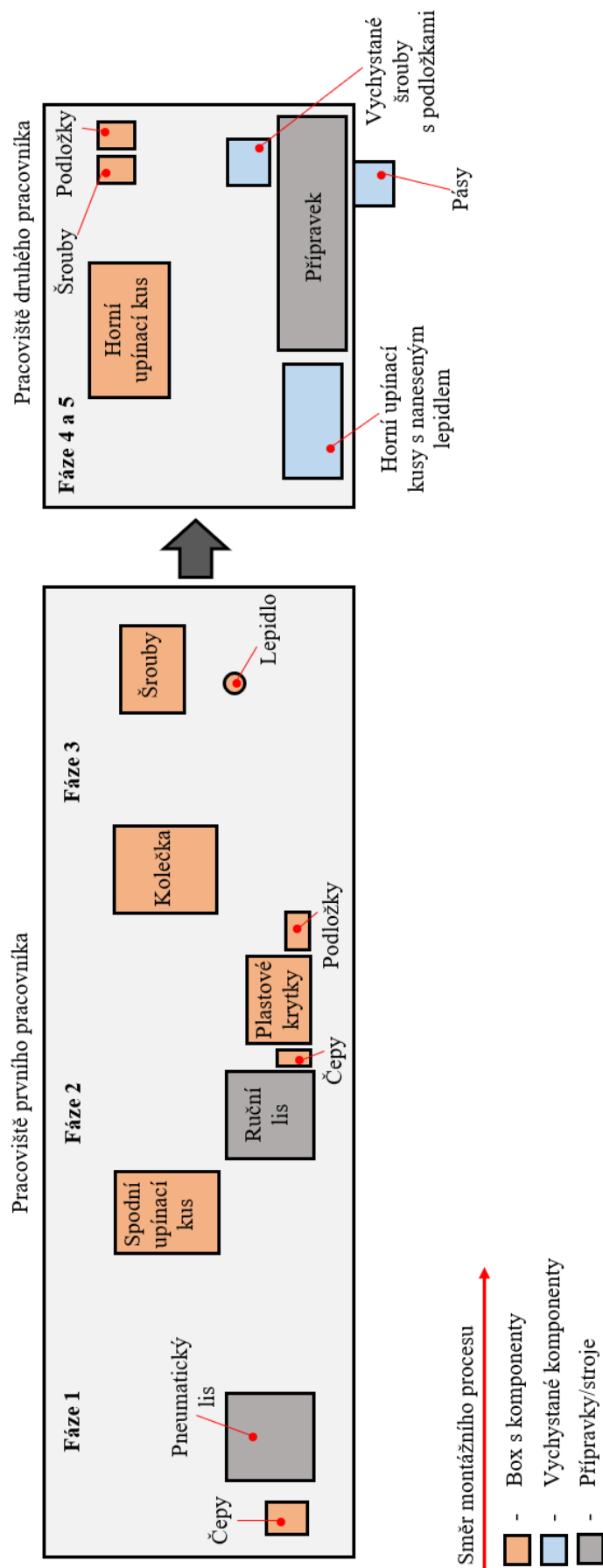
V první fázi montáže k žádné změně nedošlo. Bylo vyhodnoceno, že umístění čepů a pneumatického lisu jsou na správném místě. Stejně jako přípravek, který napomáhá se zalisováním čepu. Díky přípravku se snadněji vkládá sestava do lisu a napomáhá správnému vložení. Přípravek v pneumatickém lisu také zajišťuje kvalitativní parametry, tím že se čep zalisuje vždy na správné místo a zalisuje se jen do určité míry.

Ve fázi druhé bylo zjištěno, že box se spodním upínacím kusem je umístěn přesně za ručním lisem a při montáži se muselo nevhodně natahovat pro tuto součástku. Tento box byl přesunut kousek doleva tak, aby pracovníkovi při braní nepřekážel ruční lis. Ve druhé fázi byly nevhodně umístěny i čepy, kterými se spojoval spodní upínací kus s ramenem. Box s těmito čepy byl umístěn mezi boxem na spodní upínací kus a lisem. Tento box byl přesunut vedle ručního lisu z pravé strany tak, aby jej pracovník mohl pohodlně vzít.

Ve třetí fázi byl box s kolečky posunut doprava tam, kde byly před optimalizací boxy se šrouby a s podložkami. Tato změna proběhla z důvodu velké vzdálenosti mezi pracovníkem a boxem s komponenty. S touto změnou souvisí i přesunutí boxu na plastové krytky a podložky, které po optimalizaci má pracovník po levé ruce hned na kraji stolu, takže není zbytečně přetěžován a celkové podávání komponentů je pohodlnější a přirozenější. Box se šrouby se od původního rozmístění posunul na pravý kraj stolu spolu s lepidlem, které se nachází pod tímto boxem.

Jelikož se v zavedených podmínkách na dotažení používal ruční momentový klíč, kterým bylo dotahování velmi zdlouhavé, byl tento momentový klíč vyměněný za pneumatický momentový klíč. Tato změna mohla být provedena, protože po celé montážní hale je rozveden stlačený vzduch.

V poslední, páté fázi montáže, bylo provedeno několik změn v rámci rozmístění pracoviště. V první řadě se posunul přípravek do pravé spodní části pracovního stolu na místo, kde byly v původním rozmístění pásy. Pásy byly přemístěny na pravý kraj police pod pracovní deskou. Tato změna byla provedena z důvodu ergonomie a časové úspory při montáži. Jelikož pracovník u montáže sedí, může pohodlně uchopit pás z pod stolu a bez problému jej umístí na rameno, zatímco v původním rozmístění pracovník musel pás vzít, obracet jej v ruce a hledat správné umístění. Toto po optimalizaci odpadá, protože pásy jsou připravené tak, jak se na součást montují. Další změna přišla v místě vychystaných horních upínacích kusů. Horní upínací kusy byly přesunuty vlevo od přípravku. Tato změna byla provedena z důvodu špatného přístupu, protože když je sestava v přípravku, je velice vysoká a pracovník se musel pro díl příliš natahovat. Vychystané šrouby s podložkami se mírně posunuly doprava za přípravek. Zde nastává podobný problém jako v původním stavu s horním upínacím kusem, ale jelikož je na horní upínací kus nanášeno lepidlo, je vhodnější brát raději tuto součást. Box s horním upínacím kusem zůstal na stejném místě a menší boxy se šrouby a podložkami se posunuly mírně vpravo ke kraji stolu. Celé optimalizované rozmístění znázorňuje následující obrázek 29.

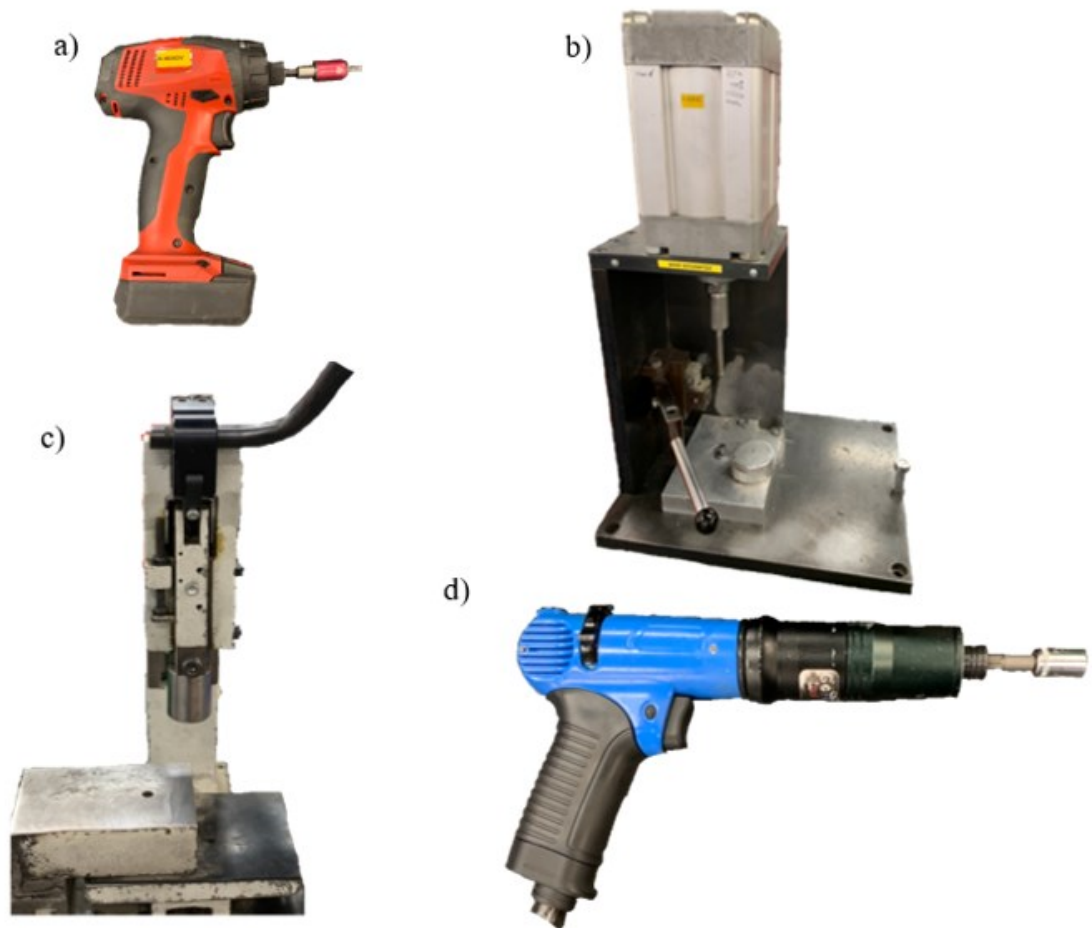


Obrázek 29 Schéma uspořádání po optimalizaci

### 7.3.1 Použité nářadí

V optimalizovaném stavu bylo použito velmi podobné nářadí jako ve stavu původním. Jak již bylo psáno v kapitole 7.2.1 o nástrojích, ve stávajícím stavu se používaly čtyři typy nářadí, v optimalizovaném stavu byly také použity čtyři typy nářadí, kterými jsou:

- a) Aku-vrtačka
- b) Pneumatický lis
- c) Ruční lis
- d) Pneumatický momentový klíč



Obrázek 30 Použité nástroje po optimalizaci

Je zřejmé, že první tři nástroje jsou shodné před i po optimalizaci. Čtvrté použité nářadí se liší. Byl použit pneumatický momentový klíč. Pneumatický momentový klíč nahradil aku-vrtačku ve třetí fázi montáže, jelikož zvládne zašroubovat šrouby stejně rychle nebo i rychleji než aku-vrtačka. Největší předností pneumatického momentového klíče je přesné dotažení klíče na určitý moment za krátký čas pouze jedním nástrojem, který musí pracovník uchopit.

### 7.3.2 Změřené časy při optimalizovaných podmínkách

Tato část diplomové práce se zaměřuje na měření časů pracovníků, stejně jako v kapitole 7.2.2, měřené sestavy, jejíž montážní proces prošel optimalizací. Jak již bylo psáno, tak nedošlo k optimalizaci samotného montážního procesu, nýbrž jen k optimalizaci rozmístění komponentů na pracovním stole a výměně nástroje za nástroj vhodnější.

Aby mohly být časy po optimalizaci porovnatelné s těmi za stávajícího stavu, probíhala všechna měření za stejných podmínek. Stejně jako za stavu stávajícího byla třicetkrát měřena doba montáže od začátku po konec montáže. Dvacetkrát byl změřen čas při každé fázi montáže a desetkrát byl změřen nekvalifikovaný pracovník při montáži neoptimalizovaného stavu.

Tabulka 7 Časy při optimalizovaných podmínkách série 4 ks

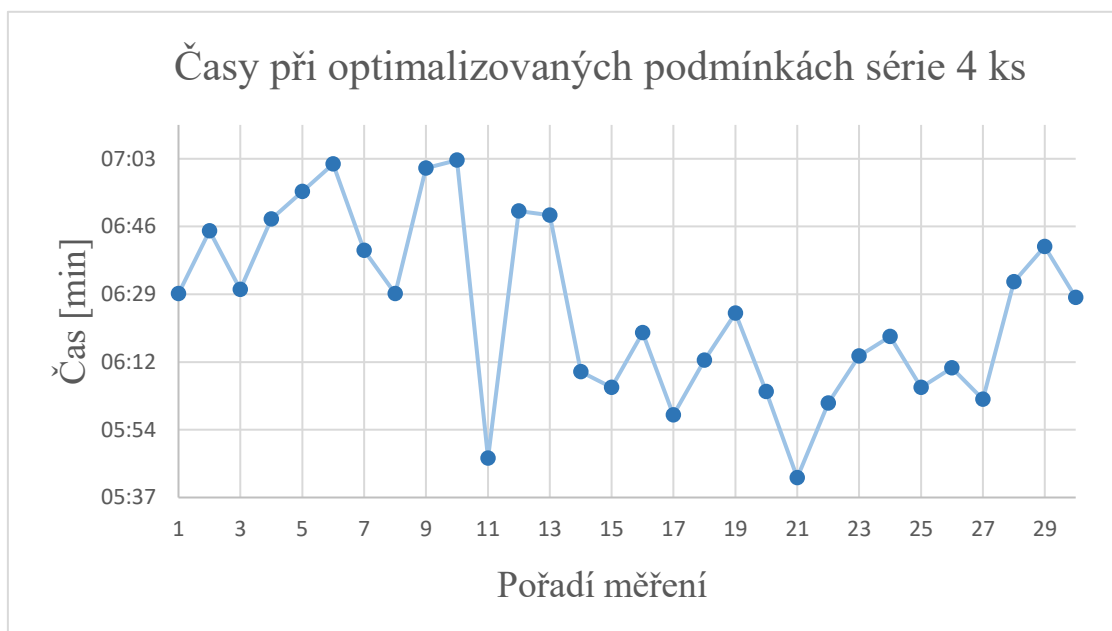
Měření	Čas odborníka [min]	Měření	Čas odborníka [min]
1.	06:29	16.	06:19
2.	06:45	17.	05:58
3.	06:30	18.	06:12
4.	06:48	19.	06:24
5.	06:55	20.	06:04
6.	07:02	21.	05:42
7.	06:40	22.	06:01
8.	06:29	23.	06:13
9.	07:01	24.	06:18
10.	07:03	25.	06:05
11.	05:47	26.	06:10
12.	06:50	27.	06:02
13.	06:49	28.	06:32
14.	06:09	29.	06:41
15.	06:05	30.	06:28

V tabulce sedm lze vidět naměřené časy z prvního typu měření. Prvním typem měření bylo měřit odborné pracovníky od začátku po konec montážního procesu. Měření proběhlo na třiceti sériích po čtyřech kusech sestav. Již na první pohled je zřejmé, že časy jsou kratší než v tabulce 1 při měření stávajícího stavu.

Pro lepší orientaci byla vytvořena tabulka 8, kde se nachází statistické údaje jako je průměr, maximum, minimum a další. Průměrná hodnota z tohoto měření je tedy 6:25 min. Nejdelším časem, tedy maximem, je měření s délkou 7:03 min, které se od průměrné hodnoty odchyluje o 38 sekund, což mohlo být způsobeno vadou některé ze součástí. Naopak minimem je čas měření s délkou 5:42, který se od maximální hodnoty liší o 1:21 min. To by se dalo vysvětlit dobrou morálkou na pracovišti spolu s kvalitativně vyhovujícími komponenty.

Tabulka 8 Statistické údaje k tabulce 7

Průměr	06:25
Medián	06:46
Max.	07:03
Min.	05:42



Obrázek 31 Graf časů při optimalizovaných podmínkách



Na obrázku 31 je vidět graf s časy montážního procesu při optimalizovaných podmínkách. V prvních 10 měřeních lze pozorovat, že si odborné pracovnice, původně přivyklé na jiné podmínky, teprve na optimalizované podmínky zvykají. Nic se nemění na tom, že už těchto prvních deset měření vykazuje velice dobré časy. Jedenácté měření je prvním ze tří časů, které je pod šest minut, tedy 5:47, tím dalším je měření sedmnácté s časem 5:58 a měření s nejlepším časem 5:42 je měření jednadvacáté. Další měření v pořadí tedy měření dvanácté a třinácté trvají delší dobu než měření v druhé a třetí desítce. Od měření čtrnáctého do šestadvacátého se časy pracovníků pohybují okolo šesti minut na montážní úkon. Poslední tři měření jsou delší, a to okolo šesti a půl minuty na montážní úkon.

Tabulka 9 Časy jednotlivých částí montáže 4 ks při zavedených podmínkách

Měření	Čas 1. fáze [min]	Čas 2. fáze [min]	Čas 3. fáze [min]	Čas 4. fáze [min]	Čas 5. fáze [min]	Součet [min]
1.	01:05	00:52	01:35	00:31	02:31	06:34
2.	01:01	00:51	01:43	00:31	02:20	06:26
3.	01:06	00:43	01:43	00:30	01:41	05:43
4.	01:08	00:33	01:38	00:38	01:40	05:37
5.	01:05	00:46	01:47	00:37	01:58	06:13
6.	01:05	00:55	01:41	00:41	01:51	06:13
7.	01:00	00:46	01:48	00:39	01:54	06:07
8.	01:00	00:45	01:45	00:45	01:53	06:08
9.	00:55	00:49	01:30	00:28	01:51	05:33
10.	01:01	00:48	01:42	00:25	01:34	05:30
11.	01:04	00:50	01:47	00:34	01:54	06:09
12.	01:06	00:45	01:46	00:32	01:55	06:04
13.	01:02	00:52	01:42	00:36	01:49	06:01
14.	01:01	00:49	01:38	00:38	01:53	05:59
15.	01:05	00:52	01:45	00:31	01:46	05:59
16.	01:03	00:51	01:44	00:42	01:51	06:11
17.	01:06	00:48	01:48	00:35	01:56	06:13
18.	01:05	00:45	01:42	00:38	01:48	05:58
19.	01:04	00:51	01:41	00:32	01:52	06:00
20.	01:05	00:46	01:38	00:34	01:53	05:56

Tabulka 10 Statistické údaje k tabulce č.9

	1. fáze [min]	2. fáze [min]	3. fáze [min]	4. fáze [min]	5. fáze [min]	Součet [min]
Průměr	01:03	00:48	01:42	00:35	01:53	06:02
Medián	01:04	00:48	01:42	00:35	01:53	06:02
Max.	01:08	00:55	01:48	00:45	02:31	06:34
Min.	00:55	00:33	01:30	00:25	01:34	05:30

V tabulce v pořadí deváté jsou vyobrazené časy jednotlivých fází po optimalizaci. Proběhlo dvacet měření každé fáze zvlášť, v posledním sloupci je součet fází jednotlivých měření. Tento součet by měl být v průměru kratší o neefektivní časy než průměr časů z předchozího měření. Porovná-li se průměr z minulého měření, který je 6:25 min, a průměr součtů z tabulky 10, který je 6:02 min, je druhý v pořadí o celých 23 sekund kratší.

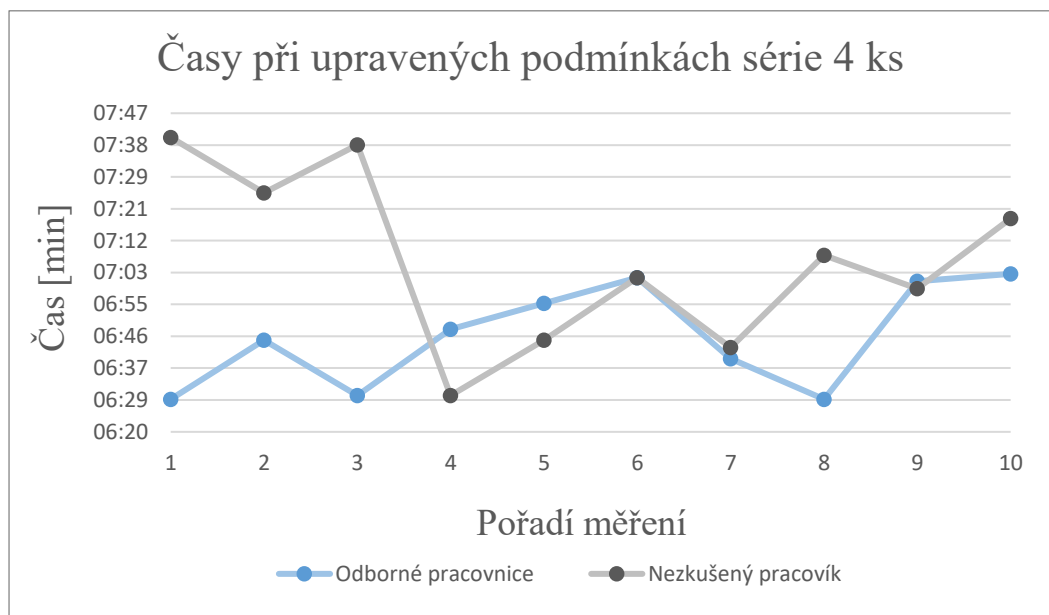
Tabulka 11 Časy po optimalizaci série 4 ks

Měření	Čas začátečník [min]
1.	07:40
2.	07:25
3.	07:38
4.	06:30
5.	06:45
6.	07:02
7.	06:43
8.	07:08
9.	06:59
10.	07:18

I po optimalizaci podmínek bylo provedeno měření montážních časů práce nekvalifikovaného pracovníka. Stejně jako v předešlé kapitole bylo měření provedeno desetkrát, za použití stejného nezkušeného pracovníka. Jediným rozdílem mezi prvním a druhým měřením jsou první dvě měření, jelikož byl pracovník již seznámen s montovanou sestavou a znal i postup montáže. Tyto časy lze vidět v tabulce 11. V následující tabulce 12 jsou uvedeny statistické údaje k tabulce 11. Průměr po optimalizaci montáží nezkušeným pracovníkem je 7:07 min. Minimální čas, za který dokázal sestavu složit, je 6:30 min, naopak jeho nejdelší je o minutu a deset sekund horší, tedy 7:40 min.

Tabulka 12 Statistické údaje k tabulce 11

Průměr	07:07
Medián	07:05
Max.	07:40
Min.	06:30



Obrázek 32 Graf srovnání časů odborných pracovníků se začátečníkem

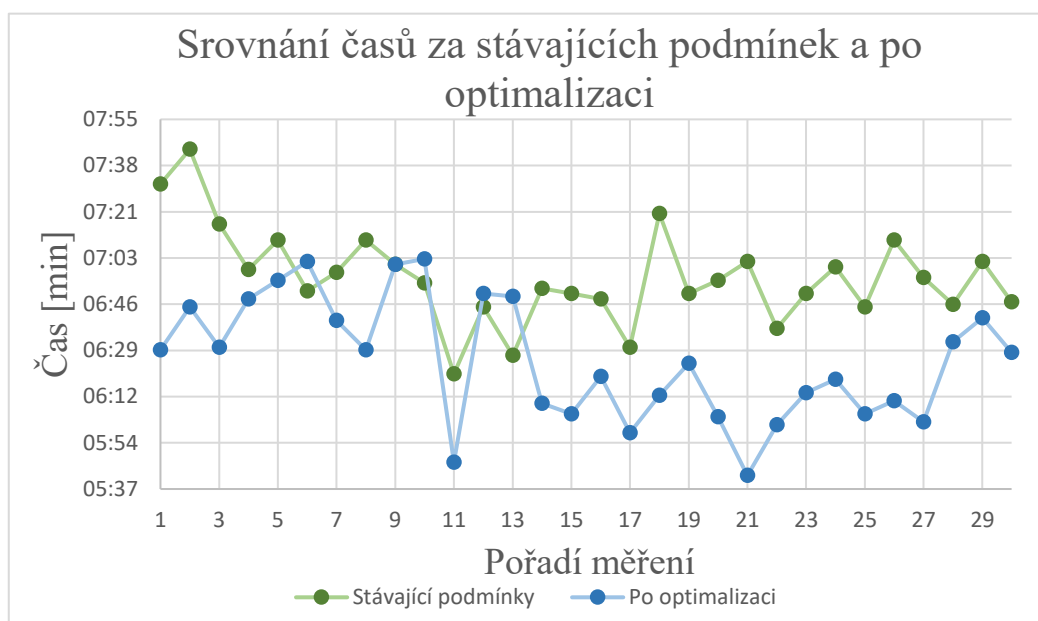
Na obrázku 32 je graf, na kterém je zobrazeno všech deset měření práce nezkušeného pracovníka po optimalizaci podmínek. Jak si lze všimnout, tak jeho výkon začal třemi měřeními kolem sedmi a půl minuty, čtvrté měření bylo nejlepší s časem 6:30 min.

V grafu se také nachází prvních deset časů odborných pracovníků, aby mohly být porovnány s časy nezkušeného pracovníka. V tomto srovnání je zřejmé, že nezkušený pracovník byl zapracovanější a počáteční rozdíly nejsou již tak vysoké. Od čtvrtého měření se časy odborných pracovníků a nezkušeného pracovníka téměř shodují. Je to dáno i tím, že nezkušený pracovník nebyl zvyklý na předchozí nastavení a rychle se naučil to nové, ale naopak odborné pracovníce jejich naučené pohyby bylo těžší přeučit. Přesto se dá tvrdit, že po více montážních sériích by se odborné pracovníce dostaly na lepší montážní časy než nezkušený pracovník.

## 7.4 Porovnání a vyhodnocení časů před a po optimalizaci

Poslední část této kapitoly je zaměřena na porovnání předchozích měření. V předchozích částech 7.2.2 a 7.3.2 byly představeny tři druhy měření. Vyhodnocovány budou mezi sebou stejné typy měření za stávajících podmínek a po optimalizaci.

Nejprve bude vyhodnoceno první měření, kterým je měření montážního procesu od začátku po poslední úkonu v montážním procesu. Z hodnot v tabulkách 1 a 7 byl vytvořen graf pro jednodušší vyhodnocení, zda je optimalizovaný stav lepší.



Obrázek 33 Srovnání časů před a po optimalizaci

V grafu na obrázku 33 jsou vidět časy z měření za stávajících podmínek, které jsou znázorněny zelenou barvou, modrá zase reprezentuje časy po optimalizaci. Lze z něj vyčíst, že první měření se hodně liší, čas po optimalizaci je více než o minutu rychlejší než čas za zavedených podmínek. Na druhou stranu časy prvního a druhého měření za stávajících podmínek jsou nadprůměrné. Se zvyšujícím se počtem měření se časy nejdříve sjednotí, ale v druhé a třetí desítce měření jsou rychlejší. Po srovnání průměrů časů měření za stávajícího stavu, který je 6:56 min (tabulka 2) a po optimalizaci, který je 6:25 min (tabulka 8), se potvrzuje, že přestože některá měření měla časy velmi podobné, je montáž po optimalizaci rychlejší. Tento uspořádaný čas se dá v praxi využít buď ke zrychlení montáže, nebo, pokud je čas dostatečně rychlý, pro mezioperační kontrolu, měření nebo výstupní kontrolu.

Druhým typem měření bylo měření času jednotlivých částí montáže. Cílem tohoto měření bylo zjistit, jak dlouho jednotlivé fáze trvají, jestli montáž obsahuje velké neefektivní časy, ale především, která z optimalizovaných částí montáže zajistila nejvíce úspory času.

V první fázi montáže nebyla provedena žádná změna, přesto průměrné časy před optimalizací a po optimalizaci se ale mírně liší. V průměrných časech je rozdíl 5 sekund, což je zanedbatelné. Tyhle rozdíly mohly být způsobeny únavou pracovníků nebo jejich motivací v rámci pracovní směny. Podobné rozdíly jako u průměru můžeme pozorovat i u minimální a maximální hodnoty, které jsou vidět v tabulce 13.

Tabulka 13 Porovnání první fáze před a po optimalizaci

	Zavedené podmínky 1. fáze [min]	Po optimalizaci 1. fáze [min]
Průměr	01:08	01:03
Min.	01:03	00:55
Max.	01:12	01:08

Ve druhé fázi montáže byly provedeny ergonomické změny, což bylo popsáno v kapitole 7.3. V tabulce 14 lze porovnat minima, maxima a průměry z měření časů druhé fáze. Na první pohled je zřejmé, že se průměry liší jen o jednu sekundu víc než průměry ve fázi první čili o 6 sekund. Co se týká naměřených minimálních a maximálních časů, jsou mnohem rozdílnější než ve fázi první. U druhé fáze se minima liší o 16 sekund a maxima o 9 sekund. Z toho se dá usoudit, že pracovníci nebyly zvyklé na nové podmínky, proto jsou průměrné časy podobné, ale je možné, že po delší době používání optimalizovaného nastavení si pracovníci zvyknou a časy by se mohly přiblížit minimu.

Tabulka 14 Porovnání druhé fáze před a po optimalizaci

	Zavedené podmínky 2. fáze [min]	Po optimalizaci 2. fáze [min]
Průměr	00:54	00:48
Min.	00:49	00:33
Max.	01:04	00:55

Ve třetí fázi došlo podobně jako ve druhé hlavně k ergonomickým změnám. Změn bylo podstatně více jako v části druhé a s tím souvisí i rozdíl průměrných časů před i po optimalizaci. Čas při zavedených podmínkách je o 11 sekund pomalejší jako při optimalizovaných. Podobné rozdíly jsou i u minima a maxima. U minima je to konkrétně 12 sekund a u maxima 13 sekund. Z toho lze usoudit, že optimalizace proběhla úspěšně.

Tabulka 15 Porovnání třetí fáze před a po optimalizaci

	Zavedené podmínky 3. fáze [min]	Po optimalizaci 3. fáze [min]
Průměr	01:53	01:42
Min.	01:42	01:30
Max.	02:01	01:48

K největším změnám došlo ve fázi čtvrté. Zde proběhla optimalizace výměnou aku vrtačky a manuálního montážního klíče, za pneumtický momentový klíč. Jak je vidět v následující tabulce 16, tak průměrné časy se zlepšily o necelou půl minutu. Největší rozdíl se nachází mezi minimálními časy. Minimální čas při zavedených podmínkách je 59 sekund a minimální čas po optimalizaci je 25 sekund. Rozdíl mezi minimy je 34 sekund. Tento rozdíl je enormní a je možné tedy tvrdit, že tato změna montážního procesu dokázala zrychlit.

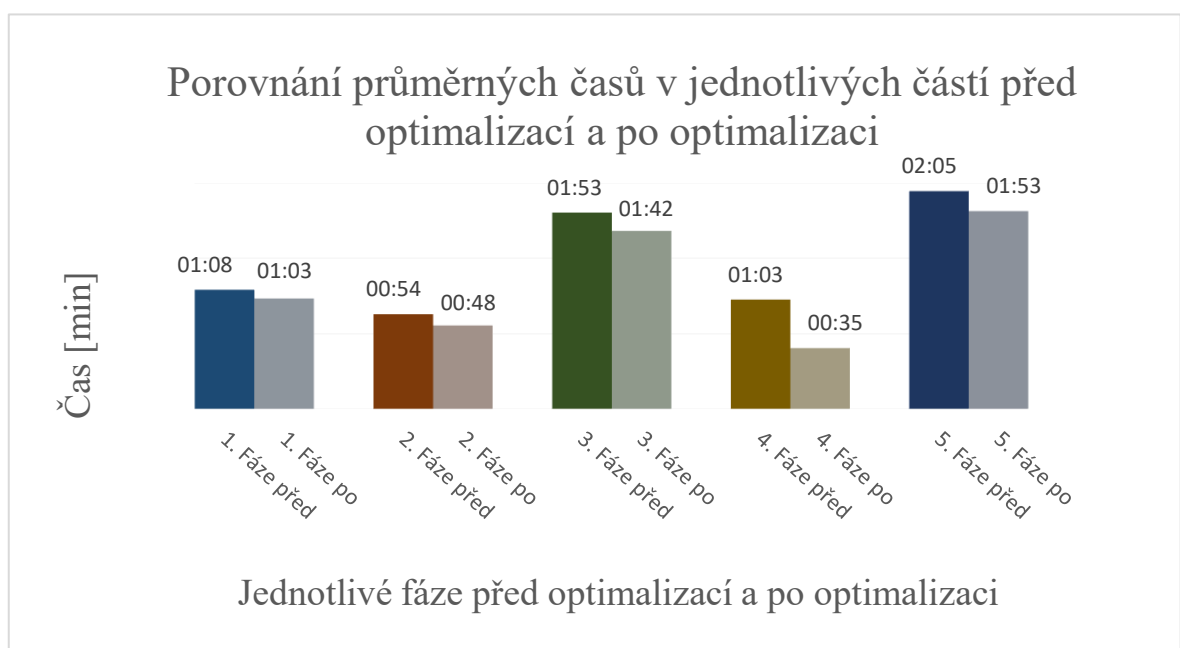
Tabulka 16 Porovnání čtvrté fáze před a po optimalizaci

	Zavedené podmínky 4. fáze [min]	Po optimalizaci 4. fáze [min]
Průměr	01:03	00:35
Min.	00:59	00:25
Max.	01:08	00:45

Poslední, pátá fáze, byla optimalizována stejně jako druhá a třetí tak, že došlo jen k ergonomickým změnám. Na první pohled si lze všimnout, že průměrný i minimální čas po optimalizaci je kratší než při zavedených podmínkách, zatímco maximum je u optimalizovaného stavu vyšší, a to o 19 sekund. Z tabulky 9 lze vyčíst, že tento čas je hned prvním měřeným časem. Je tedy možné říci, že pracovnice si musely zvyknout na provedené změny, které v této fázi byly opravdu velké, ale po seznámení se se všemi změnami, se optimalizace vyplatila a celý proces zrychlila.

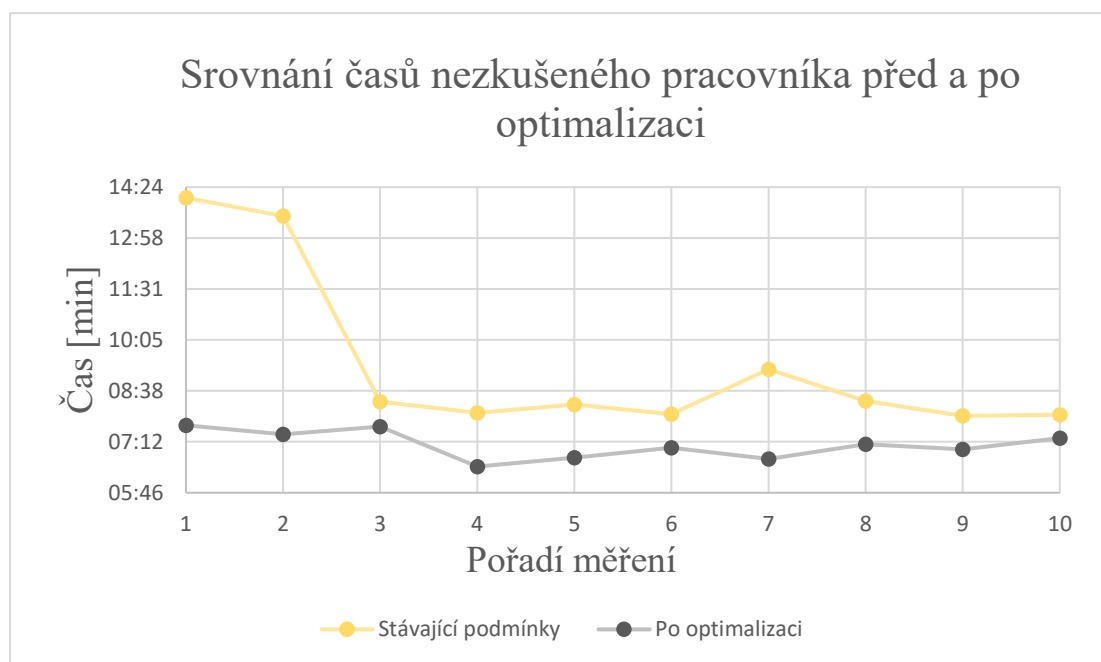
Tabulka 17 Porovnání páté fáze před a po optimalizaci

	Zavedené podmínky 5. fáze [min]	Po optimalizaci 5. fáze [min]
Průměr	02:05	01:53
Min.	01:56	01:34
Max.	02:12	02:31



Obrázek 34 Srovnání průměrných časů jednotlivých fází před a po optimalizaci

V grafu na obrázku 34 jsou vidět jednotlivé průměrné časy všech fází před optimalizací i po optimalizaci. Je vidět, že třetí a pátá fáze jsou nejdelšími fázemi montážního procesu. Ostatní tři fáze jsou časově kratší a velmi podobné. Lze si všimnout, že všechny časy za zavedených podmínek jsou delší než časy po optimalizaci. Jak již bylo psáno výše, největším rozdílem mezi průměrnými časy, a tedy posunem k lepšímu, zajistila fáze čtvrtá. Ostatní rozdíly mezi časy jsou menší, ale při součtu veškerého ušetřeného času je to na jeden montážní cyklus velice dobrý výsledek.



Obrázek 35 Srovnání časů nezkušeného pracovníka před a po optimalizaci

Na obrázku 35 je graf, který porovnává časy nezkušeného pracovníka. Žlutá barva značí časy nezkušeného pracovníka za zavedených podmínek a šedá barva značí časy nezkušeného pracovníka za podmínek optimalizovaných. Jak si lze všimnout, první dvě měření za zavedených podmínek jsou mnohem delší než zbylá měření. Je to dáno seznamováním se pracovníka s montážním systémem. Od třetího měření jsou pak časy vyváženější a přesnější. Na první pohled je patrné, že časy po optimalizaci jsou kratší než za zavedených podmínek. Je zřejmé, že pracovník byl již na montážní systém aklimatizován, z toho důvodu nejsou první dvě měření stejná jako v případě měření za stávajících podmínek.



## 8 DOKUMENTACE PRO MONTÁŽ

V této kapitole je představena kompletní dokumentace pro montáž dané sestavy s názvem Habel und Roller. Dokumentace pro montáž obsahuje seznam dílů, kde jsou vyfoceny a popsány všechny použité díly a seznam nástrojů, ve kterém jsou vypsány všechny použité nástroje. Nejdůležitějším dokumentem pro montáž je návodka. Návodka obsahuje celý postup od začátku až po dokončení montáže. Důležitým dokumentem popisovaným v této kapitole je také kontrolní karta. Všechny tyto dokumenty jsou vzájemně provázané čili pořadová čísla v seznamech nástrojů i dílů odpovídají číslům v návodce. Zároveň označení v kontrolní kartě odpovídá kroku v návodce nebo pořadovému číslu v seznamu dílů.

### 8.1 Seznam dílů

Jak již napovídá název kapitoly, bude zde psáno o seznamu dílů. Seznam byl vytvořen z důvodu lepší orientace mezi díly. Výhodou seznamu dílů jsou informace, které obsahuje, přičemž tyto informace pak nemusí dále figurovat v návodce, která je díky tomu přehlednější. Dalším důvodem, proč byl vytvořen seznam dílů, je prvotní nachystání montážního pracoviště. Montážní pracoviště neslouží pouze pro montáž této sestavy, takže se podle seznamu dílů jednodušeji přichystávají všechny potřebné komponenty.




Seznam dílů obsahuje patnáct položek. Jsou to všechny hlavní díly, kterých je šest, spolu s devíti spojovacími díly. První strana seznamu dílů je úvodní, na dalších stranách se nachází tabulka se čtyřmi sloupci. V prvním sloupci má každý díl přiřazeno pořadové číslo. Toto číslo se následovně objevuje v návodce pro jednodušší dohledávání dílů. Druhý sloupec s názvem vizualizace dílu slouží k náhledu na součást, a to z důvodu lepší orientaci ve skladu při hledání daného dílu. Ve třetím sloupci se nachází název dílu. Název dílu je volen podle kusovníku, který je součástí výrobního výkresu. V předposledním sloupci je norma. Norma je jen u normalizovaných dílů jako jsou čepy, matice nebo šrouby. Poslední sloupec slouží k určení počtu kusů, které jsou potřeba pro montáž jedné sestavy. Na následující straně je obrázek 36 s příkladem seznamu dílů. Celý seznam dílů se nachází v příloze práce.

POŘADÍ	VIZUALIZACE DÍLU	NÁZEV DÍLU	NORMA	POČET KS
1.		Ložiskový blok s ložiskem	-	1
2.		Rameno	-	1
3.		Rovný čep	DIN 6325 12m6x60	1
4.		Excentrický válec s osou a ložiskem A1	-	2
5.		Ložiskový blok s ložiskem	-	2
6.		Podložka	6,4 x 15,5 x 1,5	4
7.		Čtyřhranná matice	DIN 577 M6	2

## 8.2 Seznam nástrojů

Seznam nástrojů slouží ke stejnému účelu jako seznam dílů. Díky seznamu si pracovník spolehlivě nachystá všechny potřebné nástroje. Seznam nástrojů obsahuje čtyři nástroje, kterými jsou pneumatický lis, ruční lis, pneumatický momentový klíč a aku-vrtačka.

Seznam nástrojů se skládá ze čtyř sloupců. První sloupec s názvem pořadí přidává jednotlivým nástrojům označení. V tomto případě je označení prováděno jiným způsobem, než tomu bylo v předchozím seznamu. Rozdílné označení v obou seznamech je z důvodu používání v návodce, aby se pracovník nespletl a věděl, které značení je k dílům, a které k nástrojům. Stejně jako u seznamu dílů je ve druhém sloupci vizualizace. Každý nástroj je vyfocen tak, aby byl rozpoznatelný. Ve třetím sloupci je název nástroje. V posledním čtvrtém sloupci se nachází označení bezpečnosti zařízení. Tato bezpečnost je označena vykřičníkem v trojúhelníku. Tyto trojúhelníky jsou rozlišeny barevně, jak je vidět na obrázku 37. Zelený vykřičník, hrozí malé nebezpečí úrazu při práci s nástrojem, při práci s nástrojem, který má oranžový vykřičník, hrozí střední nebezpečí a pracovník musí být na pozoru. Červený vykřičník znamená vysoké nebezpečí při práci, pracovník by měl striktně dodržovat bezpečnost práce a neměl by být rozptylován jinými vjemy. Identické vykřičníky se objevují i v návodce, která bude popsána v další kapitole. Příklad strany s nástroji je na obrázku 38.

Legenda	
Symbol	Význam
	Malé nebezpečí při práci.
	Střední nebezpečí při práci.
	Pozor ! Nebezpečí při práci, dodržuj bezpečnost!

Obrázek 37 Legenda k bezpečnosti práce s nástroji

POŘADÍ	VIZUALIZACE NÁSTROJE	NÁZEV NÁSTROJE	BEZPEČNOST
1.0		Pneumatický lis	
2.0		Ruční lis	
3.0		Pneumatický momentový klíč	
4.0		Aku vrtačka	

Habel und Roller

1

Obrázek 38 Příklad strany ze seznamu nástrojů

### 8.3 Návodka



Třetím dokumentem montážní dokumentace je návodka. Návodka je nejdůležitější dokument ze všech čtyřech zpracovaných. Cílem návodky je vést pracovníka při montáži, tak aby nepotřeboval jinou pomoc od znalých spolupracovníků. Návodka také zajišťuje správnost montáže a taktéž i kvalitativní parametry montované sestavy. Zjednodušeně řečeno, návodka je podrobný návod, jak sestavu smontovat. V návodce jsou vypsány potřebné díly, potřebné nářadí a postup v jednotlivých krocích. Tahle sestava byla rozdělena do 11 samostatných kroků.

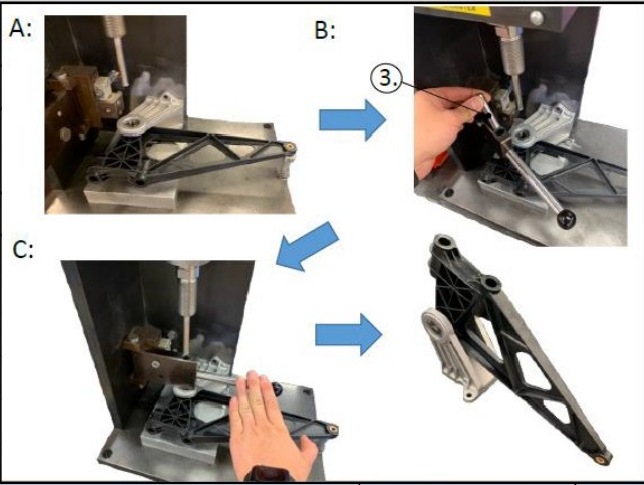
V levé horní části návodky se nachází označení kroku, pracovník musí postupovat chronologicky, aby žádný z kroků nevynechal. Vedle číselného označení kroku je název kroku a v posledním sloupci tohoto řádku se nachází označení náročnosti kroku, význam označení nalezneme v legendě na konci návodky. Na další řádek se zapisuje název potřebného nářadí. V levé části řádku se nachází označení nářadí ze seznamu nářadí, v prostředním sloupci se nachází název nářadí a v posledním sloupci je piktogram s označením bezpečnosti při práci s daným nářadím. Dále se na návodce nalézají seznam potřebných dílů v daném kroku. V levém sloupci se nachází označení dílu stejně jako v seznamu dílů, ve druhém sloupci se nachází název potřebných dílů. V předposledním sloupci se nachází připomenutí pro vstupní kontrolu daného dílu. Tato kontrola je blíže specifikovaná v kontrolní kartě vstupní kontroly. V posledním sloupci se nachází informace o počtu potřebných kusů daného dílu.

Pravá horní část slouží k názorné vizualizaci, kde pracovník vidí jednotlivé díly, jak je umístit do sestavy. Vizuelní část je opatřena označením částí kroku i číselným označením dílů. Přechod mezi částmi je označen modrými šipkami, aby měl pracovník jistotu, že postupuje podle sledu montáže.

Ve spodní části návodky se nachází popis montážního postupu, kdy v levém sloupci jsou označeny části kroku. Označení částí kroku slouží k lepší orientaci v obrázcích, které jsou v pravé horní části návodky. Ve druhém sloupci popisu montážního postupu se nachází samotný slovní popis jednotlivých částí kroků. V následujícím sloupci se nachází jednoduchý popis kontroly po provedení dané části a v posledním sloupci je označení náročnosti jednotlivých částí.

Ve spodní části montážní návodky se nachází popis finální kontroly před postupem na další krok montáže. Na obrázku 39 lze vidět příklad strany z návodky, celá návodka je pak k dispozici v příloze práce.

Krok 02		Zalisování čepu		
Označení	Potřebné stroje a nářadí			Bezpečnost při práci
1.0	Pneumatický lis			
Označení dílu	Název dílu	Vstupní kontrola dílu	Počet kusů	
3.	Rovný čep	Velikost	1	
01	Sestava z kroku 01	Souosost děr	1	
Část	Popis montážního postupu			Kontrola po provedení části
A.	Vložit sestavu z kroku 01 do přípravku v lisu tak, aby díra, kam se bude lisovat čep, byla umístěna na čepu v lisu. Základna se musí opírat o zadní stěnu lisu a kovová výztuž na konci ramene o určené místo.			Kontrola souososti děr
B.	V následujícím kroku se vloží čep do bezpečnostního přípravku. Čep se vkládá tak, aby zkosená část čepu byla vždy dole.			-
C.	Bezpečnostní přípravek s čepem se zatlačí do krajní polohy nad otvorem, do kterého chceme čep zalisovat. Bezpečnostní přípravek tlačíme za madlo k tomu určené.			Kontrola krajní polohy přípravku
D.	Nohou sešlápnutý spínač lisu se drží po celou dobu lisování.			-
Finální kontrola před dalším krokem	Při finální kontrole se musí dát pozor na to, aby čep nebyl nedolisovaný nebo naopak na druhé straně nepřesahoval. Na obou koncích by měl čep být stejně dlouhý.			



Obrázek 39 Ukázka strany druhé z návodky

## 8.4 Kontrolní karta

Posledním dokumentem je kontrolní karta. Tento dokument slouží ke správné kontrole dílů a montované sestavy. Dělí na čtyři části, kterými jsou – kontrolní plán, vstupní kontrola, mezioperační kontrola a poslední výstupní kontrola.

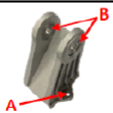

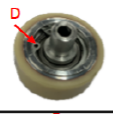

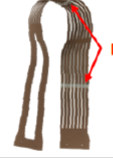
Kontrolní plán určuje, jaké součásti budou měřeny, pomocí jakých měřicích zařízení, kdo tyto kontroly provádí, kde se tyto kontroly provádí a jak často se kontroly provádí. V kontrolním plánu jsou rozděleny všechny tři kontroly, mezioperační a výstupní kontrola.

Navržená kontrolní karta obsahuje na levém boku číslo. Číslo před desetinou čárkou značí, o jakou kontrolu se jedná čili 1- vstupní, 2- mezioperační a 3- výstupní kontrola. Číslo za desetinou čárkou má dva významy, ve vstupní a výstupní kontrole má význam součásti ze seznamu součástí, na které se kontrola provádí, zatímco v mezioperační kontrole toto číslo značí krok v návodce, po kterém se mezioperační kontrola provádí. Jak již bylo řečeno, dále obsahuje informaci o kontrolované součásti, měřicím zařízení, kdo je za kontrolu zodpovědný, kde se kontrola provádí a četnost kontrolovaných dílů z dávky. Ve vstupní kontrole bylo zvoleno pouze 6 ks z dávky, ale u zbylých dvou je nutné kontrolovat každý druhý kus. Na spodní straně je prostor pro poznámky. Na obrázku 40 lze vidět navržený kontrolní plán.

Kontrolní plán					
1 Vstupní kontrola					
Číslo	Kontrolovaná součást	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost
1.1	Ložiskový blok s ložiskem	Posuvné měřidlo	Technik	Kvalita	6 ks z dávky
1.2	Rameno	x	Skladník	Příjem	6 ks z dávky
1.4	Excentrický válec s osou a ložiskem	x	Operátor	Montážní hala	6 ks z dávky
1.9	Horní upínací kus	x	Operátor	Montážní hala	6 ks z dávky
1.15	Pás na očka	x	Technik	Kvalita	6 ks z dávky
2 Mezioperační kontrola					
Číslo	Kontrolní veličina	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost
2.04	Pohyblivost spodního upínacího kusu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
2.08	Míra utažení	Momentový klíč	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
2.09	Výřez na pravé straně	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
2.10	Dobré upevnění pásu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
3 Výstupní kontrola					
Číslo	Kontrolní veličina	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost
3.1	Kontrola pásu zda, není rozlepený	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
3.2	Kontrola pohyblivosti ramene	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
3.3	Kontrola otáčení kol	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
3.5	Kontrola oček na pásu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
3.6	Kontrola pohyblivosti spodního upínacího kusu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus
Poznámky					

Obrázek 40 Kontrolní plán

Vstupní kontrolu je nutné provádět pouze u pěti komponentů a jak již bylo psáno, provádí se náhodně na šesti kusech z dávky. Kontrolní list vstupní kontroly se dělí do čtyř hlavních sloupců. První ze sloupců značí číslo komponentu ze seznamu dílů. V druhém sloupci je náhled na součást. V tomto náhledu je také pomocí šipek a písmene označeno, co se na součásti kontroluje. Ve třetím sloupci je popis vstupní kontroly. Popis je zvolen tak, aby kontrolor věděl, na jaké místo na součásti se zaměřit. Poslední sloupec slouží ke značení, zda kontrola proběhla a součást je v pořádku nebo kontrola proběhla, ale součást v pořádku není. Toto značení se provádí pomocí fajfky nebo křížku. Na spodní straně je potom místo pro jméno a příjmení pracovníka, který kontroluje součást a na datum, kdy byla kontrola provedena. Kontrola se provádí bezprostředně před montáží čili se zde uvádí datum montáže. V této části se též nachází zakázkové číslo, aby mohla být šarže zpětně dohledatelná a také podpis zodpovědné osoby. Na obrázku 41 lze vidět vytvořený kontrolní list pro vstupní kontrolu.



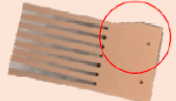

Kontrolní list							
Check list - vstupní kontrola							
Č.	náhled	popis vstupní kontroly	Souhlasí - ✓ / Nesouhlasí - X				
			1	2	3	4	5
1.		Průchodnost a průměr (8,5 mm) postranních děr [A]					
		Ložiska na pozicích [B] jsou přítomna					
2.		Přítomnost výstuže na pozici [C]					
4.		Otáčení kola v ložisku					
		Přítomnost pojistných kroužků na pozici [D]					
9.		Přítomnosti matic. [E]					
15.		Kontrola, zda pás není rozlepený					
		Přítomnost oček v pásu - 2 x 8 oček v řadě [F]					
		Kontrola, zda pás není pokreslený nebo jinak vizuálně znehodnocený					
Jméno příjmení pracovníka:			Zakázkové číslo:				
Datum montáže:			Podpis:				

Obrázek 41 Kontrolní list – vstupní kontrola



Mezioperační kontrola je kontrola prováděná operátorem, který provádí montáž. Mezioperační kontrola slouží k zamezení všech nesrovnalostí v co nejkratším čase. Nejproblémovější komponenty jsou tedy kontrolovány hned po dokončení daného montážního kroku.


Jak již bylo zmíněno, v levé části se nachází číselné označení, které udává, po jakém kroku operátor danou součást kontroluje. Druhý sloupec slouží ke stručnému popisu kontroly. Ve sloupci třetím je náhled a upřesnění kontrolovaného kusu. Upřesnění je zajištěno pomocí červených doplňkových šipek u vizualizace. V posledním sloupci je jako u předešlé varianty místo pro prostor na značení dobrých a špatných dílů pomocí fajfky nebo křížku. V mezioperační kontrole se kontroluje každý druhý kus z dávky, z toho důvodu je k dispozici pouze 19 políček, každá várka obsahuje 38 sestav. V dolní části tohoto listu je místo pro jméno a příjmení pracovníka, který kontrolu provádí. Vpravo od jména a příjmení se nachází místo pro zakázkové číslo, aby byla dohledatelná zakázka v případě chybné várky a mohl být dohledán kontrolor. Na řádce pod tím je vidět místo pro datum montáže a vedle pro podpis pracovníka montáže, který kontrolu provádí. Na obrázku 42 lze vidět náhled na kontrolní list mezioperační kontroly.

Kontrolní list												
Check list - mezioperační kontrola												
Č.	Popis	náhled	Souhlasí - ✓ / Nesouhlasí - X									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
04	Pohyblivost spodního upínacího kusu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	X
08	Utažení šroubů na 12 Nm na pozici [A]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	X
09	Výřez na pravé straně při navlékání na rameno		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	X
010	Dobré upevnění pásu s přidáním lepidla do matic na pozici [B]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	X
Jméno příjmení pracovníka:		Zakázkové číslo:										
Datum montáže:		Podpis:										

Obrázek 42 Kontrolní list – mezioperační kontrola

Výstupní kontrola slouží k finální kontrole sestavy po dokončení montáže. Finální kontrolu provádí operátor a kontroluje každý druhý kus. Ve výstupní kontrole se kontrolují nejdůležitější aspekty sestavy, mezi které patří například pás na oka, kolečka či rameno.

Kontrolní list výstupní kontroly se liší od předešlých dvou. V prvním sloupci se nachází náhled na celou sestavu, kde jsou červenými šipkami s písmeny označena místa, na kterých je nutné provést kontrolu. Druhý sloupec slouží k popisu výstupní kontroly. Vpravo od popisu výstupní kontroly je místo pro zaznamenávání správných či vadných dílů. Ve spodní části je identický popis i s místem pro zaznamenání výsledků. To je z důvodu množství měření, jelikož se měří každý druhý kus, tak byla tabulka pro zaznamenávání rozdělena na prvních 10 a zbylých 9 kontrol viz. obrázek 43.

Kontrolní list											
Check list - výstupní kontrola											
Náhled	Popis výstupní kontroly	Souhlasí - ✓ / Nesouhlasí - X									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Kontrola pásu, zda není rozlepený										
	Kontrola pohyblivosti ramene [A]										
	Kontrola otáčení kol [B]										
	Přítomnost oček v pásu - 2x 8 oček v řadě [C]										
	Kontrola pohyblivosti spodního upínacího kusu [D]										
Jméno příjmení pracovníka:					Zakázkové číslo:						
Datum montáže:					Podpis:						

Obrázek 43 Kontrolní list – výstupní kontrola

## 9 PODPORA MONTÁŽE

Cílem této kapitoly je zjistit, jaký prostředek je pro podporu montáže nejúčinnější. Nejúčinnější způsob nemusí vždy znamenat, že je tím nejrychlejším. Důležitým faktorem u podpory montáže je, aby i nezkušený pracovník dokázal sestavu složit i bez řádného proškolení na danou sestavu odborným personálem.

V této kapitole budou testovány tři způsoby montáže a následně porovnány jak z časového hlediska, tak z hlediska samostatnosti montáže pracovníka. Třemi zvolenými způsoby je návodka, video návod a montáž pomocí výrobního výkresu. Pro experiment bylo vybráno devět lidí. Tito lidé pracují ve firmě Windmöller & Hölscher a zastávají kancelářské pozice čili s montováním nemají velké zkušenosti a sestavu nikdy před tím neviděli. Každému z vybraných zaměstnanců byl přidělen způsob, podle kterého sestavu skládal. Každý způsob byl tedy měřen třikrát, a to pokaždé jiným zaměstnancem. Žádný z testovaných neskládal tuto sestavu dvakrát.

### 9.1 Návodka

V tomto experimentu probíhala montáž nekvalifikovanými zaměstnanci pomocí návodky. Návodka je detailně popsána v kapitole 8.3, celá návodka je potom k dispozici v příloze práce.

Tento experiment prováděli tři zaměstnanci firmy. Všechny testované osoby byly ženy. První měřenou osobou byla inženýrka kvality. Druhá měřená pracuje na pozici projektového manažera, třetí pracuje jako personalistka. Měření probíhalo odděleně a pracovnice se tedy na montážním stanovišti nepotkaly. V tabulce 18 jsou vidět celkové časy jednotlivých pracovnic.

Tabulka 18 Celkové časy montáže podporované návodkou

	celkový čas
Osoba 1	10:26
Osoba 2	11:18
Osoba 3	10:42

Jak lze z tabulky 18 vyčíst, tak všechny pracovníce dosáhly času přes deset minut. První pracovníce montáž sestavy zvládla za 10:26 min, montáž probíhala dobře, vše bylo pochopeno z návodky a nebylo nutné pracovníci nijak radit či navádět ji. Druhá pracovníce s časem 11:18 min, prošla montáží až do konce velice dobře, v posledním kroku muselo dojít k navedení pracovníce, tak aby montovaná součást byla kvalitativně v pořádku. Třetí pracovníce svůj úkol splnila v čase 10:40 min, kdy při montáži nebylo zapotřebí žádné rady.

Tabulka 19 Časy jednotlivých fází montáže s podporou návodky

Fáze	1	2	3	4	5
Osoba 1	02:27	02:00	02:10	01:01	02:45
Osoba 2	01:51	02:11	02:28	00:55	03:53
Osoba 3	03:15	01:46	01:46	01:21	02:48

V tabulce 19 jsou zaznamenány časy pracovníků za jednotlivé fáze. Jak je vidět, tak třetí pracovníce má v první fázi znatelně delší čas než zbylé dvě pracovníce. Je to z důvodu seznámení se s návodkou a jednotlivými kroky montáže. První fázi všechny pracovníce prošli bez větších problémů. Největším problémem pro tyto pracovníce bylo vložení připravené sestavy do přípravku pro zalisování čepu. Ve druhé fázi montáže pak byla třetí pracovníce nejrychlejší, rozdíl časů byl ale menší než v předešlé první části. Ve fázi druhé neměla žádná z pracovníků problém, stejně jako u třetí a čtvrté fáze. Jak je již vidět v tabulce 19, tak druhá pracovníce má v páté fázi mnohem vyšší čas než zbylé dvě pracovníce. To bylo dáno tím, že pracovníce nezvládla umístit pás na správné místo a jak již bylo řečeno, bylo nutné pracovníci navést a pomoci jí. Zbylé dvě pracovníce tento krok zvládly bez větších problémů.

## 9.2 Video montáž

V této podkapitole probíhala montáž nekvalifikovanými pracovníky pomocí video animace. Animace byla vytvořena v programu NX. Animace byla rozdělena na 11 částí, stejně jako to je v případě návodky. Byla vytvořena animace v kuse, tak aby se pracovník mohl seznámit s celým montážním procesem, potom bylo video rozděleno na již zmíněných jedenáct částí. Pracovníci měli k dispozici tablet, na kterém bylo video promítáno, mohli si jej pustit a přetáčet dle potřeby. Na obrázku 44 lze vidět náhled na vytvořenou animaci. V animaci chybí poslední komponent, kterým je pás, jelikož nebylo možné se dostat k celému modelu sestavy. V poslední fázi bylo tedy pracovníkům slovně vysvětleno, jak pás správně patří.



Obrázek 44 Náhled na začátek animace

Stejně jako v experimentu s návodkou, tak i v tomto byli pro měření využiti pracovníci z kancelářských pozic. V tomto případě to byli dva muži a jedna žena. První pracovník zastává pozici procesního inženýra, druhý pracuje na pozici PLM key user systém a třetí pracovnice se věnuje personálním záležitostem. Stejně jako v prvním měření se jednotliví pracovníci při montáži nepotkali. V tabulce 20 lze vidět celkové časy při montáži pomocí video návodu.

Tabulka 20 Celkové časy montáže podporované videem

	celkový čas
Osoba 1	06:27
Osoba 2	06:29
Osoba 3	06:09

Z tabulky 20 lze vyčíst, že prvním dvěma pracovníkům trvala montáž kolem šesti a půl minuty, poslednímu měřenému pak něco přes šest minut. Časy jsou na první pohled mnohem kratším než u předchozího měření, ale nedá se říct, že by všichni pracovníci sestavu složili bez dalších nápověd a navádění. Používané přístroje, především pneumatický lis, jsou složité na použití a pro dobrý výsledek finální sestavy byla nápověda nutná. Přesto, že na videu je dobře vidět, kam díly patří, tak tam není blíže specifikováno, jak díly na místo dostat.

Tabulka 21 Časy jednotlivých fází montáže s podporou videa

Fáze	1	2	3	4	5
Osoba 1	01:12	01:31	01:02	01:00	01:41
Osoba 2	01:31	00:45	01:06	01:08	01:56
Osoba 3	01:26	01:13	01:16	00:38	01:34

V tabulce 21 jsou vidět časy pracovníků za jednotlivé fáze. Ve fázi první všichni pracovníci zvládli vložit rameno do ložiskového bloku, ale umístit takto připravenou sestavu do přípravku v lisu bez nápovědy nedokázal ani jeden. Druhým problémem bylo vložení čepu do bezpečnostního přípravku, kdy se snažili čep zalisovat s přidržením jej nad dírou, což je při ohledu na bezpečnost práce nepřípustné. V druhé fázi měli pracovníci podobný problém jako ve fázi první. V této fázi udělal druhý pracovník chybu, kdy spodní upínací kus zalisoval na rameno ze špatné strany, tuto chybu přisuzují špatnému nastudování video návodu. Třetí fáze byla pro všechny pracovníky velice jednoduchá a pomocí video návodu ji smontovali až na připomínku, že se šrouby musí namočit do lepidla kvůli zafixování, jelikož tato informace ve video návodu nebyla. Problém nastal až ve fázi poslední, kdy ve video návodu nefiguroval pás, jelikož v modelu nebyl k dispozici, takže bylo nutné pracovníkům pomoci a ukázat, jak má být pás správně. Tato nápověda by neměla být zahrnuta do celkového zhodnocení, jelikož ve video návodě nebyla.

### 9.3 Výrobní výkres

V této třetí a poslední části experimentu nekvalifikovaní pracovníci montovali sestavu pomocí výrobního výkresu. Stejně jako tomu bylo v případě video návodu, tak i u výkresu chyběl pás čili bylo nutné v poslední fázi montáže slovně pracovníky navést. Výrobní výkres byl k dispozici jen pro experiment, do diplomové práce být zařazen nemůže.

Aby byly všechny tři experimenty porovnatelné, tak i v tomto případě byli využiti zaměstnanci firmy z kanceláře, kteří nemají se sestavou zkušenosti. Prvním pracovník byla žena, která zastává pozici projektového manažera, zbylí dva byli muži – jeden pracuje jako procesní inženýr a druhý jako specialista na kusovníky. V tabulce 22 lze vidět celkové montážní časy pracovníků při podpoře montáže výrobním výkresem.

Tabulka 22 Celkové časy montáže podporované výrobním výkresem

	celkový čas
Osoba 1	07:27
Osoba 2	06:46
Osoba 3	07:46

Jak je z tabulky 22 patrné, tak celkové časy pracovníků, kteří montovali sestavu pomocí výrobního výkresu mají velice podobné časy jako pracovníci, kteří montovali s podporou video návodu. Ale stejně jako v předchozím měření bylo těmto pracovníkům zapotřebí pomoci, jelikož bez bližšího seznámení se stroji, přípravky a postupem nebylo možné tuto sestavu složit. Největší pomoc potřebovala pracovnice první. Nejvíce zručný potom byl druhý pracovník.

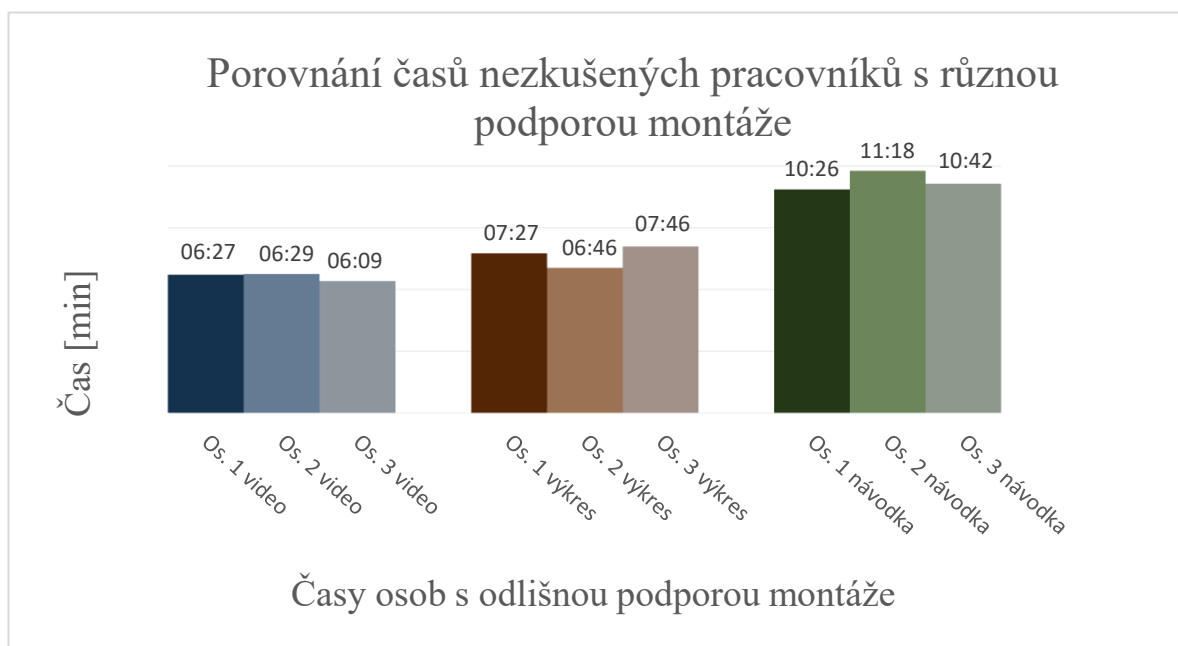
Tabulka 23 Časy jednotlivých fází montáže s podporou výrobního výkresu

Fáze	1	2	3	4	5
Osoba 1	02:01	01:28	01:09	00:52	02:06
Osoba 2	02:20	01:18	01:14	00:34	01:20
Osoba 3	01:26	01:30	02:03	01:10	01:35

V tabulce 23 jsou vidět časy pracovníků v jednotlivých fázích montáže. Je vidět, že poslední pracovník zvládl tento krok za nejlepší čas. Zatímco druhý měřený pracovník měl čas nejhorší. Důvodem bylo, že si pracovník chtěl nejdříve nachystat všechny potřebné komponenty, přičemž ty byly již nachystané v jednotlivých fázích čili tato strategie mu nijak nepomohla. První pracovnice zvládla tuto fázi za 2:01 min. Tato pracovnice udělala chybu při lisování čepu, kdy jej vložila do přípravku opačným koncem. Všichni tři pracovníci museli být navedeni, jak sestavu vložit do přípravku a jak operovat s pneumatickým lisem. Druhou fází prošli všichni pracovníci bez větších problémů. Ve třetí fázi nastal problém u třetího pracovníka, kdy z výkresu nemohl vyčíst, které komponenty se vkládají nejdříve. Z výkresu nebylo možné vyčíst jaká činnost se provádí ve čtvrté fázi, ale po slovním doplnění ji všichni pracovníci splnili bez problému. Vysvětlena musela být i fáze pátá, kdy na výkresu chyběl pás. Druhý a třetí pracovník po vysvětlení dokončili montáž, třetí pracovnice udělala chybu, když pás připevnila k ramenu opačným směrem.

#### 9.4 Vyhodnocení podpory montáže

Poslední část této kapitoly je věnována vyhodnocení jednotlivých typů montážní podpory. Nejdříve budou porovnány podle celkových časů za jednotlivé montáže a následně bude porovnána funkčnost jednotlivých montážních podpor.



Obrázek 45 Celkové časy při jednotlivých měření s různými montážními podporami



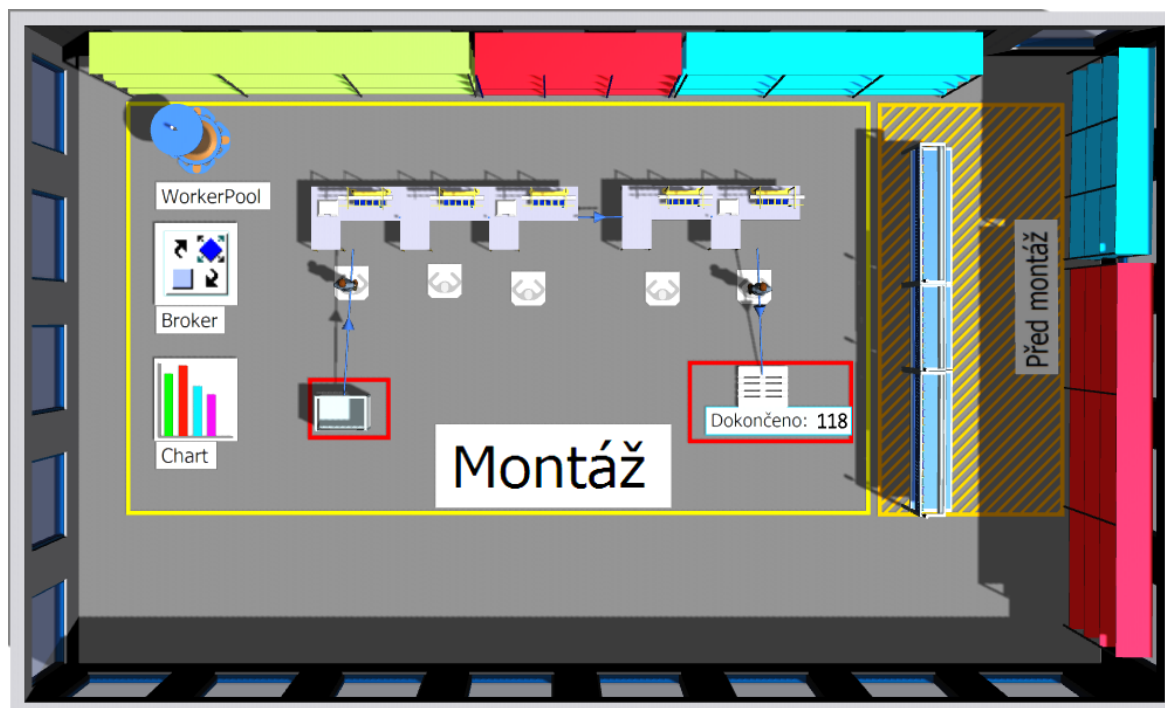
Na obrázku 45 lze vidět sloupcový graf, kde jsou porovnána všechna měření. První tři modré sloupce zastupují pracovníky, kteří k montáži používali video. Prostřední červené sloupce zastupují osoby, které při montáži využívaly výrobní výkres a poslední zelené sloupce představují osoby využívající návodku. Jak si lze všimnout, první dvě trojice sloupců mají mnohem menší čas montáže než při montáži podporované návodkou. Jak již bylo řečeno, při montáži s návodkou je nutné s ní pracovat, což zabere určitý čas. Nejlepší časy podle grafu měli pracovníci při video montáži. To je dáno také tím, že video bylo rozděleno na jednotlivé montážní kroky a bylo zřejmé, co přesně mají pracovníci montovat. Při montáži s výrobním výkresem měli pracovníci o něco horší časy než s videem, to je dáno tím, že na výrobním výkresu není specifikované, které komponenty se montují na začátku, a které nakonec.

Dále bylo provedeno srovnání podpory montáže podle účinnosti. Jak již bylo psáno, v montáži podporované videem a výrobním výkresem bylo nutné pracovníkům radit. V montáži podporované výrobním výkresem bylo vidět, že by nezkušený pracovník sestavu bez nápovědy nedokázal složit čili tento způsob řadím jako nejhorší ze tří testovaných. Při montáži podporované videem bylo taktéž nutné pracovníkům napovídat, ale pomoc nebyla tak velká jako u předešlé varianty. Na rozdíl od předešlé varianty, u podpory montáže videem pracovníci věděli, v jakém pořadí mají sestavu montovat, jen nastal problém s vkládáním sestavy do přípravku nebo nevěděli, že mají utáhnout šrouby na daný moment. Je nutné ale říci, že i při montáži podporované videem by pracovníci sestavu bez vnější podpory nesložili. Při montáži podporované návodkou měli pracovníci přesně specifikované, co v kterém kroku mají dělat a postupovali správně, dá se tedy říci, že jedinou vhodnou podporou montáže je montáž podporovaná návodkou.

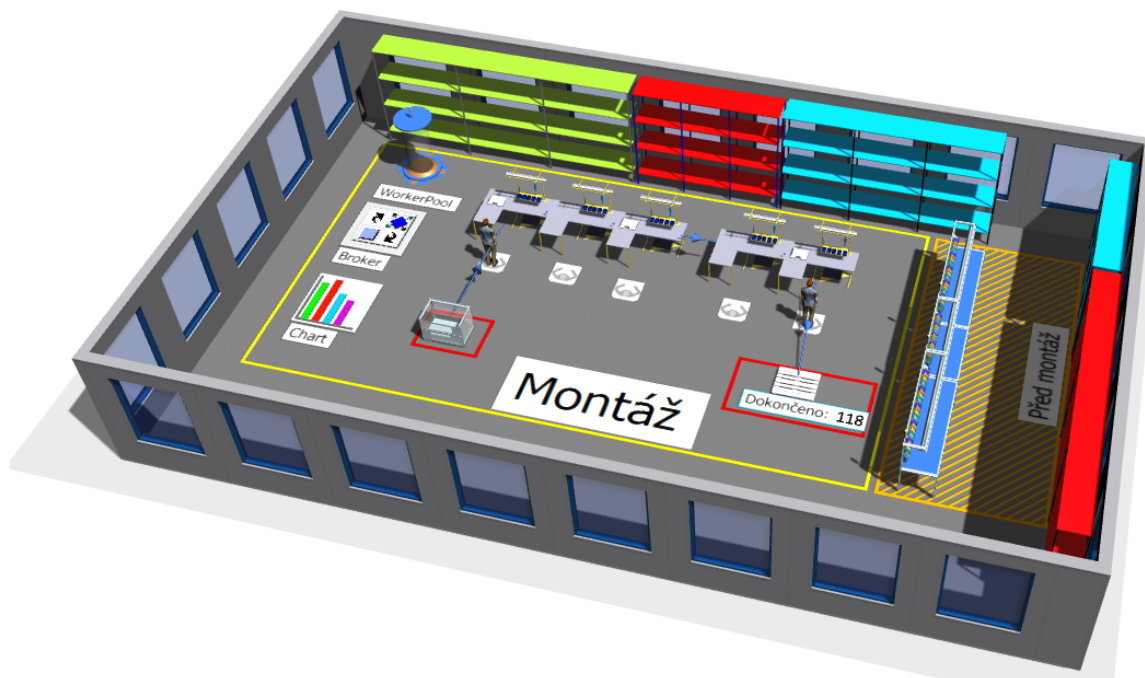
Ideální podporou montáže by byla návodka v kombinaci s montážním videem. Kdyby pracovníci měli přístup k tabletu, na kterém by měli obdobnou návodku jako byla vytvořena a místo obrázků by měli videa, tak by jejich orientace s díly byla lepší a zároveň by pracovníci měli informace o montážním postupu a pravidlech.

## 10 DIGITÁLNÍ DVOJČE MONTÁŽE

Poslední částí této diplomové práce bylo vytvoření digitálního dvojčete daného montážního systému. Digitální dvojče bylo vytvořeno v programu Tecnomatix Plant Simulation. Díky znalostem layoutu a časů v jednotlivých fázích bylo snadné jej vytvořit. Výhodou digitálního dvojčete je jednoduchá kalkulace, kolik produktů se smontuje za jednu směnu a o kolik víc po optimalizaci. Jelikož pracovní místo se v realitě nachází v rohu velké montážní haly, bylo vytvořeno toto pracovní místo, zbytek montážní haly byl opomenut. Do digitálního dvojčete byly zahrnuty regály a místo, kde pracovníce provádí předmontáž menších produktů. Na obrázku 46 lze vidět návrh digitálního dvojčete za stávajících podmínek shora. Pro lepší orientaci lze pak na obrázku 47 vidět digitální dvojče z úhlu.



Obrázek 46 Digitální dvojče stávajících podmínek shora

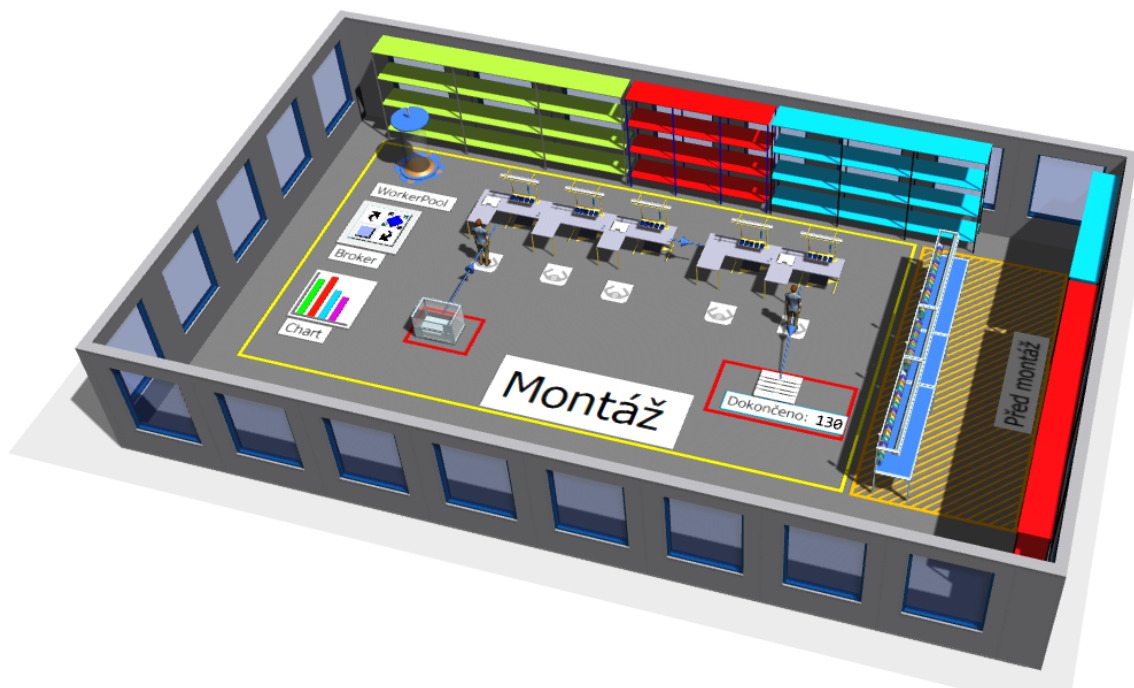


Obrázek 47 Digitální dvojče stávajících podmínek z úhlu

Jak je na obrázcích vidět, bylo vytvořeno montážní pracoviště pro montáž testovaného výrobku, to znázorňuje oblast ve žlutém obdélníku. Jsou zde vidět jednotlivé fáze i pracovníci, kteří montáž provádí. V menším červeném obdélníku se nachází místo pro vstupní materiál a ve větším je paleta pro odkládání již hotových sestav. Pod paletou na hotové sestavy se také nachází počítadlo na zhotovené montážní sérii. Vyšrafovaná oranžová oblast pak značí místo, kde pracovníci provádí předmontáž. Podél levé a zadní stěny se nachází regály s normalizovanými součástmi jako jsou šrouby, čepy nebo matice.

Digitální dvojče bylo nastaveno tak, aby jednotlivé fáze trvaly tak dlouho, jako průměrné časy, které byly měřeny v kapitole 7.2.2 v tabulce č.4, časy jsou tedy za série čtyř smontovaných sestav. Stejně tak byli nastaveni pracovníci, aby každý pracoval pouze na svých pracovištích čili pracovník jedna vykonává fázi jedna až tři a druhý fázi čtyři a pět. Počítadlo bylo nastaveno tak, aby počítalo každou hotovou sérii po dobu pracovní směny. Pracovní směna byla nastavena na 8 h. V takto nastavených podmínkách pracovníci smontovali 118 sérií po čtyřech kusech, což je 472 sestav za směnu.

Tvorba digitálního dvojčete po optimalizaci byla o mnoho jednodušší. Byly zde pouze přenastaveny časy za jednotlivé fáze. Časy po optimalizaci jsou vidět v tabulce č. 10. Veškeré ostatní nastavení zůstalo stejné. Výsledkem tedy je, jak je vidět na obrázku č. 48, že po optimalizaci pracovníci smontují 130 sérií po čtyřech kusech čili 520 sestav.



Obrázek 48 Digitální dvojče optimalizovaných podmínek z úhlu

Závěrem se tedy dá říci, že při optimalizovaných podmínkách jsou pracovníci produktivnější a smontují o 48 sestav více. Výhodou digitálního dvojčete také je, že jednotlivé fáze mohou být nastaveny tak, aby se produkce zvýšila do požadované výše a následně provádět další úpravy v montážním procesu pro jeho další zrychlení.

## 11 DISKUZE

Prvním úkolem této diplomové práce bylo optimalizovat montážní pracoviště. Prvním krokem bylo zjištění stávajícího stavu. V tomto kroku byly zjištěny určité nedostatky, jako je například chybně zvolený nástroj (momentový klíč) nebo špatně rozmístěné komponenty na pracovním stole, které neodpovídali ergonomii na pracovišti. V této fázi byly zkušební pracovnice měřeny, aby následně mohlo dojít k porovnání výsledků s montáží po optimalizaci. Následně bylo pracoviště optimalizováno, tak aby splňovalo ergonomické zásady a byl také využit pneumatický momentový klíč, kterým se šrouby zašroubují na daný moment bez předešlého použití aku-vrtačky. Dále bylo provedeno měření stejným způsobem jako v případě zavedených podmínek. Výsledkem tohoto měření byly časy rychlejší. Ergonomické změny nebyli hlavním důvodem zrychlení časů montáže, čímž se tyto změny mohly vynechat, ale díky těmto změnám byla montáž pohodlnější a v dlouhodobém hledisku i zdravější pro pracovníky montáže. Další změny, které by mohly být přínosem pro tuto montáž je lepší přípravek ve druhé fázi u ručního lisu, kdy se do něj sestava špatně vkládala. Dalším přínosem u ručního lisu by byl přidržovač na čep. Osobně bych volil magnetický nebo mechanický přidržovač pro snadnější zavedení čepu.

Další měření probíhalo v kapitole deváté, kde bylo předmětem měření, jaká podpora montáže je nejvhodnější pro pracovníky. K tomuto měření byli využiti zaměstnanci firmy, kteří zastupují kancelářské pozice. Byly měřeny tři typy podpor montáže – návodka, podpora montáže pomocí videa a podpora montáže výrobním výkresem. Z výsledků je patrné, že nejrychlejším typem podpory montáže je video, dalším je výrobní výkres a nejpomalejší podporou montáže je návodka. Porovnání podpor z hlediska samostatnosti nezkušených pracovníků při montáži je nejlepší návodka, kde pracovníci nepotřebovali pomoci. U dalších dvou podpor montáže byla nutná pomoc, jinak by nebylo možné sestavu složit, pomoc byla nutná zejména u použití pneumatického lisu, nebo u šroubů, kde nevěděli, že se na ně musí nanést lepidlo. Ze získaných výsledků tedy vyplývá, že nejideálnější podporou montáže by bylo video v kombinaci s návodkou, kdy by video zastupovalo fotografie na návodce. Video je mnohem názornější než přidané fotografie a pracovníci hned věděli po jakých krocích postupovat. Z návodky by získaly informace, jak používat pneumatický lis, jak vložit sestavu do přípravku nebo jak nanést lepidlo na šrouby. Takhle zpracovanou návodku by bylo možné používat na tabletu, nebo jiném zobrazovacím zařízení.

Poslední diskutovanou kapitolou je kapitola desátá, kde bylo vytvářené digitální dvojče ke zkoumanému montážnímu procesu. Bylo vytvořené jak k původnímu stavu i ke stavu optimalizovanému pro porovnání. Zjistilo se, že ve stavu po optimalizaci pracovníci montáže smontují o 48 sestav více než za zavedených podmínek. Vytvořené digitální dvojče je také prostředkem pro zrychlení celé montáže do budoucna. Je možné nastavit požadované časy jednotlivých fází a následně vidět o kolik více produktivní pracovníci budou.

## ZÁVĚR

Tato práce se zabývá optimalizací montážního postupu. V teoretické části bylo psáno nejprve o montážních procesech. Dále byla popisována problematika: nástrojů řízení kvality, průmyslu 4.0 (5.0) a princip digitálního dvojčete.

V praktické části byly nejprve uvedeny informace o firmě, ve které byl výzkum prováděn. Pro pochopení celého procesu byl nejprve uveden popis testované sestavy, po čemž následoval rozbor současného stavu montážního procesu a měření času montáže. Měření probíhalo nejprve zkušenými pracovníky a následně pracovníkem bez zkušeností s montáží dané sestavy. V návaznosti na předchozí měření se práce dále zabývala optimalizací, a to zejména se zaměřením na organizaci pracoviště. Cílem optimalizace bylo dosažení zkrácení montážních časů a jednodušší manipulace s montovanými díly. Po návrhu úprav následovalo opětovné měření za stejných podmínek, jak tomu bylo v předchozím případě. Na konci této kapitoly se vyhodnocovaly a porovnávaly naměřené časy, kde se prokázalo zvýšení výkonosti optimalizovaného pracoviště.

V neposlední řadě byla vypracována nová montážní dokumentace, která obsahovala: seznam dílů, seznam nástrojů, návodku a kontrolní kartu. Návodka obsahovala detailní popis procesu sestavení, zatímco kontrolní karta obsahovala úkoly řízení kontroly montáže a kolonku pro zaznamenání chybných kusů.

Dále byla vypracována tzv. podpora montáže, která měla za úkol porovnat rychlost montáže za podpory zmiňované návodky, videa a výrobního výkresu. Video bylo vytvořeno na základě animace v programu NX. Z výsledků naměřených časů bylo patrné, že video vedlo sice k nejkratším časům montáže, avšak z pohledu samostatnosti pracovníka byla užitečnější návodka z důvodu detailnějšího popisu jednotlivých úkonů.

Na závěr bylo provedeno porovnání digitálních dvojčat původní a optimalizované montáže. Získané výsledky prokázaly, že po optimalizaci jsou pracovníci schopni smontovat za jednu směnu o 48 sestav více než v případě původního stavu montáže.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WANG,, H. P. a J. K. LI. Computer-Aided Process Planning. *North Holland: Elsevier*. 1991, 291–296.
- [2] NOF, S. Y., W. E. WILHELM a H. J. WARNECKE. *Industrial Assembly*. London: Chapman and Hall, 1997.
- [3] RILEY, F. J. *The look of automatic assembly: Manufacturing Engineering*. 1982, 89.
- [4] DANIEL, Whitney. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. Oxford University Press, 2004. ISBN 978-0-19-515782-6.
- [5] HARIK, Ramy a Thorsten WUEST. *Introduction to Advanced Manufacturing*. SAE International, 2020. ISBN 978-0-7680-9327-8.
- [6] ABDULLAH, T. A., K. POPPLEWELL a C. J. PAGE. A review of the support tools for the process of assembly method selection and assembly planning. *International Journal of Production Research* [online]. 2010, **41**(11), 2391-2410 [cit. 2022-11-30]. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/002075431000087265
- [7] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
- [8] DUŠÁK, Karel. *Technologie montáže: základy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-708-3906-6.
- [9] GUPTA, A.K, S.K. ARORA a Jean Riescher WESTCOTT. *Industrial Automation and Robotics*. Mercury Learning and Information, 2017. ISBN 978-1-938549-30-4.
- [10] VERLAG, VDE. *ITG-Fachbericht 280 - Smart SysTech 2018, European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies June 12-13, 2018, Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems (IPMS) in Dresden, Germany*. Dresden, Germany: Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, 2018. ISBN 978-3-8007-4694-1.
- [11] SALVENDY, Gavriel. *Handbook of industrial engineering: technology and operations management*. 3rd ed. New York: Chichester, 2001. ISBN 978-0-471-33057-8.
- [12] SWIFT, K. G. a J. D. BOOKER. *Process Selection - From Design to Manufacture*. 2. Elsevier, 2003. ISBN 978-0-7506-5437-1.
- [13] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [14] BOOTHROYD, G. a P. DEWHURST. The Design For Manufacture and Assembly (DFMA)—the Boothroyd & Dewhurst approach. *Third International Conference on Factory 2000 Competitive Performance Through Advanced Technology*,. York: University of York, 1992, 316–321.
- [15] BATTINI, D., M. FACCIO, A. PERSONA a F. SGARBOSSA. New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2011, **41**(1), 30-42. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/j.ergon.2010.12.001
- [16] WÄNSTRÖM, Carl, Lars MEDBO, Roberto ALVAREZ, Marta MELODÍA PEÑA a Roque CALVO. The impact of materials feeding design on assembly process performance: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2008, **20**(1), 30-51. ISSN 1741-038X. Dostupné z: doi:10.1108/17410380910925398



- [17] BATTINI, Daria, Maurizio FACCIO, Alessandro PERSONA a Fabio SGARBOSSA. Design of the optimal feeding policy in an assembly system. *International Journal of Production Economics*. 2009, **121**(1), 233-254. ISSN 09255273. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpe.2009.05.016
- [18] DE GIORGIO, Andrea, Malvina ROCI, Antonio MAFFEI, Milan JOCEVSKI, Mauro ONORI a Lihui WANG. Measuring the effect of automatically authored video aid on assembly time for procedural knowledge transfer among operators in adaptive assembly stations. *International Journal of Production Research*. 2021, 1-16. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/00207543.2021.1970850
- [19] DALLE MURA, M. a G. DINI. A multi-objective software tool for manual assembly line balancing using a genetic algorithm. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2017, **19**, 72-83. ISSN 17555817. Dostupné z: doi:10.1016/j.cirpj.2017.06.002
- [20] HU, S.J., J. KO, L. WEYAND et al. Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals*. 2011, **60**(2), 715-733. ISSN 00078506. Dostupné z: doi:10.1016/j.cirp.2011.05.004
- [21] FJELD, Morten. Introduction: Augmented Reality-Usability and Collaborative Aspects. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2003, **16**(3), 387-393. ISSN 1044-7318. Dostupné z: doi:10.1207/S15327590IJHC1603\_1
- [22] PHAM, Truong-An a Yu XIAO. *Unsupervised Workflow Extraction from First-Person Video of Mechanical Assembly*. New York, NY, USA: ACM, 2018, 31-36. ISBN 9781450356305. Dostupné z: doi:10.1145/3177102.3177112
- [23] WIEDENMAIER, Stefan, Olaf OEHME, Ludger SCHMIDT a Holger LUCZAK. Augmented Reality (AR) for Assembly Processes Design and Experimental Evaluation. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2003, **16**(3), 497-514. ISSN 1044-7318. Dostupné z: doi:10.1207/S15327590IJHC1603\_7
- [24] LOCH, Frieder, Fabian QUINT a Iuliia BRISHTEL. Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly. *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*. IEEE, 2016, 147-150. ISBN 978-1-5090-4056-8. Dostupné z: doi:10.1109/IE.2016.31
- [25] ŠIMEK, Jiří. *MODERNÍ SYSTÉMY ŘÍZENÍ KVALITY*. Olomouc: Přírodovědecká fakulta, UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI, 2013, 80.
- [26] TANG, He. *Quality planning and assurance: principles, approaches, and methods for product and service development*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2022, 1 online resource. Dostupné z: doi:9781119819301.
- [27] MUHAMMAD, Sulaman. *Quality Improvement Of Fan Manufacturing Industry By Using Basic Seven Tools Of Quality: A Case Study*. 2015, **5**(4), 30-35. ISSN 2248-9622.
- [28] NEYESTANI, Behnam. *Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Quality Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations*. 2017, 10. Dostupné z: doi:10.5281/zenodo.400832
- [29] KULP, Leah, Aleksandra SARCEVIC, Yinan ZHENG, Megan CHENG, Emily ALBERTO a Randall BURD. Checklist Design Reconsidered: Understanding Checklist Compliance and Timing of Interactions. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2020, 1-13. ISBN 9781450367080. Dostupné z: doi:10.1145/3313831.3376853

- [30] RYAN, THOMAS P. *Statistical Methods for Quality Improvement*. 3. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-59074-4.
- [31] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [32] LOPES, Rodrigo. *Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system*. 2018, **126**, 650-656. ISSN 03608352. Dostupné z: doi:10.1016/j.cie.2018.10.019
- [33] LUCA, Liliana. *A STUDY ON QUALITY ANALYSIS MEASURING PROCESS*. 2016, **2**, 5. ISSN 1844 – 640X.
- [34] DAPONTE, Pasquale, Luca DE VITO, Francesco PICARIELLO a Maria RICCIO. State of the art and future developments of the Augmented Reality for measurement applications. *Measurement*. 2014, **57**, 53-70. ISSN 02632241. Dostupné z: doi:10.1016/j.measurement.2014.07.009
- [35] QIU, Peihua. Some perspectives on nonparametric statistical process control. *Journal of Quality Technology*. 2018, **50**(1), 49-65. ISSN 0022-4065. Dostupné z: doi:10.1080/00224065.2018.1404315
- [36] HASSAN, A., M. Shariff Nabi BAKSH, A. M. SHAHAROUN a H. JAMALUDDIN. Improved SPC chart pattern recognition using statistical features. *International Journal of Production Research*. 2010, **41**(7), 1587-1603. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/0020754021000049844
- [37] MADANHIRE, Ignatio a Charles MBOHWA. Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country. *Procedia CIRP*. 2016, **40**, 580-583. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2016.01.137
- [38] *Quality one: Control Plan Development* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://quality-one.com/control-plan/>
- [39] *Kvalita jednoduše: Kontrolní plán* [online]. 2015 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/kontrolni-plan/>
- [40] HOFMANN, Erik a Marco RÜSCH. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*. 2017, **89**, 23-34. ISSN 01663615. Dostupné z: doi:10.1016/j.compind.2017.04.002
- [41] BORTOLINI, Marco, Emilio FERRARI, Mauro GAMBERI, Francesco PILATI a Maurizio FACCIO. Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*. 2017, **50**(1), 5700-5705. ISSN 24058963. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifacol.2017.08.1121
- [42] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [43] GALLO, Tommaso, Chiara CAGNETTI, Cecilia SILVESTRI a Alessandro RUGGIERI. Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*. 2021, **180**, 394-403. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2021.01.255
- [44] RENDA, A., S. SCHWAAG SERGER a D. TATAJ. Industry 5.0, a transformative vision for Europe: governing systemic transformations towards a sustainable industry. *European Commission, Directorate-General for Research and Innovation*. Publications Office of the European Union, 2022. Dostupné z: doi:10.2777/17322
- [45] LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*. 2017, **6**, 1-10. ISSN 2452414X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jii.2017.04.005

- [46] QI, Qinglin a Fei TAO. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*. 2018, **6**, 3585-3593. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2018.2793265
- [47] FULLER, Aidan, Zhong FAN, Charles DAY a Chris BARLOW. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access*. 2020, **8**, 108952-108971. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2020.2998358
- [48] TAO, Fei, He ZHANG, Ang LIU a A. Y. C. NEE. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019, **15**(4), 2405-2415. ISSN 1551-3203. Dostupné z: doi:10.1109/TII.2018.2873186
- [49] MADNI, Azad, Carla MADNI a Scott LUCERO. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*. 2019, **7**(1). ISSN 2079-8954. Dostupné z: doi:10.3390/systems7010007
- [50] SINGH, Maulshree, Evert FUENMAYOR, Eoin HINCHY, Yuansong QIAO, Niall MURRAY a Declan DEVINE. Digital Twin: Origin to Future. *Applied System Innovation*. 2021, **4**(2). ISSN 2571-5577. Dostupné z: doi:10.3390/asi4020036
- [51] GRIEVES, Michael. Origins of the Digital Twin Concept. *Florida Institute of Technology / NASA*. 2016. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.26367.61609
- [52] NATH, Shyam Varan a Pieter van SCHALKWYK. *Building Industrial Digital Twins*. 1. Packt Publishing, 2021. ISBN 978-1-83921-907-8.
- [53] *Edumatik: jak vytvořit vývojový diagram* [online]. 2013 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://edumatik.cz/clanky/jak-vytvorit-vyvojovy-diagram>
- [54] *Smtcentrum: systém řízení výroby* [online]. 2017 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.smtcentrum.cz/system-rizeni-vyroby/analyza-a-napravne-opatreni/>
- [55] *Qmprofi: Příklady aplikace sedmi "nových" nástrojů managementu Jakosti* [online]. 2007 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: [https://www.qmprofi.cz/33/priklady-aplikace-sedmi-novych-nastroju-managementu-jakosti-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eou0c\\_K0wh9Gn6bO5Nr11nM/](https://www.qmprofi.cz/33/priklady-aplikace-sedmi-novych-nastroju-managementu-jakosti-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eou0c_K0wh9Gn6bO5Nr11nM/)
- [56] WANG, X. a S.K. ONG. *Advanced Engineering Informatics*. 2016, **30**(3). ISSN 14740346. Dostupné z: doi:10.1016/j.aei.2016.05.004
- [57] *ADVANTEX* [online]. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.wh.group/int/en/products/woven/advantex.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DFA	Design for assembly
BMI	Index tělesné hmotnosti
AR	Virtuální realita
UCL	Horní kontrolní mez
LCL	Dolní kontrolní mez
PDPC	Process decision program chart
PERT	Program Evaluation and Review Technique
CPM	Critical Path Method
WSN	Bezdrátová senzorová síť
SPC	Statistická regulace procesu
CPS	Kybernetické fyzické systémy
IoT	Internet věcí

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Volná montážní linka [11].....	14
Obrázek 2 Elastická montáž [11].....	14
Obrázek 3 Plynulá montáž [11] .....	15
Obrázek 4 Samostatná stanice [12].....	17
Obrázek 5 Nepřetržitá montážní stanice [12] .....	18
Obrázek 6 Přerušovaná montážní stanice [12] .....	18
Obrázek 7 Příklady uspořádání automatizované linky [12].....	21
Obrázek 8 Příklad flexibilní montážní linky [12].....	23
Obrázek 9 Typy linek [15].....	28
Obrázek 10 Paleta na pracovní stanici [17] .....	32
Obrázek 11 Vozík na pracovní stanici [17] .....	33
Obrázek 12 Sada pro montážní linku [17] .....	34
Obrázek 13 Montáž podporovaná AR [56].....	37
Obrázek 14 Vývojový diagram [53] .....	40
Obrázek 15 Ishikawa diagram [54].....	41
Obrázek 16 Stromový diagram [55] .....	45
Obrázek 17 Diagram PDPC [55] .....	46
Obrázek 18 Pletací stroj Advantex [57].....	60
Obrázek 19 Zkoumaná sestava .....	61
Obrázek 20 Hlavní díly sestavy .....	62
Obrázek 21 Sestava po první fázi .....	63
Obrázek 22 Sestava po druhé fázi montáže .....	64
Obrázek 23 Sestava po třetí fázi montáže.....	65
Obrázek 24 Sestava po dokončení páté fáze.....	66
Obrázek 25 Schéma uspořádání stávajícího stavu .....	68
Obrázek 26 Použité nástroje .....	69
Obrázek 27 Graf časů při zavedených podmínkách .....	71
Obrázek 28 Graf srovnání časů odborných pracovníků se začátečníkem.....	74
Obrázek 29 Schéma uspořádání po optimalizaci .....	77
Obrázek 30 Použité nástroje po optimalizaci .....	78
Obrázek 31 Graf časů při optimalizovaných podmínkách.....	80
Obrázek 32 Graf srovnání časů odborných pracovníků se začátečníkem.....	83
Obrázek 33 Srovnání časů před a po optimalizaci.....	84
Obrázek 34 Srovnání průměrných časů jednotlivých fází před a po optimalizaci .....	87

---

Obrázek 35 Srovnání časů nezkušeného pracovníka před a po optimalizaci .....	88
Obrázek 36 Strana první ze seznamu dílů .....	90
Obrázek 37 Legenda k bezpečnosti práce s nástroji .....	91
Obrázek 38 Příklad strany ze seznamu nástrojů .....	92
Obrázek 39 Ukázka strany druhé z návodky .....	94
Obrázek 40 Kontrolní plán .....	95
Obrázek 41 Kontrolní list – vstupní kontrola .....	96
Obrázek 42 Kontrolní list – mezioperační kontrola.....	97
Obrázek 43 Kontrolní list – výstupní kontrola .....	98
Obrázek 44 Náhled na začátek animace .....	101
Obrázek 45 Celkové časy při jednotlivých měření s různými montážními podporami.....	104
Obrázek 46 Digitální dvojče stávajících podmínek shora .....	106
Obrázek 47 Digitální dvojče stávajících podmínek z úhlu .....	107
Obrázek 48 Digitální dvojče optimalizovaných podmínek z úhlu .....	108

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Časy při zavedených podmínkách série 4 ks .....	70
Tabulka 2 Statistické údaje k tabulce č.1 .....	71
Tabulka 3 Časy jednotlivých fází montáže 4 ks při zavedených podmínkách .....	72
Tabulka 4 Statistické údaje k tabulce č.3.....	72
Tabulka 5 Časy začátečníka při zavedených podmínkách série 4 ks .....	73
Tabulka 6 Statistické údaje k tabulce č.5.....	73
Tabulka 7 Časy při optimalizovaných podmínkách série 4 ks .....	79
Tabulka 8 Statistické údaje k tabulce 7 .....	80
Tabulka 9 Časy jednotlivých částí montáže 4 ks při zavedených podmínkách.....	81
Tabulka 10 Statistické údaje k tabulce č.9.....	82
Tabulka 11 Časy po optimalizaci série 4 ks .....	82
Tabulka 12 Statistické údaje k tabulce 11 .....	83
Tabulka 13 Porovnání první fáze před a po optimalizaci .....	85
Tabulka 14 Porovnání druhé fáze před a po optimalizaci .....	85
Tabulka 15 Porovnání třetí fáze před a po optimalizaci .....	86
Tabulka 16 Porovnání čtvrté fáze před a po optimalizaci .....	86
Tabulka 17 Porovnání páté fáze před a po optimalizaci.....	87
Tabulka 18 Celkové časy montáže podporované návodkou.....	99
Tabulka 19 Časy jednotlivých fází montáže s podporou návodky .....	100
Tabulka 20 Celkové časy montáže podporované videem.....	101
Tabulka 21 Časy jednotlivých fází montáže s podporou videa .....	102
Tabulka 22 Celkové časy montáže podporované výrobním výkresem .....	103
Tabulka 23 Časy jednotlivých fází montáže s podporou výrobního výkresu.....	103

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Seznam dílů

Příloha P II: Seznam nástrojů

Příloha P III: Návodka

Příloha P IV: Kontrolní karta



## PŘÍLOHA P I: SEZNAM DÍLŮ



# Seznam dílů


[Liste der Einzelteile]



Habel und Roller

POŘADÍ	VIZUALIZACE DÍLU	NÁZEV DÍLU	NORMA	POČET KS
1.		Ložiskový blok s ložiskem	-	1
2.		Rameno	-	1
3.		Rovný čep	DIN 6325 12m6x60	1
4.		Excentrický válec s osou a ložiskem A1	-	2
5.		Ložiskový blok s ložiskem	-	2
6.		Podložka	6,4 x 15,5 x 1,5	4
7.		Čtyřhranná matice	DIN 577 M6	2

POŘADÍ	VIZUALIZACE DÍLU	NÁZEV DÍLU	NORMA	POČET KS
8.		Šroub se šestihrannou hlavou	ISO 4014 808-SW 10-(A2K)- M6x60	2
9.		Horní upínací kus	-	1
10.		Spodní upínací kus	-	1
11.		Rovný čep	DIN 6325 6m6x30	1
12.		Šestihranná matice	DIN 936 M4	2
13.		Šroub s válcovou hlavou	ISO 4762 M4x20 8,8vz	2
14.		Podložka	DIN 125 A-140HV-(A2K)-D4,3	2

POŘADÍ	VIZUALIZACE DÍLU	NÁZEV DÍLU	NORMA	POČET KS
15.		Pás na očka	-	1
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				

## PŘÍLOHA P II: SEZNAM NÁSTROJŮ






### Seznam nástrojů

[Werkzeugliste]



Habel und Roller

POŘADÍ	VIZUALIZACE NÁSTROJE	NÁZEV NÁSTROJE	BEZPEČNOST
1.0		Pneumatický lis	
2.0		Ruční lis	
3.0		Pneumatický momentový klíč	
4.0		Aku vrtačka	

Legenda	
Symbol	Význam
	Malé nebezpečí při práci.
	Střední nebezpečí při práci.
	Pozor ! Nebezpečí při práci, dodržuj bezpečnost!


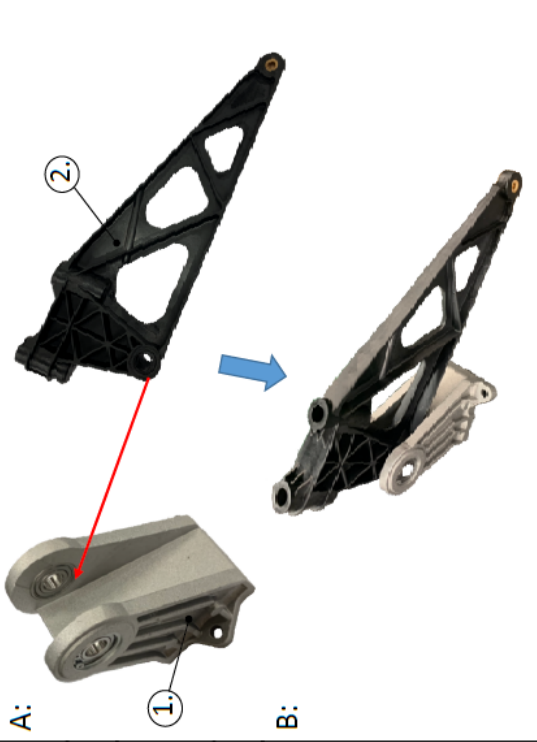
## PŘÍLOHA P III: NÁVODKA



**Návodka**



Habel und Roller

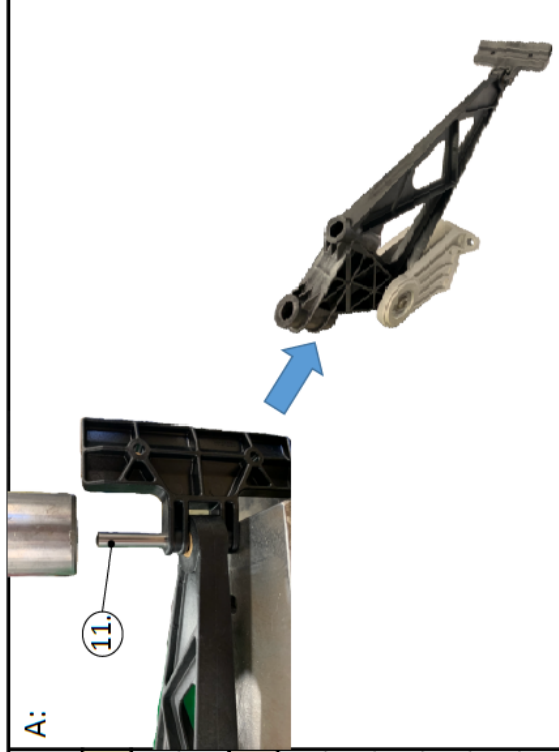



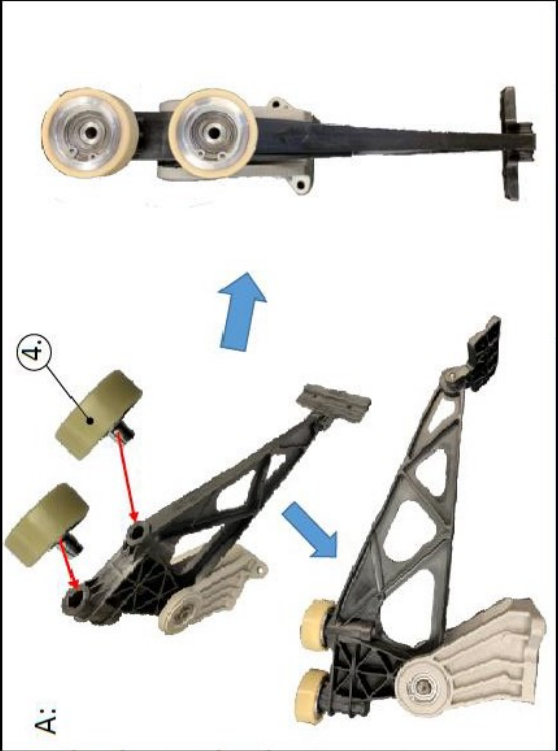
Krok 01		Vložení ramene do základny	
Označení	Potřebné stroje a nářadí		Bezpečnost při práci
Označení dílu	Název dílu	Vstupní kontrola dílu	Počet kusů
1.	Základna	Prostupnost děr, ložiska	1
2.	Rameno	Ořezky, zlaté kolečko	1
			
Část	Popis montážního postupu		Kontrola po provedení části
A.	Rameno přiložíme k základně tak, aby rameno bylo mezi stěnami základny.		malá
B.	Mírným poklepáním obou částí do stolu se dostane rameno na určené místo tak, aby byly díry v ložiskách a díra v rameni souosé.	Kontrola souososti děr	velká
Finální kontrola před dalším krokem			
Před přesunem k dalšímu úkonu je nutné zkontrolovat souosost děr tak, aby tam v dalším kroku bylo možné bezpečně zalisovat čep.			





Krok 04		Lisování čepu		 Bezpečnost při práci	
Označení	Potřebné stroje a nářadí				
2.0	Ruční lis				
Označení dílu	Název dílu	Vstupní kontrola dílu	Počet kusů		
11.	Rovný čep	velikost	1		
03	Sestava z kroku 03	směr upínacího kusu	1		
Část	Popis montážního postupu				Náročnost
A.	Čep se přiloží k díře zkoseným koncem.				Střední
B.	Stlačením páky, která je součástí ručního lisu, se zalisuje čep do díry.				malá
Finální kontrola před dalším krokem	Je třeba zkontrolovat míru zalisování čepu, zda je správně zalisovaný a ani na jedné straně nepřesahuje, a zda se se spodním upínacím kusem dá snadno pohybovat kolem osy šroubu.				



Krok 05		Vložení koleček		
Označení	Potřebné stroje a nářadí	Bezpečnost při práci		
Označení dílu	Název dílu	Vstupní kontrola dílu	Počet kusů	
4.	Excentrický válec s osou a ložiskem A1	otáčení, pojistné kroužky	2	
04	Sestava z kroku 04	x	1	
 <p>A:</p>				
Část	Popis montážního postupu			Kontrola po provedení části
A.	Do děr, které jsou na rameni se vloží kolečka. Kolečka se musí zatlačit až na dno.			Doraz
Náročnost				
malá				
Finální kontrola před dalším krokem				
Kolečka nasazena až nadoraz.				


















Legenda	
Symbol	Význam
	Malá náročnost celého úkonu.
	Střední náročnost celého úkonu.
	Velká náročnost celého úkonu.
	Malé nebezpečí při práci.
	Střední nebezpečí při práci.
	Pozor! Nebezpečí při práci, dodržuj bezpečnost!





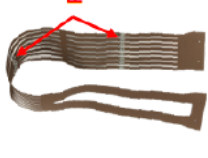
## PŘÍLOHA P IV: KONTROLNÍ KARTA

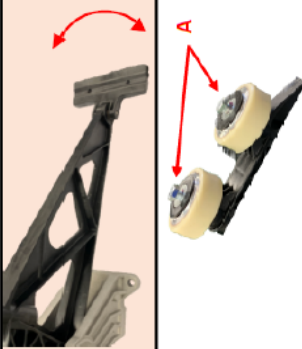
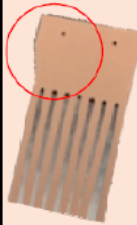
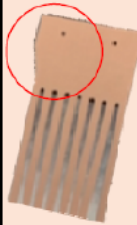



# Kontrolní Karta

Habel und Roller

Kontrolní plán						
1 Vstupní kontrola						
Číslo	Kontrolovaná součást	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost	
1.1	Ložiskový blok s ložiskem	Posuvné měřidlo	Technik	Kvalita	6 ks z dávky	
1.2	Rameno	x	Skladník	Přijem	6 ks z dávky	
1.4	Excentrický válec s osou a ložiskem	x	Operátor	Montážní hala	6 ks z dávky	
1.9	Horní upínací kus	x	Operátor	Montážní hala	6 ks z dávky	
1.15	Pás na očka	x	Technik	Kvalita	6 ks z dávky	
2 Mezioperační kontrola						
Číslo	Kontrolní veličina	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost	
2.04	Pohyblivost spodního upínacího kusu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
2.08	Míra utažení	Momentový klíč	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
2.09	Výřez na pravé straně	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
2.10	Dobré upevnění pásu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
3 Výstupní kontrola						
Číslo	Kontrolní veličina	Měřicí zařízení	Provádí	Místo kontroly	Četnost	
3.1	Kontrola pásu zda, není rozlepený	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
3.2	Kontrola pohyblivosti ramene	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
3.3	Kontrola otáčení kol	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
3.5	Kontrola oček na pásu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
3.6	Kontrola pohyblivosti spodního upínacího kusu	x	Operátor	Montážní hala	Každý druhý kus	
Poznámky						

Kontrolní list									
Check list - vstupní kontrola									
Č.	náhled	popis vstupní kontroly	Souhlasí - ✓ / Nesouhlasí - X						
			1	2	3	4	5	6	
1.		Průchodnost a průměr (8,5 mm) postranních děr [A]							
2.		Ložiska na pozicích [B] jsou přítomna							
4.		Přítomnost výstuže na pozici [C]							
9.		Otáčení kola v ložisku							
15.		Přítomnost pojistných kroužků na pozici [D]							
		Přítomnosti matic. [E]							
		Kontrola, zda pás není rozlepený							
		Přítomnost oček v pásu - 2 x 8 oček v řadě [F]							
		Kontrola, zda pás není pokreslený nebo jinak vizuálně znehodnocený							
Jméno příjmení pracovníka:			Zakázkové číslo:						
Datum montáže:			Podpis:						

Kontrolní list												
Check list - mezioperační kontrola												
Č.	Popis	náhled	Souhlasí - ✓ / Nesouhlasí - X									
04	Pohyblivost spodního upínacího kusu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	
08	Utažení šroubů na 12 Nm na pozici [A]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	
09	Výřez na pravé straně při navlékání na rameno		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	
010	Dobré upevnění pásu s přidáním lepidla do matic na pozici [B]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Jméno příjemce pracovníka: Datum montáže:			Zakázkové číslo: Podpis:									



