

# **Statistické metodologie při dlouhodobém sledování výrobního procesu za pomoci metod snímkování pracovního dne**

Ing. Bc. Petra Hámorová

---

Diplomová práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Ing. Bc. Petra Hámorová
Osobní číslo:	T18399
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Řízení jakosti
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Statistické metodologie při dlouhodobém sledování výrobního procesu za pomoci metod snímkování pracovního dne

### Zásady pro vypracování

1. Vypracování teoretické části zahrnují studium statistických metod na bázi časových řad.
2. Aplikace vhodných nástrojů za účelem sběru konkrétních dat.
3. Metodika hodnocení získaných dat na bázi časových řad.
4. Nalezení konkrétních výsledků a jejich aplikace do prostředí reálné firmy.

Forma zpracování diplomové práce: Tisková/elektronická

Seznam doporučené literatury:

1. Perník, J., Vačkář, J., & Tykal, M. (2001). *Jakost a metrologie*. Brno: CERM. 2. Meloun, M., & Milítký, J. (2004). *Statistická analýza experimentálních dat* (Vyd. 2., upř. a rozš.). Praha: Academia. 3. Pata, V., & Kubišová, M. (2018). *Statistické metody hodnocení jakosti strojářských povrchů*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2020

Příjmení a jméno: Hámorová Petra

Obor: Řízení jakosti

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ABSTRAKT

*Statistické metodologie při dlouhodobém sledování výrobního procesu za pomoci metod snímkování pracovního dne se věnují problematice využití metod studia práce v reálných výrobních procesech. Práce se věnuje otázkám spojeným s metodami snímkování pracovního dne a následného statistického vyhodnocení získaných dat. Cílem je, na základě dat získaných za pomoci jmenovaných metod a vyhodnocených díky statistickému aparátu, vytvořit modely zefektivnění výrobního procesu.*

Klíčová slova: výrobní proces, snímkování pracovního dne, statistické metodologie, časové řady, zvyšování výkonnosti, neustálé zlepšování

## ABSTRACT

*Statistical methodologies in the long-term monitoring of the production process with the help of working day imaging methods deal with the issue of the use of work study methods in real production processes. The work is devoted to questions related to methods of working day imaging and subsequent statistical evaluation of the data. The aim is to create models for streamlining the production process on the basis of data obtained with the help of the mentioned methods and evaluated by the statistical apparatus.*

Keywords: manufacturing process, working day imaging, statistical methodology, time series, performance improvement

Velké díky patří především mému manželovi Tomášovi za podporu a dětem Tomáškovi a Adélce za motivaci. Za velkou pomoc děkuji mé sestře Kláře Nečasové a manželovým prarodičům Jarmile a Martinovi Hámorovým.

Děkuji za spolupráci a prostor pro osobní realizaci mému nadřízenému Ing. Lukáši Zlámalíkovi. Mimo jiné děkuji i kolegům, na které jsem se mohla vždy obrátit.

Touto cestou bych také chtěla poděkovat panu prof. Dr. Ing. Vladimíru Patovi nejenom za odborné rady, ale také za motivaci pokračovat dále ve studiu.

Mé poděkování patří všem, se kterými jsem se mohla v životě potkat, ať už to bylo naše setkání pozitivní či negativní. Děkuji.

„Každý člověk je zámožný, pokud má zdravé ruce a rozum“

Tomáš Baťa

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

**OBSAH**

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 VÝROBNÍ PROCES .....</b>	<b>13</b>
1.1 MONTÁŽ – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA MONTÁŽE .....	15
1.2 ŘÍZENÍ A ORGANIZACE MONTÁŽE .....	18
1.2.1 Průběh výroby.....	20
1.2.2 Průběh výrobního procesu postupný.....	22
1.2.3 Průběh výrobního procesu souběžný .....	22
1.2.4 Postup výrobního procesu kombinovaný.....	22
<b>2 RACIONALIZACE VÝROBY .....</b>	<b>23</b>
2.1 ORGANIZACE A NORMOVÁNÍ PRÁCE.....	23
2.2 METODY STUDIA PRÁCE.....	25
2.2.1 Snímkování pracovního dne.....	25
2.2.2 Snímek operace.....	26
2.2.3 Momentové pozorování .....	26
2.2.4 Odvozené normativy.....	26
2.3 RACIONALIZACE A USPOŘÁDÁNÍ PRÁCE.....	26
2.4 NORMOVÁNÍ PRÁCE .....	27
2.4.1 Metody stanovení norem spotřeby práce.....	27
<b>3 STATISTICKÁ ANALÝZA DAT.....</b>	<b>29</b>
3.1 MÍRY POLOHY A VARIABILITY .....	29
3.1.1 Aritmetický průměr .....	29
3.1.2 Medián.....	29
3.1.3 Modus.....	29
3.1.4 Rozptyl a směrodatná odchylka .....	30
3.2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ DAT .....	30
3.2.1 Krabicový graf.....	30
3.2.2 Polygon četností.....	31
3.2.3 Regresní přímka.....	31



<b>4</b>	<b>STATISTICKÉ METODY NA BÁZI ČASOVÝCH ŘAD.....</b>	<b>32</b>
4.1	ČASOVÉ ŘADY .....	32
4.1.1	<i>Znázornění časových řad.....</i>	32
4.2	CHARAKTERISTIKY ČASOVÝCH ŘAD .....	34
4.2.1	<i>Průměr intervalové řady .....</i>	34
4.2.2	<i>Nevážený chronologický průměr .....</i>	34
4.2.3	<i>První diference – absolutní přírůstky.....</i>	34
4.2.4	<i>Průměr prvních diferencí .....</i>	34
4.2.5	<i>Koeficient růstu.....</i>	35
4.2.6	<i>Průměrný koeficient růstu .....</i>	35
4.2.7	<i>Dekompozice časových řad .....</i>	35
4.2.8	<i>Analýza trendu.....</i>	35
<b>5</b>	<b>METODY VYUŽITÉ PŘI ŘEŠENÍ PROJEKTU .....</b>	<b>38</b>
5.1	TEORIE ÚZKÝCH MÍST .....	39
5.2	SIX SIGMA STRATEGIE .....	40
5.3	GANTTŮV DIAGRAM.....	42
5.4	PARETOVA ANALÝZA .....	42
5.5	ISHIKAWŮV DIAGRAM RYBÍ KOSTI .....	43
5.6	STATISTICKÉ ŠETŘENÍ .....	44
5.6.1	<i>Analýza výchozí situace.....</i>	44
5.6.2	<i>Analýza časových řad.....</i>	45
5.6.3	<i>Pravděpodobnost .....</i>	45
<b>6</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>ZADÁNÍ PROJEKTU .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>METODIKA ŘEŠENÍ PROJEKTU .....</b>	<b>50</b>
8.1	ANALÝZA KONSTRUKČNÍ POVAHY ZAŘÍZENÍ .....	50
8.2	ANALÝZA STRUKTURY MONTÁŽE .....	50
8.3	ANALÝZA NÁVAZNOSTI DÍLČÍCH MONTÁŽÍ.....	51
8.4	IDENTIFIKACE ÚZKÝCH MÍST .....	51
8.5	ČASOVÁ STUDIE.....	51
8.6	NÁVRH MOŽNÝCH ŘEŠENÍ .....	52

<b>9</b>	<b>MODULÁRNÍ STRUKTURA ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>ČASOVÁ STRUKTURA MONTÁŽE .....</b>	<b>56</b>
10.1	NÁVAZNOST MONTÁŽE .....	57
10.2	MODEL PŘEDMONTÁŽE .....	58
<b>11</b>	<b>ANALÝZA ČASOVÉ STRUKTURA MONTÁŽE .....</b>	<b>60</b>
11.1	ANALÝZA MONTÁŽE STROJE.....	60
11.2	IDENTIFIKACE ÚZKÝCH MÍST .....	62
11.2.1	<i>Přehled četností zastavení montáže .....</i>	<i>62</i>
11.2.2	<i>Paretova analýza.....</i>	<i>64</i>
11.2.3	<i>Koeficient růstu.....</i>	<i>66</i>
11.3	ANALÝZA KOŘENOVÝCH PŘÍČIN .....	66
<b>12</b>	<b>ANALÝZA ČASOVÉ STRUKTURY PŘEDMONTÁŽE.....</b>	<b>68</b>
12.1	ANALÝZA ČASOVÝCH ŘAD .....	68
12.2	VÝSLEDKY STATISTICKÉHO ŠETŘENÍ.....	74
<b>13</b>	<b>NÁVRHY NOVÝCH PLÁNŮ MONTÁŽE .....</b>	<b>75</b>
13.1	PLÁN MONTÁŽE S OHLEDEM NA ÚSPORU LIDSKÝCH KAPACIT .....	76
13.2	PLÁN MONTÁŽE S OHLEDEM NA ČASOVOU ÚSPORU.....	76
13.3	PLÁN MONTÁŽE S OHLEDEM NA ÚSPORU PRACOVNÍ PLOCHY .....	77
13.4	VZÁJEMNÉ POROVNÁNÍ NAVRHOVANÝCH PLÁNŮ MONTÁŽE.....	77

## ÚVOD

Diplomová práce *Statistické metodologie při dlouhodobém sledování výrobního procesu za pomoci metod snímkování pracovního dne* se věnuje problematice využití statistických metod při dlouhodobém pozorování výrobního procesu za účelem zvýšení jeho výkonnosti v definovaných oblastech. Literární rešerše v teoretické části práce se věnuje charakteristice výrobního procesu montáže, oblasti snímkování a normování práce, statistickým metodám využívaným při vyhodnocování shromážděných dat a v poslední řadě filozofiím, metodám a nástrojům, na které práce navazuje praktickou částí s konkrétní případovou studií z praxe.

V současném globalizovaném světě roste význam montáže jako samostatného výrobního procesu, a to především z důvodu, že dochází ke stále větší dělbě práce a specializaci jednotlivých výrobních závodů. Specializace je pro jednotlivé výrobní segmenty ekonomicky výhodnou, nicméně s sebou přináší také jistá úskalí jako je závislost na ostatních členech dodavatelského řetězce nebo nutnost spolupracovat v otázkách kvality a požadavků na produkty. Na praktickém příkladu z druhé části této diplomové práce je možné demonstrovat jakým způsobem je možné sledovat a vyhodnocovat parametry montážního výrobního procesu s cílem zvyšovat jeho výkonnost.

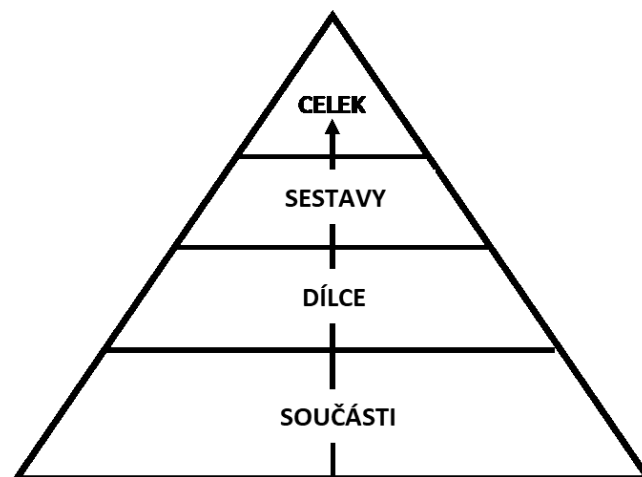
Dlouhodobé sledování výrobního procesu a systematický přístup k vyhodnocování získaných dat při dodržení principů statistických metodologií může významně pomoci se zefektivňováním interních procesů, zvyšováním kvality a produktivity nebo také s odhalováním úzkých míst nebo omezení v dodavatelských vztazích. Práce se zaměřuje především na dodavatelské vztahy interní – věnuje se dodavatelskému řetězci v rámci podniku. Nicméně předkládaný systém řešení projektu je využitelný pro vyhodnocování i externích vztahů.

Kvalitně zpracovaná data a srozumitelné a transparentní výsledky přispívají ke snadnější identifikaci kořenových příčin problémů a nalezení efektivních řešení, která transformují původní situaci do uspokojivého stavu. Z tohoto přesvědčení vyplývá, že statistika a systematický přístup je stále klíčem k řešení mnoha otázek, které jsou v současnosti v nejednom výrobním podniku významným tématem.

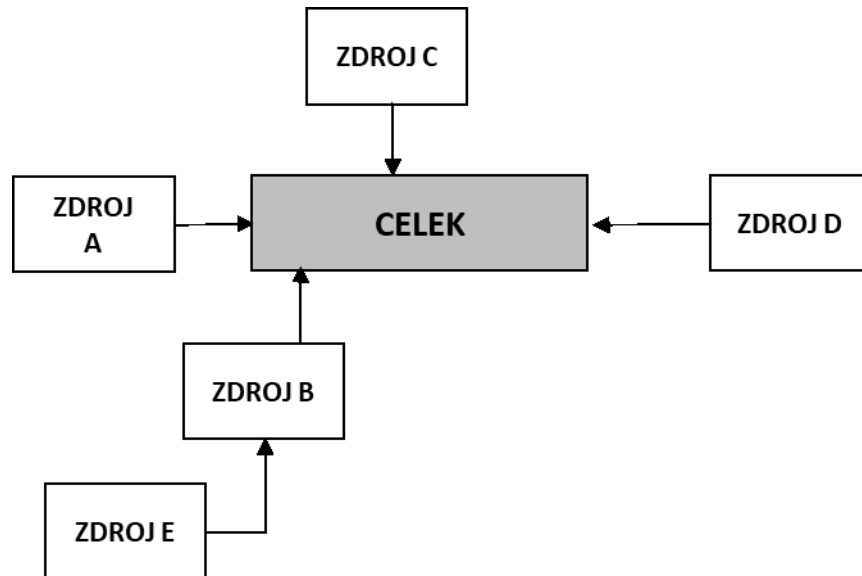
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VÝROBNÍ PROCES

Práce se věnuje problematice statistického sledování výrobního procesu montáže. „*Výrobní proces je tvůrčím technickým a společenským procesem, jehož funkcí je tvorba materiálních hodnot (výrobků, výkonů).*“ [1] Oproti tradičním výrobním procesům vykazuje montážní proces jisté odlišnosti. „*I pro montáž je, ale platné jako pro jiné výrobní procesy, že transformací vstupů vytváří výstupy.*“ [2] Vzhledem k celosvětovému vývoji a globální kooperaci podniků má montáž jako samostatný výrobní proces stále významnější postavení. „*Těchto tendencí se přizpůsobují i velké podniky tím, že se již nesnaží vyrobit si všechno doma, ale podstatně více kooperují. To dovoluje snížit počet hierarchických úrovní, takže i u velkých podniků se vertikální struktura specializace mění na podstatně plošší horizontální.*“ [3] Přejít k horizontálním výrobním procesům je podmíněn kvalitní komunikací jednotlivých prvků výrobního řetězce a jednotného postupu např. v otázkách řízení kvality tak, aby výsledný produkt splňoval nároky i ve všech dílčích parametrech. „*Jakost se netýká pouze exaktní kvality vlastního výrobku, ale všech etap jeho reprodukčního cyklu: návrhu výrobku – design, konstrukce výrobku, přípravy výroby, výroby – výrobního systému, povýrobní etapy – distribuce, prodej, užití výrobku, likvidace výrobku.*“ [4]

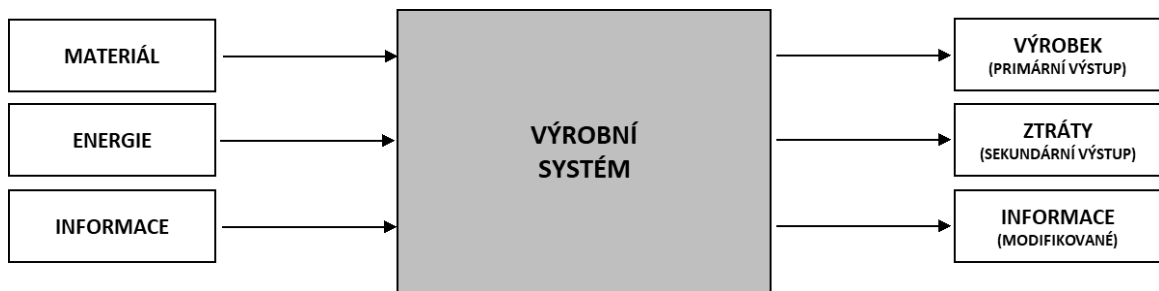


Obr. 1: Vertikální specializace výroby [3]



Obr. 2: Horizontální specializace výroby [3]

S výrobními procesy úzce souvisí pojem výrobní systém. „Výrobní systém lze definovat jako výrobní mechanismus, ve kterém probíhá výrobní proces tj. sled technologických a netechnologických operací, které vytvářejí relativně uzavřený cyklus.“ [4]

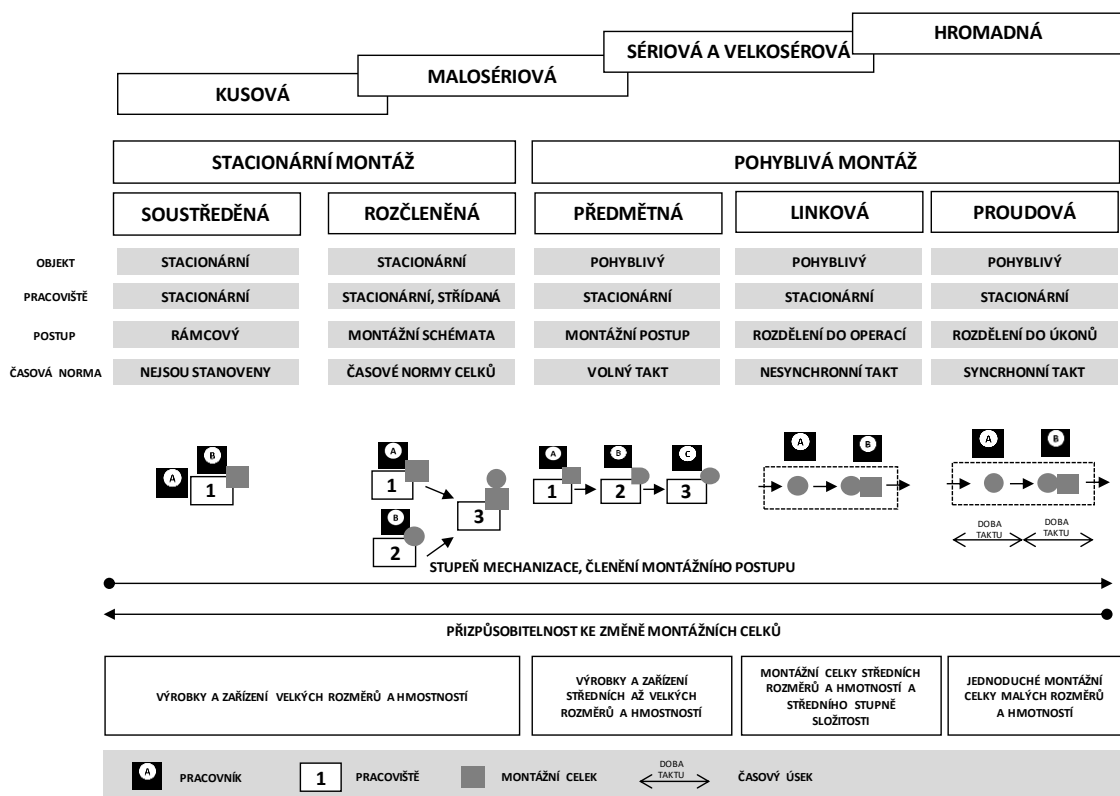


Obr. 3: Výrobní systém [4]

Výrobní systém je charakterizován primárně vstupy, které mění na výstupy. Mezi vstupy patří: materiál, energie a informace. Tyto zdroje jsou výrobním systémem přetvořeny na: výrobek, ztráty a informace. Je důležité podotknout, že informace vstupující nejsou rovny informacím vystupujícím. Průchodem výrobním systémem došlo k jejich změně.

## 1.1 Montáž – obecná charakteristika montáže

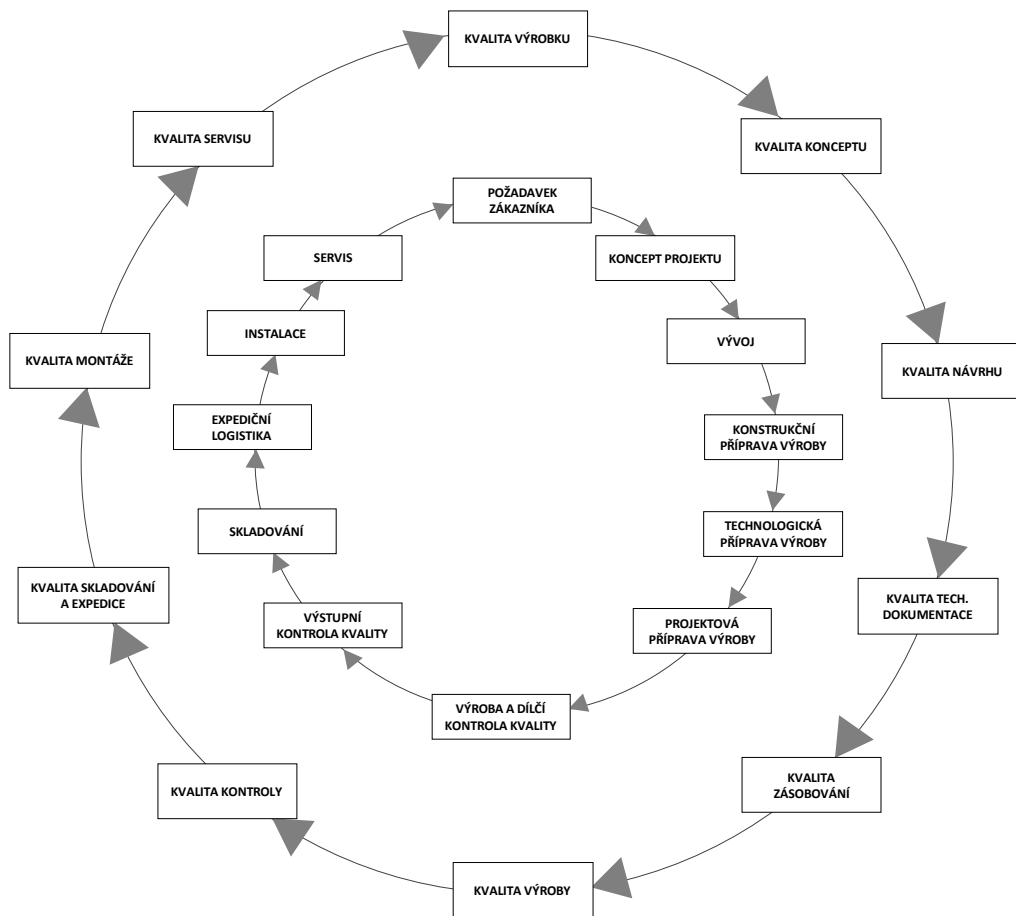
Stěžejním principem montáže je spojování základních komponentů ve složitější prvek. Montáž je možné zasadit do různých kontextů a nahlížet na ni z různých úhlů. „*Pokud uvažujeme o montáži, je možné na ni nahlížet stejně jako na jiné činnosti jako je zpracování nebo obrábění.*“ [5] Je možné hovořit o separovaném výrobním procesu nebo o části uceleného výrobního řetězce. „*Standardní etapy výrobního procesu: výroba polotovarů, výroba součástí, montáž, dodávka.*“ [2] Současné trendy spějí k stále narůstajícímu objemu kompletačních – montážních prací. Tento trend s sebou nese samozřejmě pozitiva, ale také specifika vycházející z podstaty výrobního procesu. Závislost druhu výroby a druhu montáže je ilustrována na obrázku níže (Obr.4: Vztah objemu výroby a druhu montáže).



Obr. 4: Vztah objemu výroby a druhu montáže [6]

Klíčovým parametrem montážního procesu je fakt, že se v něm setkávají komponenty různého původu. Z hlediska členění dle složitosti výrobního procesu se jedná o tzv. složitý výrobní proces. Složitější výrobní procesy jsou charakterizovány povahou svých produktů. „*Obvykle se jedná o finální výrobky sestavené z mnoha součástí vyráběných, popř. nakupovaných nebo výrobní procesy, ve kterých z jedné základní suroviny je vyráběno větší množství*

finálních výrobků.“ [1] Díky faktu, že téměř vždy je montovaný celek složen z dílů pocházejících ze dvou a více odlišných výrobních systémů, může docházet ke vzájemným kolizím. Na základě tohoto faktu je velmi významný systém kontroly a řízení kvality, který má zajišťovat plynulý chod výroby a produkování výrobku, který odpovídá zákaznickému požadavku. Závislost jednotlivých oblastí kvality v celém výrobním procesu je patrná na Obr. 5: Kvalita a její závislosti ve výrobním procesu.

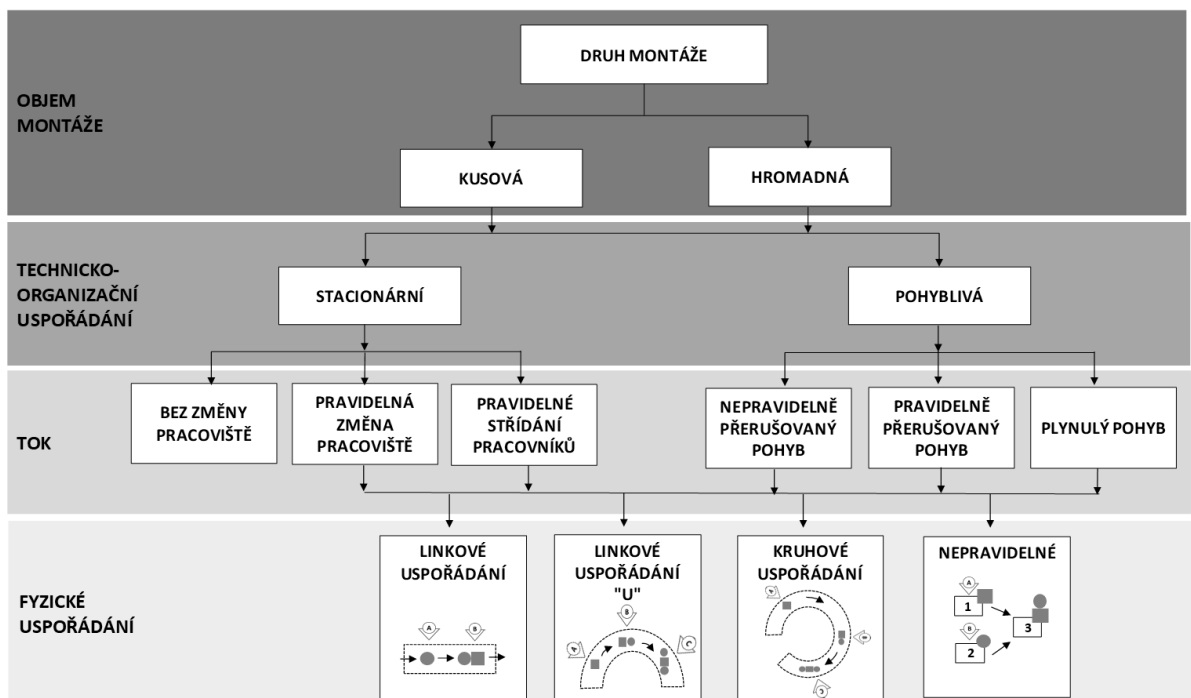


Obr. 5: Kvalita a její závislosti ve výrobním procesu [4]

V kontextu této diplomové práce se praktická část bude věnovat problematice tzv. rozvětvené montáže. „Při rozvětveném uspořádání se montují současně jednotlivé konstrukční skupiny výrobku na různých pracovištích.“ [7] U velkých výrobků se většinou přistupuje ke stacionární montáži. „Při stacionární montáži probíhají operace na jednotlivých pevných stanovištích.“ [7] Produkt nebo dílčí moduly konečného výrobku nejsou v průběhu

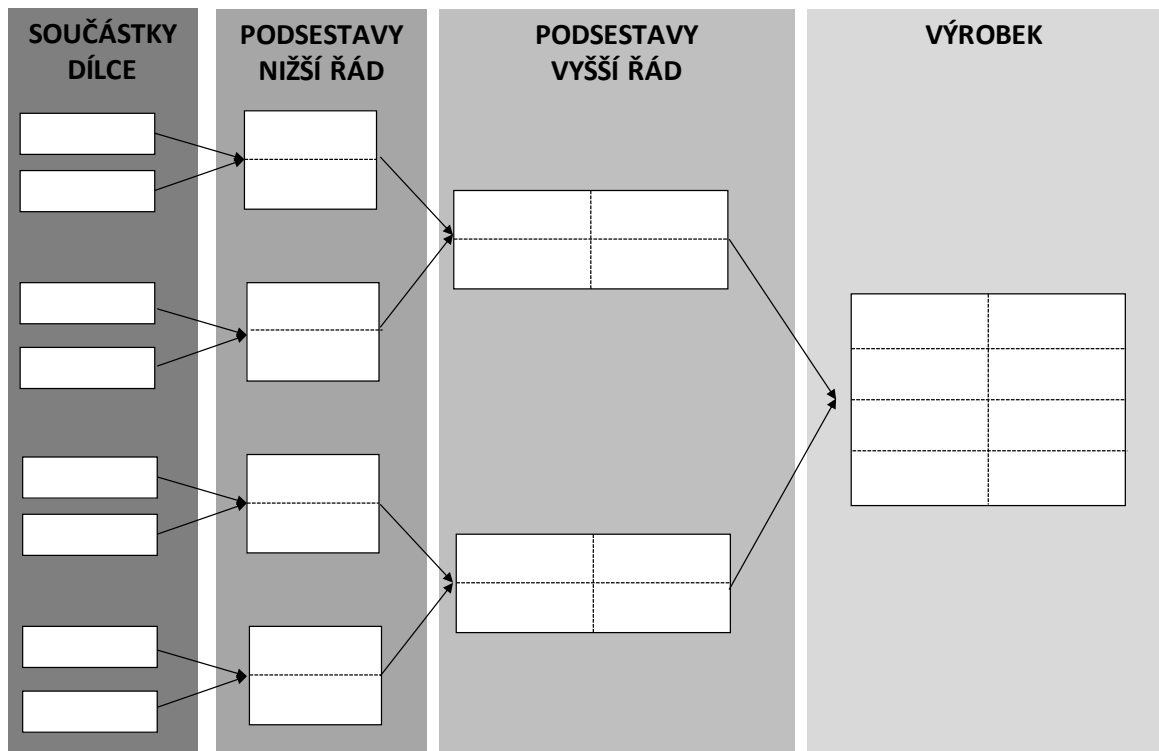


kompletace v pohybu. V praxi se v případě stacionární montáže někdy přistupuje k tzv. stacionární sériové montáži. „Při stacionární sériové montáži se přemisťují naopak pracovníci s nářadím, montující díly na jednotlivé výrobky (např. frézky), mezi stacionárními montážními pracovišti.“ [7] Tento kombinovaný způsob montáže umožňuje alespoň částečně zefektivnit klasickou montáž za pomoci pozitiv pohyblivé montáže bez ohledu na objemnost výrobku. Schématické rozdělení jednotlivých druhů montáže je uvedeno na Obr. 6. Rozdělení druhů montáže.



Obr. 6: Rozdělení druhů montáže [6]

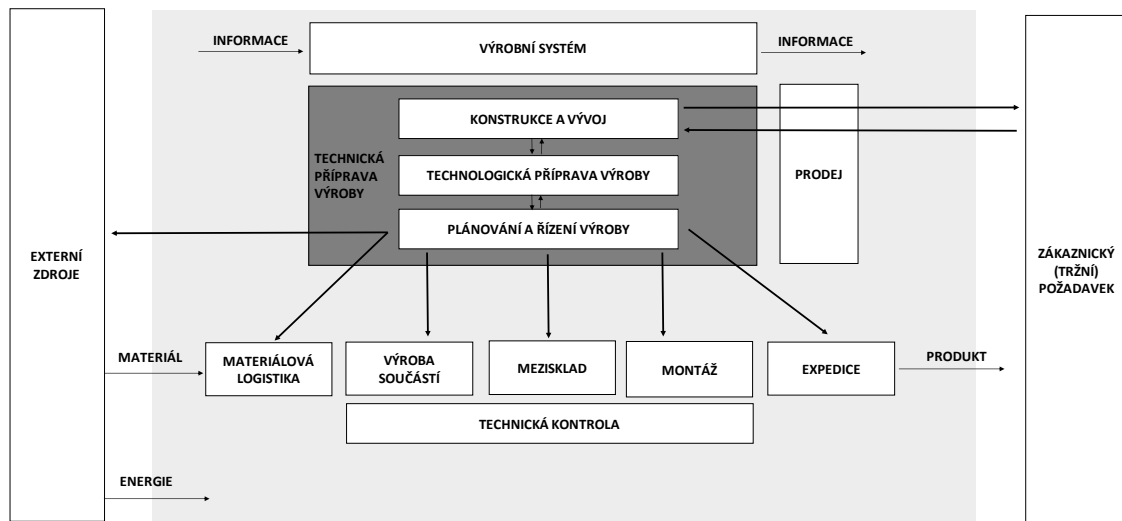
Konstrukční podstata výrobku významně ovlivňuje strukturu montáže daného výrobku. Na obrázku Obr. 7: Schéma montážního členění výrobku je znázorněno několik alternativ montážní struktury výrobku, která vychází ze struktury montážního procesu.



Obr. 7: Schéma montážního členění výrobku [4]

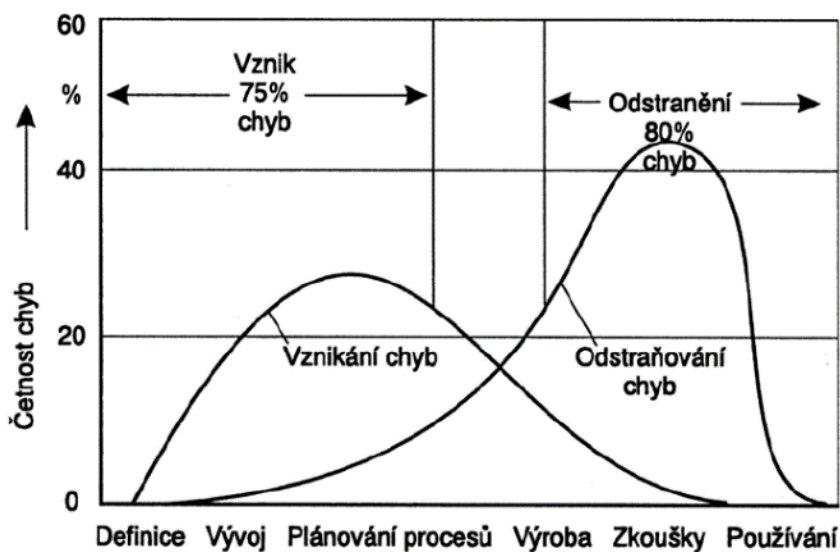
## 1.2 Řízení a organizace montáže

„Rostoucí očekávání zákazníků a technologický vývoj vedl ke zvýšené složitosti výrobních systémů. Společnost navíc čelí stochastickým výkyvům a cyklickým požadavkům, což má za následek nevyvážené využití výrobní kapacity. Účinné a efektivní plánování a řízení výroby se tak stalo ústřední konkurenční výhodou.“ [8] Řízení a organizace montáže je podmíněno mnoha různými činnostmi. Klíčová je otázka plánování. „Plánování patří mezi klíčové manažerské funkce (funkce managementu), a proto se týká všech oddělení a aspektů organizace: ekonomika a finance, informatika, kvalita, lidské zdroje, logistika a doprava, management organizace, marketing, služby, výroba.“ [9] Propojení jednotlivých oblastí představuje výrobní systém. Schéma celého výrobně montážního systému je uvedeno na Obr. 8: Schéma výrobně montážního systému. V tomto schématu jsou vyznačeny jednotlivé vztahy v rámci systému řízení výroby a jejich návaznosti.



Obr. 8: Schéma výrobně montážního systému [6]

Řízení montáže nevybočuje významným způsobem ze zvyklostí řízení a plánování výrobních procesů. „*Management jako funkce je definován jako proces plánování, organizování, personálního zajištění, vedení a kontroly činností, vykonávaných se snahou uskutečnit cíle podniku. Tyto funkce jsou označovány jako základní funkce řízení a jejich počet je jednotlivými autory udáván různý.*“ [10] Nicméně pro montážní výrobní proces a jeho následnou kvalitu, spolehlivost a výkonnost je rozhodující kvalita technické přípravy výroby a řízení kvality v procesu. Příprava projektu je zásadní především z ekonomického hlediska. Čím dříve jsou odhaleny chyby v procesu tím jsou náklady na odstranění těchto závad nižší. Vztah mezi fází vzniku a nalezení a odstranění chyb ilustruje Obr. 9: Vznik a odhalení chyb ve výrobní proces. „*Přitom je obecně platné, že předvýrobní etapy (návrh a konstrukce výrobku, příprava výroby) se podílejí asi 70–80 % na jakosti výrobku.*“ [4]



Obr. 9: Vznik a odhalení chyb ve výrobním procesu [11]

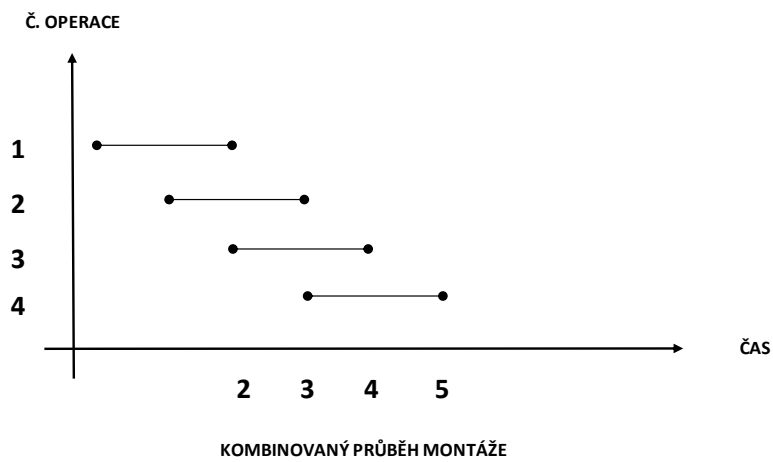
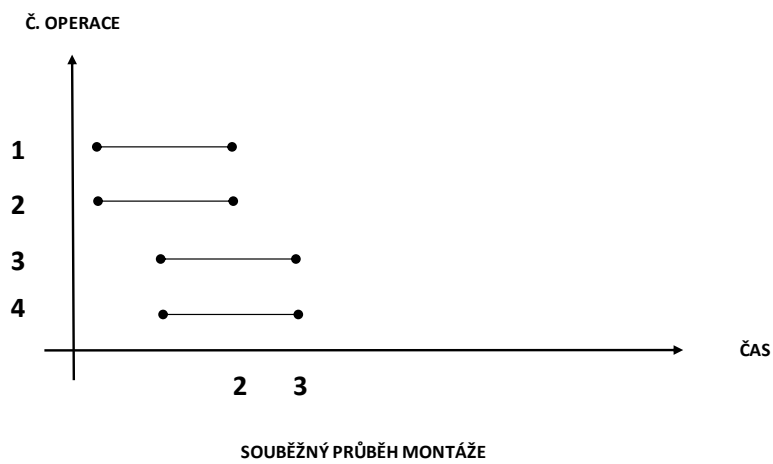
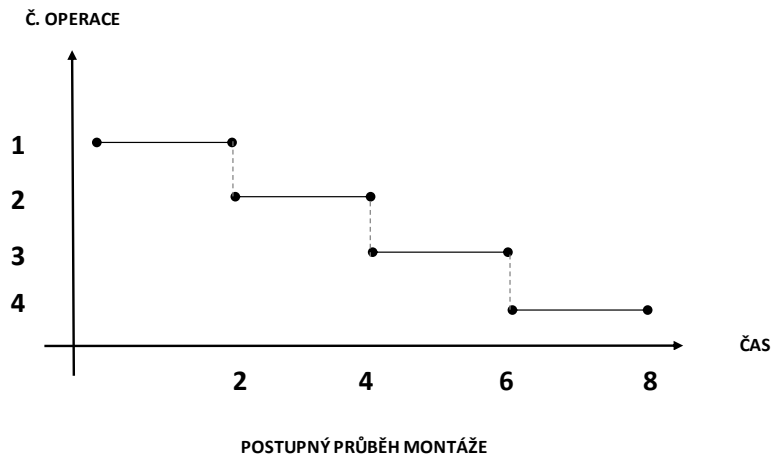
„Úkolem organizace a řízení výroby je uspořádání a zabezpečení vzájemných vztahů všech proměnlivých činitelů výrobního procesu.“ [1] Zajištění hladkého průběhu výrobního procesu pomáhají zajišťovat následující zásady:

- zásada nepřetržitého výrobního procesu (minimum přerušování procesu),
- zásada proporcionálnosti (komplexní návrh výrobního systému),
- zásada souběžnosti (zkrácení průběžné doby výroby),
- zásada rytmičnosti (pravidelnost a rovnoměrnost výroby),
- zásada specializace výroby (zužování sortimentu a snižování nákladů). [1]

### 1.2.1 Průběh výroby

Řízení, organizace a náklady na výrobu jsou ovlivněny do značné míry průběhem výroby. Průběh výroby je mimo jiné podmiňován povahou výrobku a nárokům na jeho výrobní proces, který je definován v rámci technické přípravy výroby konstrukční a technologickou přípravou. Plánování výroby už jen navazuje na definované podmínky. Zvolený průběh výroby ovlivňuje náklady v dílčích oblastech (čas, lidské kapacity, prostory). Největší váha je velmi často přikládána délce výroby. „Průběžná doba výroby je časovým úsekem od začátku po ukončení výroby určitého výrobku.“ [4] Samozřejmě je prioritou moderních podniků nalézt

optimální průběh výroby, při kterém jsou výrobní náklady nejnižší při zachování zákazníkem požadované kvality.



Obr. 10: Příklady možných průběhů výroby [2]

Dle povahy produktu a jeho výrobního procesu je možné volit ze 3 základních průběhů výrobního procesu. Je rozlišován výrobní proces postupný, souběžný a kombinovaný. Příklad z praktické části diplomové práce je možné zařadit do kategorie kombinovaného výrobního postupu.

### **1.2.2 Průběh výrobního procesu postupný**

Postupný výrobní proces je volen v případech, kde není z technologických důvodů možná jiná alternativa nebo např. v případech zakázkové výroby. Pro postupný výrobní proces je typické, že bývá časově nákladný.

### **1.2.3 Průběh výrobního procesu souběžný**

V souběžném výrobním procesu probíhají jednotlivé operace paralelně. Toto výrobní schéma je výhodné z hlediska průběžné doby výroby, která je výrazně kratší než u předchozího případu. Negativem tohoto způsobu výroby jsou vyšší požadavky na pracovní prostor a lidské kapacity.

### **1.2.4 Postup výrobního procesu kombinovaný**

Spojením postupného a souběžného procesu výroby je tzv. kombinovaný výrobní proces. U kombinovaného výrobního procesu je pravděpodobné nalezení optimálního postupu výroby a optimalizace nákladů.

## 2 RACIONALIZACE VÝROBY

Sledování a vyhodnocování výkonnosti práce je stále nedílnou součástí průmyslového inženýrství. Efektivita práce a její zvyšování hraje klíčovou roli v projektech neustálého zlepšování výrobních procesů. „*Jestliže je cílem vydělávat peníze, pak (slovy, která by použil Jonah) každá činnost, která nás vede k vydělávání peněz, je produktivní. A činnost, která nás odvádí od vydělávání peněz, je neproduktivní.*“ [12] Hledání optimálních parametrů výrobního procesu je postaveno mimo jiné na zvyklostech z oblasti normování práce a metodách sledování práce. Výsledkem různých metod sledování práce jsou více či méně standardizované normy práce pro daný výrobní proces. *Metody normování a sledování práce jsou nedílnou součástí rozboru pracovního procesu, který se věnuje otázkám pracovního procesu, technologických procesů (výrobní způsoby), pracovníků (jejich výkonnosti), pracovních prostředků (stroje, zařízení, nářadí), pracovních předmětů (materiály, polotovary) a pracovního prostředí (vnější podmínky).* [2]

### 2.1 Organizace a normování práce

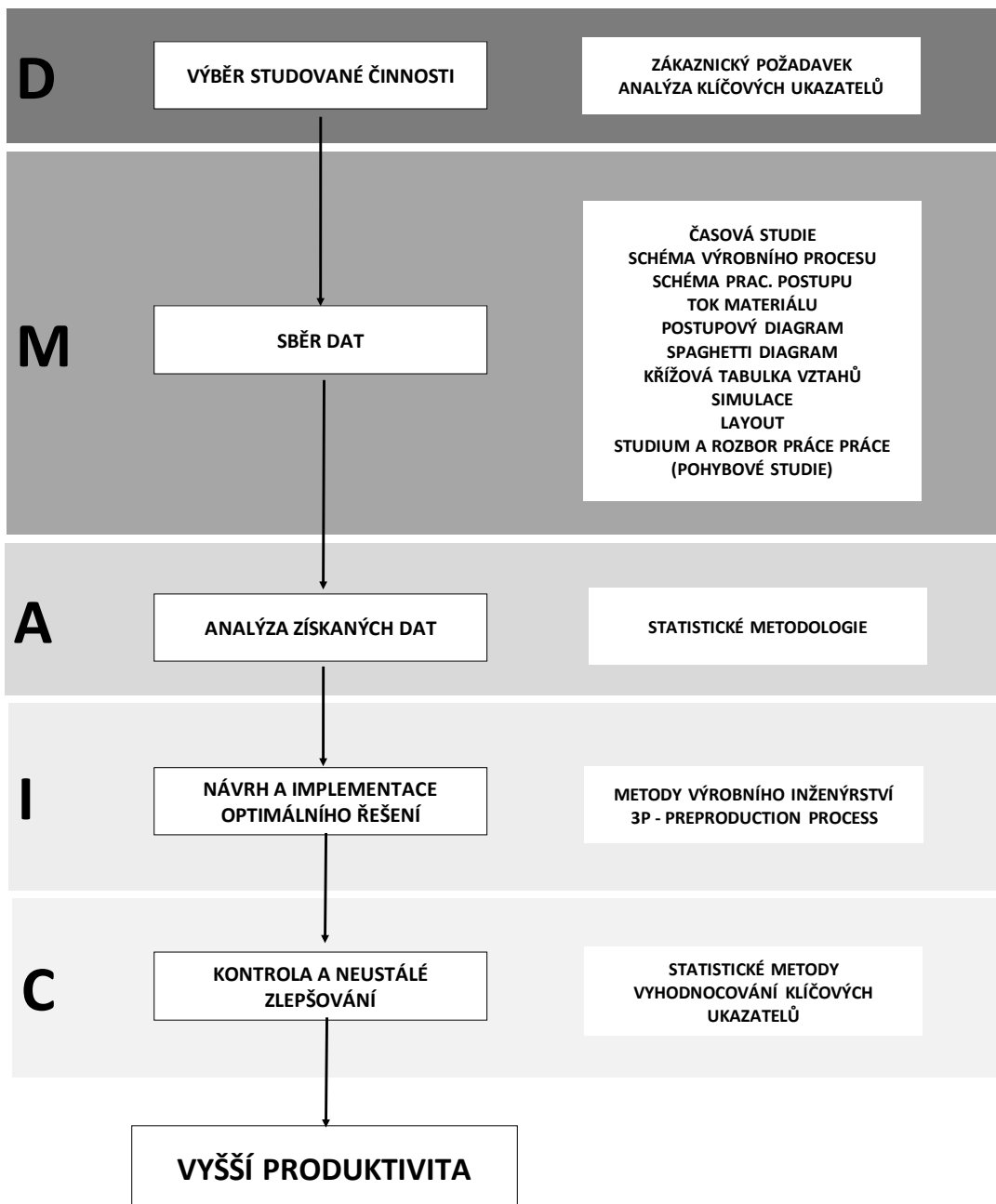
S otázkou efektivního využívání času ve výrobních procesech jsou spojeny pojmy organizace a normování práce. „*Normování výkonu je způsob stanovení délky pracovního času potřebného pro provedení operace se zřetelem na činitele, které čas ovlivňují (kvalifikace pracovníka, vlastnosti materiálu, organizace výroby apod.)*.“ [4] Organizace a normování práce je ve své podstatě jeden z procesů neustálého zlepšování. „*Hlavní cíl organizace a normování práce je zajistit dosažení optimální výkonnosti a účelného využívání lidských zdrojů ve výrobním procesu, v rámci širší problematiky využívání všech druhů zdrojů, které jsou potřebné k úspěšnému chodu podniku. Splnění hlavního cíle organizace a normování práce se zabezpečuje:*

- *zkoumání a zlepšování náplně a sledu pracovních činností,*
- *navrhování nejvýhodnějších technických a organizačních podmínek pro jejich provádění,*
- *stanovení nejnižší možné spotřeby času ve formě normy, která zabezpečuje účelné využití pracovní síly, dosažení přiměřených nákladů, ale i požadované kvality produktu, přiměřenou námahu a bezpečnou práci.*“ [10]

Aby byl cyklus racionalizace funkční je třeba se věnovat postupně otázkám studia práce, racionalizace práce, uspořádání práce a v poslední řadě samotnému normování práce.

„S přihlédnutím k potřebám praxe je dále popsán jednoduchý metodický postup členěný do pěti kroků:

- 1) identifikace problému a cíle řešení,
- 2) rozbor dosavadního stavu,
- 3) návrh (projekt) řešení,
- 4) realizace zvolených řešení,
- 5) kontrola a hodnocení výsledků.“ [10]



Obr. 11: Metodika studia a organizace práce [10]



## 2.2 Metody studia práce

Výchozím bodem problematiky organizace práce je nutnost poznání a analyzování výchozí situace. „Rozbor stavu může být komplexní nebo dílčí dále orientační nebo hloubkový.“ [2] Pro tyto účely existují zažité metody studia práce. „Metody studia práce jsou rozdělovány na srovnávací, analytické a projektové.“ [2] „Metody studia práce jsou založeny na systematickém a procesním přístupu a používané návody jsou obecným základem všech používaných metod a technik.“ [10] Studium práce je klíčovou oblastí inženýrství i když se oproti dřívějšímu mění jeho formy a účel. „Je to považováno za kontraproduktivní, bez přidané hodnoty a konečně v rozporu s moderními principy řízení pracovních sil. Nicméně, časová studie v porovnání s alternativními metodami pro synchronizaci a balancování toků zůstává vysoko na seznamu užitečných nástrojů procesní analýzy“ [13] Pro studium práce jsou využívány různé druhy snímků pracovního dne, snímků operací (chronometráže), momentových pozorování nebo odvozených normativů. „Tyto časové studie práce jsou dále doplněny dalšími metodami a technikami: písemná analýza používané metody práce, dotazování technika, postupové grafy a diagramy pracovních činností, pohybu pracovníků, materiálu a prostředků, níťové modely a grafy, schémata, modely, makety uspořádání výrobního a pracovního procesu.“ [10] Výše uvedené metody se řadí do skupiny metod racionalizace práce. „Tato skupina zahrnuje metody průzkumu pracovní činnosti v prostoru a čase, časové studie (snímky pracovního dne), metody komplexního pozorování, metody pro přípravu racionalizačního rozhodnutí (síťová analýza, modelování, „teorie zásob“, „teorie her“ aj.) a humanitní studie (fyziologie, psychologie práce).“ [2]

### 2.2.1 Snímkování pracovního dne

„Snímky pracovního dne jsou metody měření spotřeby času, při které se přímo a nepřetržitě měří a zaznamenávají druhy a velikosti spotřeby čas po dobu celé pracovní směny (dne) pracovníka nebo výrobního zařízení.“ [10] Snímky pracovního dne mají určité modifikace popsané níže.

- Snímek pracovního dne jednotlivce platí pro jednoho pracovníka.
- Snímek pracovního dne čtyři sleduje několik pracovníků.
- Hromadný snímek pracovního dne je prováděn jedním pozorovatelem na více pracovištích současně.

- Vlastní snímek pracovního dne je prováděn samotným pracovníkem, který zaznamenává vlastní práci.

### 2.2.2 Snímek operace

*„Snímky operace jsou metodou přímého měření skutečné spotřeby času při opakujících se pracovních operacích i jejich částech.“ [10]*

- Plynulá chronometráž se provádí pro předem určený rozsah procesu nepřetržitě.
- Výběrová chronometráž se provádí pouze pro vybrané pracovní úkony (např. nově zařazené úkony do výrobního procesu).
- Snímek průběhu práce (snímková chronometráž) *umožňuje sledování pracovní operace s nepravidelným cyklem, při které nelze předvídat časový sled jednotlivých částí operace.* [10]

### 2.2.3 Momentové pozorování

*„Metoda je založena na teorii pravděpodobnosti a vychází ze zásady, že reprezentativní počet náhodně vybraných údajů zpravidla vykazuje shodné rozdělení jednotlivých druhů údajů, jako ve skutečnosti a jaké by se s dostatečnou přesností získalo, kdyby byly zjišťovány všechny údaje, které se vyskytnou.“ [10]*

### 2.2.4 Odvozené normativy

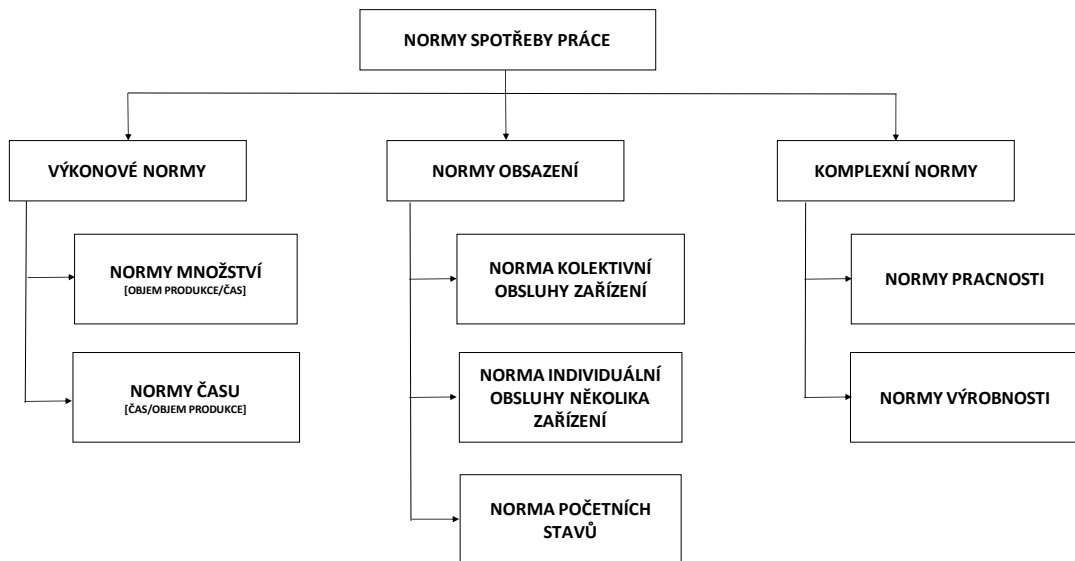
*„Odvozené normativy vznikají výpočtem z prvotních normativů času, případně z jiných normativů, které se používají k výpočtu norem nebo umožňují jejich výpočet.“ [10]*

## 2.3 Racionalizace a uspořádání práce

*“Hlavním účelem sledování procesů ve výrobním prostředí je identifikace abnormalit a chyb v procesních operacích.“ [14]* Na základě informací získaných ve fázi studia práce je možné přistoupit k dalším úkonům spojeným s racionalizací a uspořádáním práce, které mají zajistit nalezení optimálního stavu a zvýšit efektivitu výrobního procesu. *„Racionalizace práce je cílevědomé a systematické využívání všech poznatků a prostředků, které poskytuje věda, technika i praxe ke zvyšování výkonnosti, hospodárnosti a kulturnosti práce.“ [2]*

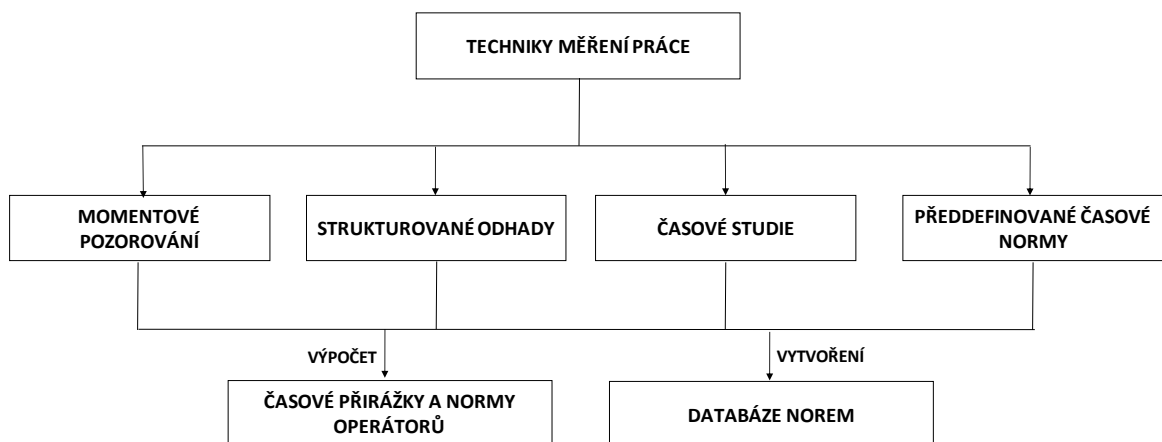
## 2.4 Normování práce

„Úkolem normování spotřeby práce je určování množství spotřeby času při práci v návaznosti na studium a zdokonalování způsobů práce, s cílem podílet se na zajištění efektivnosti výroby a soustavném zvyšování produktivity.“ [10]



Obr. 12: Rozdělení norem spotřeby práce [10]

### 2.4.1 Metody stanovení norem spotřeby práce



Obr. 13: Metody měření práce [15]

- **Rozborové metody**

- 1) Rozborově chronometrážní metoda je založena na detailní analýze sledované operace za využití normativů a metod sledování operace.
- 2) Rozborově výpočtová metoda spočívá v rozkladu operace na dílčí úkony. Podmínkou realizace této metody je znalost časových objemů pro základní činnosti.
- 3) Rozborově porovnávací metoda vychází ze znalostí získaných při studiu obdobných výrobních operací. [15]

- **Souhrnné sumární metody**

- 1) *„Metoda empirických vzorců je zaměřena na určitý typ operací kusové či malosériové výroby, vyjadřuje závislost normy jednotkového času na hlavním činiteli trvání.“* [16]
- 2) Sumárně porovnávací metoda vychází z norem pro jednotlivé úkony, ze kterých je následně složena norma pro celou operaci.
- 3) Statistická metoda vychází z dlouhodobého sledování procesu, kdy je stanovena norma jako průměr hodnot ze získaných dat.
- 4) Metoda sumárního měření časů je založena na měření celkových výrobních etap bez ohledu na dílčí úkony.
- 5) Metoda sumárního odhadu vychází ze zkušenosti pracovníka. [15]

Třetí uvedená metoda v rámci souhrnných sumárních metod (statistická metoda) byla využita v rámci předložené diplomové práce.

### 3 STATISTICKÁ ANALÝZA DAT

Statistická analýza dat je postavena na základních znalostech z oblasti statistiky. Pro popsání a vyhodnocení vlastností nasbíraných informací jsou využívány např. základní míry polohy a variability definovány v následující podkapitole.

#### 3.1 Míry polohy a variability

Míry polohy a variability jsou prvotní výstupy určované u získaného souboru dat. Slouží k popsání primárních vlastností souboru a jsou výchozím bodem pro další statistickou analýzu nebo rozhodovací procesy. Dle definice jednotlivých měr je možné zvolit vhodný parametr pro danou problematiku. Například pro plánování kapacit výrobního podniku je výhodnější pracovat s modem (typickým reprezentantem), protože aritmetický průměr je citlivý na odlehlá pozorování a zkresluje obraz reálné situace.

##### 3.1.1 Aritmetický průměr

„Pro kvantitativní proměnnou  $x$  je základní mírou polohy (úrovně) aritmetický průměr  $\bar{x}$ .“ [17]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i n_i}{n} = \sum_{i=1}^k x_i p_i \quad (1)$$

##### 3.1.2 Medián

„Druhou důležitou mírou polohy je medián  $\tilde{x}$ , který charakterizuje střed hodnot. V případě lichého počtu hodnot proměnné jde o prostřední hodnotu z uspořádaného souboru.“ [17]

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & n \text{ liché,} \\ \frac{1}{2} (x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}) & n \text{ sudé.} \end{cases} \quad (2)$$

##### 3.1.3 Modus

„Speciálně pro kvantitativní diskrétní proměnnou se využívá modus  $\hat{x}$ , což je nejčetnější hodnota.“ [17] „Modus souboru je nejčastěji se vyskytující hodnotou v souboru“ [18]

### 3.1.4 Rozptyl a směrodatná odchylka

„Nechť  $X$  je náhodná veličina s konečnou střední hodnotou. Potom výraz:

$$\text{var } X = E(X - EX)^2 \quad (3)$$

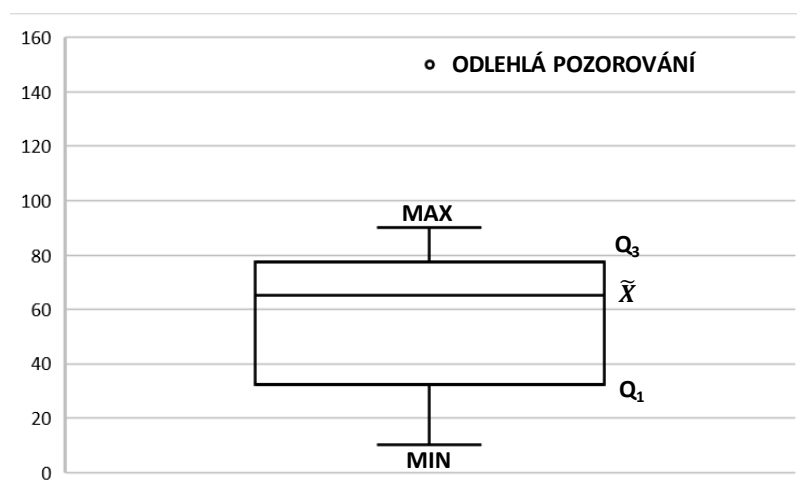
Pokud střední hodnota na pravé straně existuje, se nazývá rozptyl náhodné veličiny  $X$ . Odmocnina z rozptylu ( $\sqrt{\text{var } X}$ ) se nazývá směrodatná odchylka náhodné veličiny (variance).“ [19]

## 3.2 Grafické znázornění dat

Získaná data a jejich charakteristiky je možné interpretovat pomocí matematických nebo grafických nástrojů. Oba druhy nástrojů jsou vzájemně provázány, protože pro sestavení většiny grafických nástrojů je třeba použít matematický aparát. V následujících podkapitolách je uveden krabicový graf a polygon četnostní. Příklady sloupcových grafů jsou dále uvedeny v kapitole 4.1.1 Znázornění časových řad.

### 3.2.1 Krabicový graf

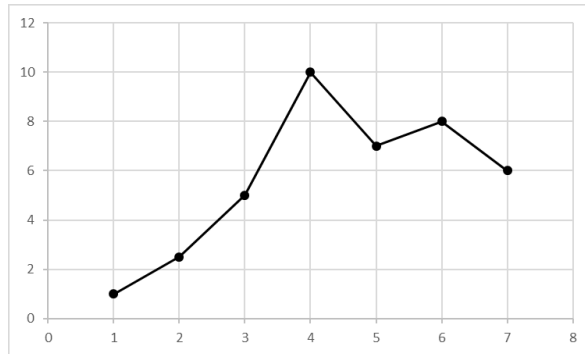
Krabicový graf je efektním nástrojem, který umožňuje přehledné grafické znázornění souboru dat a jeho základních měr. Z krabicového grafu je možné identifikovat např. extrémny (maxima, minima), odlehlá pozorování, interkvartilové rozpětí nebo průměr.



Obr. 14: Krabicový diagram [19]

### 3.2.2 Polygon četností

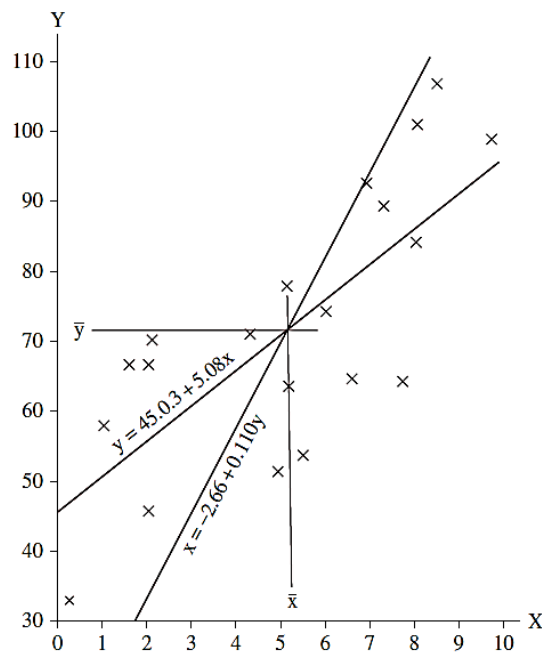
Polygon četností je spolu s tabulkou četností jedním z prvních nástrojů využívaných při zpracování souboru dat. V tomto případě se již pracuje s uspořádaným souborem dat.



Obr. 15: Polygon četností [20]

### 3.2.3 Regresní přímka

“Běžnou situací ve zpracovatelském průmyslu je použití jedné proměnné k řízení jiné související proměnné. Tuto situaci lze řešit pomocí statistické techniky lineární regrese.” [21]



Obr. 16: Lineární regrese [21]

## 4 STATISTICKÉ METODY NA BÁZI ČASOVÝCH ŘAD

Následující kapitola a její podkapitoly se věnuje problematice časových řad a jejich zpracování. „Data časových řad hrají v moderním světě velmi důležitou roli. Mnoho oborů vědy a průmyslu se spoléhá na sledování a zpracování velkého množství časových řad: ekonomie a finance, zdravotníci, ochrana životního prostředí, monitorování hardwaru a mnoho dalších.“ [22] Soubor časových hodnot a jeho následná analýza a vyhodnocení je jádrem praktické části práce. Na základě získaných informací jsou následně modelovány možné optimalizované scénáře výroby.

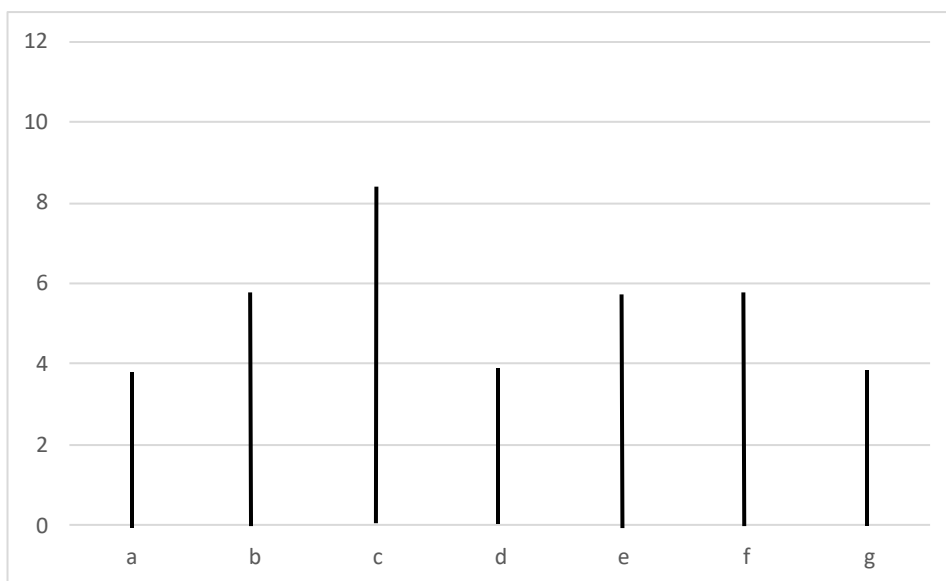
### 4.1 Časové řady

Například použitím metod popsaných v kapitole 2.2 Metody studia práce je možné získat soubor časových hodnot, které jsou také nazývány jako časové řady. „Časová řada je soubor časových hodnot získaných opakovaným měřením spotřeby času pro vykonání určité činnosti. Jednotlivé časy naměřené při opakovaném měření určité činnosti jsou tzv. náměry.“ [10] „Časová řada (dynamická řada, vývojová řada) je posloupnost pozorování kvantitativní charakteristiky uspořádaná v čas od minulosti do přítomnosti.“ [23] Při práci s časovými řadami je třeba dodržet určité zásady a respektovat zákonitosti. „Časovou řadou (někdy chronologickou řadou) rozumíme řadu hodnot určitého ukazatele, uspořádaných z hlediska přirozené časové posloupnosti. Přitom je nutné, aby věcná náplň ukazatele i jeho prostorové vymezení byly shodné v celém sledovaném úseku.“ [24] Jsou rozlišovány dva typy časových řad, a to časové řady intervalové a okamžikové. „Zásadním rozdílem mezi těmito typy časových řad je to, že údaje intervalových časových řad lze sčítat a tím lze vytvořit součty za více období. Naproti tomu sčítání okamžikových řad nemá reálnou interpretaci.“ [24] Intervalové časové řady mohou být reprezentovány např. počtem expedovaných strojů za rok. Druhý případ časových řad může reprezentovat počet rozpracovaných zakázek k určitému datu. „Cílem analýzy časový řad je většinou konstrukce modelu, který nejlépe vystihuje chování zkoumané časové řady.“ [25]

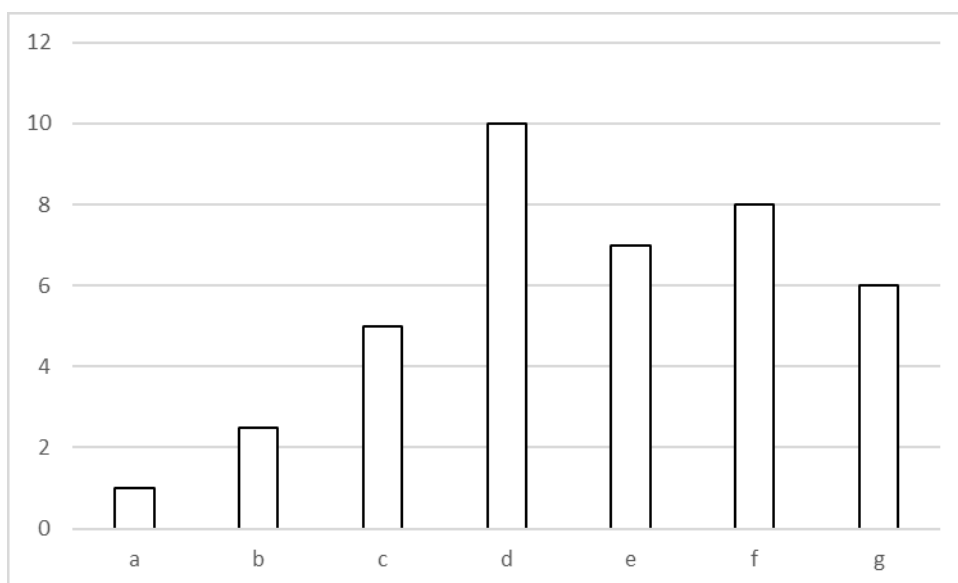
#### 4.1.1 Znázornění časových řad

- Sloupcové grafy
- Čárové grafy
- Spojnicové grafy (okamžikové časové řady výhradně za pomoci spojnicových grafů)





Obr. 17: Čárový graf [20]



Obr. 18: Sloupcový graf [20]

## 4.2 Charakteristiky časových řad

V následujících podkapitolách jsou uvedeny základní charakteristiky týkající se problematiky studia časových řad.

### 4.2.1 Průměr intervalové řady

U časové řady je možné identifikovat průměr dle vzorce (4).

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

### 4.2.2 Nevážený chronologický průměr

Pro elementární charakterizování časové řady je dále možné použít nevážený chronologický průměr. „*Tímto jediným číslem pak charakterizujeme úroveň ukazatele za celé období. Je ale zřejmé, že tím dochází ke značenému zjednodušení reality.*“ [23]

$$\bar{y} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^{n-1} y_i + \frac{y_n}{2} \quad (5)$$

### 4.2.3 První diference – absolutní přírůstky

Absolutní přírůstky spolu s relativními přírůstky a koeficientem růstu jsou tzv. měrami dynamiky časových řad.

$${}_1d_i(y) = y_i - y_{i-1}, i = 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

### 4.2.4 Průměr prvních diferencí

$$\overline{{}_1d_i(y)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n {}_1d_i(y) = \frac{y_n - y_1}{n-1} \quad (7)$$

#### 4.2.5 Koeficient růstu

$$k_i(y) = \frac{y_i}{y_{i-1}}, i = 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

#### 4.2.6 Průměrný koeficient růstu

$$\overline{k(y)} = \sqrt[n-1]{\prod_{i=2}^n k_i(y)} = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \quad (9)$$

#### 4.2.7 Dekompozice časových řad

„Princip dekompozice má velmi jednoduchou a krásnou myšlenku. Tím je představa, že časová řada obsahuje čtyři možné složky – trend, sezonní složku, cyklickou složku a náhodnou složku. Ne každá časová řada musí nutně obsahovat všechny složky.“ [25]

$$y_i = T_i + C_i + S_i + e_i \quad (10)$$

- „**Trend** je obecná tendence vývoje zkoumaného jevu za dlouhé období. Je výsledkem dlouhodobých a stálých procesů.“ [23] Je identifikován trend rostoucí, klesající nebo časová řada bez výskytu trendu.
- „**Sezónní složka** je pravidelně se opakující odchylka od trendové složky. Perioda této složky je menší než celková velikost sledovaného období.“ [23]
- „**Cyklická složka** udává kolísání okolo trendu v důsledku dlouhodobého cyklického vývoje (používáno spíše v makroekonomických úvahách).“ [23]
- **Náhodná složka**

#### 4.2.8 Analýza trendu

V praxi je významnou součástí analýzy časových řad analýza trendu. Analýza trendu slouží k identifikaci předvídatelného chování. Schopnost na základě analýzy získaných dat nejčastěji predikovat budoucí situace je klíčové pro různé oblasti lidské činnosti. Analýza trendu slouží také k lepšímu popisu historické situace

Nejčastěji jsou trendy popsány funkcemi uvedenými níže, které uvádí např. Otipka a Šmajstrla [23].

- Lineární trend – závislost přírůstku hodnoty  $y$  na změně čas.

$$y_t = a_0 + a_1 t \quad (11)$$

- Polynomický trend pro funkce s extrémem.

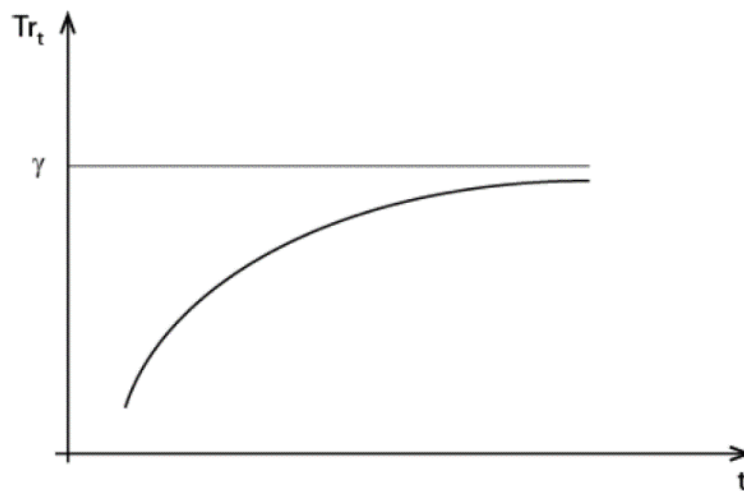
$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \dots + a_k t^k \quad (12)$$

- Exponenciální trend

$$y_t = a_0 a_1^t \quad (13)$$

- Modifikovaný exponenciální trend pro situace s omezenou možností růstu (např. nasycení trhu).

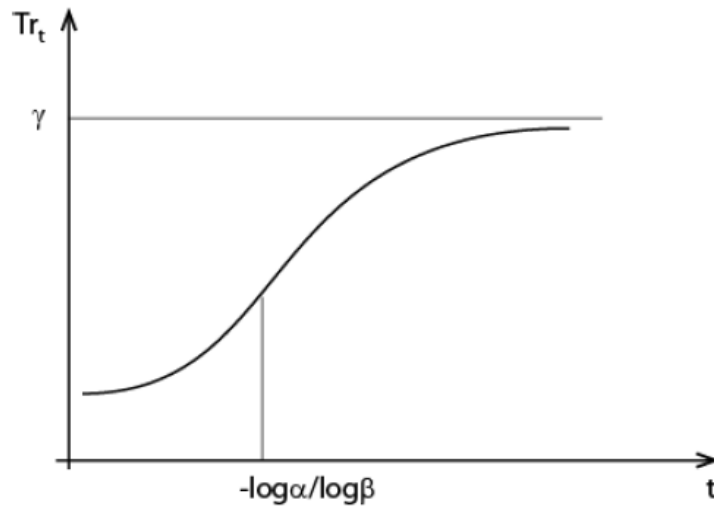
$$y_t = k + a_0 a_1^t \quad (14)$$



Obr. 19: Modifikovaný exponenciální trend [26]

- Logistický trend (pozvolný vzestup, prudký nárůst u inflexního bodu a vrcholová stagnace).

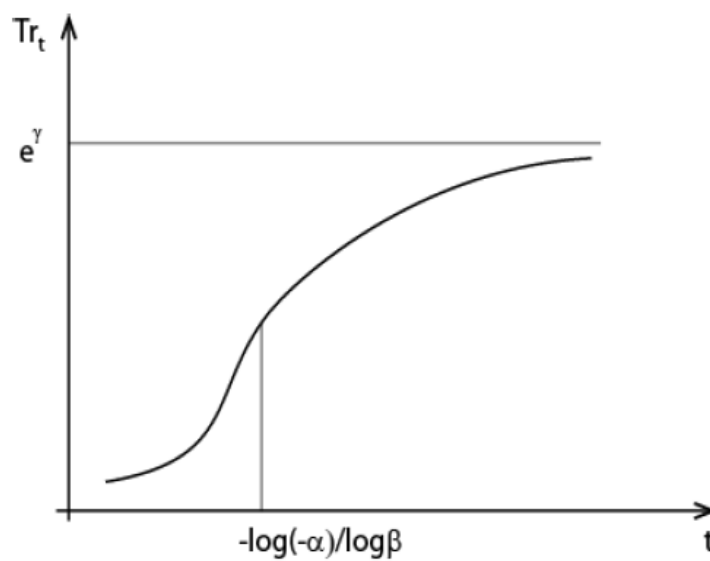
$$1/y_t = a_0 a_1^t \quad (15)$$



Obr. 20: Logistický trend [26]

- Gompertzova křivka (obdoba logistického trendu s esovitým průběhem).

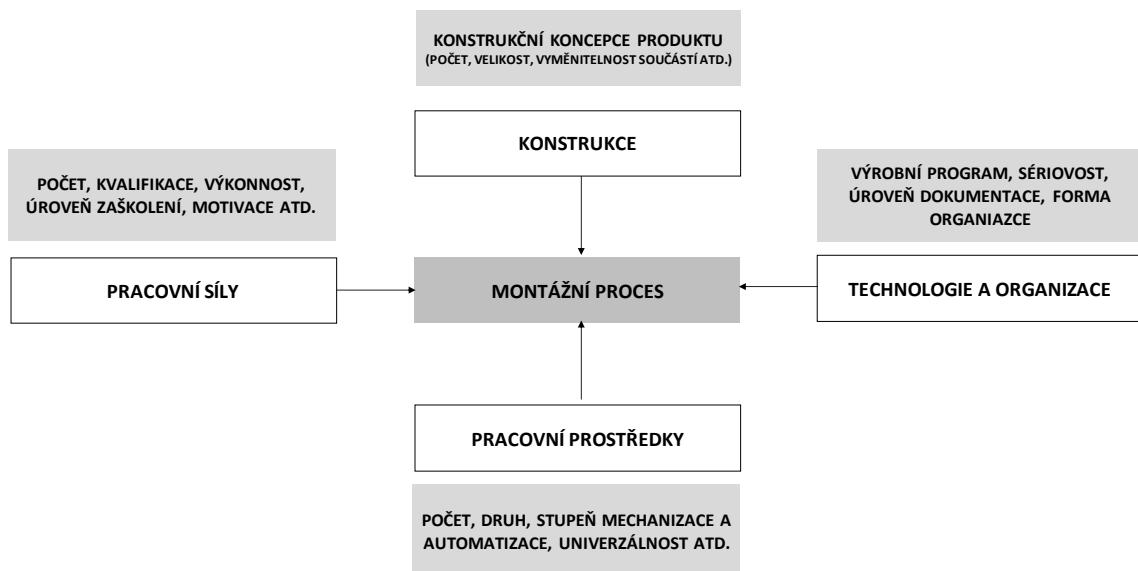
$$y_t = k a_0 a_1^t \quad (16)$$



Obr. 21: Gompertzův trend [26]

## 5 METODY VYUŽITÉ PŘI ŘEŠENÍ PROJEKTU

Při řešení projektu byly použity některé z tradičních nástrojů, metod a přístupů z oblasti průmyslového inženýrství a řízení kvality. Vybrané prvky byly zvoleny pro svoji osvědčenou platnost a efektivitu při řešení obdobných projektů. Na portfoliu uváděných prvků je možné vidět možnosti kombinování různých proudů v rámci průmyslového inženýrství. *“Metody řízení, jako je štíhlá výroba a řízení celkové kvality (TQM), jsou nyní na vysoké úrovni implementace a již nejsou jedinečnými konkurenčními výhodami. Přesto se tyto dva principy platné pro výrobu a logistiku nadále rozvíjejí ve smyslu procesu neustálého zlepšování (CIP).“* [27] Zároveň je vhodné pracovat při praktickém řešení projektu pouze s určitým výběrem správně zvolených metod a nástrojů přizpůsobených řešené otázce.



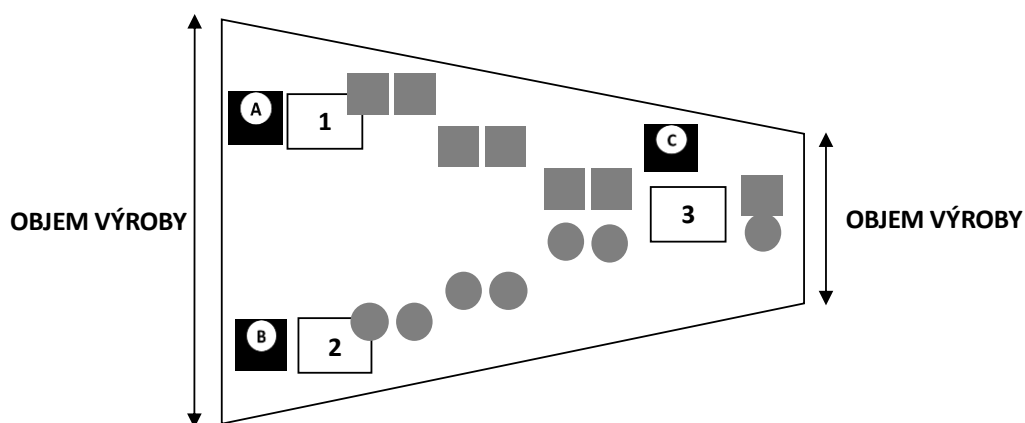
Obr. 22: Faktory ovlivňující montážní proces [6]

*„Stejně jako pro Forda, primárním cílem Ohna bylo zlepšit tento tok – zmenšit dobu potřebnou k výrobě – jak je naznačeno v jeho odpovědi na otázku, čemu se momentálně věnuje Toyota: „Všechno, co děláme, je to, že se dohlížíme na ten čas mezi momentem, kdy dostaneme zakázku, až ke chvíli, kdy dostaneme peníze. A právě tento čas mezi oběma momenty se snažíme co nejvíce zredukovat.“* [12]

## 5.1 Teorie úzkých míst

„Optimized Production Technology (OPT) je koncept výroby vyvinutý v 70. letech v USA. Na rozdíl od MRP je zaměřen na optimalizaci výrobních toků (průchod součástí, výrobků atd. výrobním systémem) cestou maximálního využívání kapacit úzkoprofilových pracovišť, tzv. „úzkých míst“. [28] Problematika projektu řešeného v praktické části této diplomové práce vychází z předpokladu, že charakteristika řešeného úkolu odpovídá Teorii úzkých míst. „Východiskem tohoto problému je úvaha, že vznikající úzká místa mají podstatný vliv na průběh výroby. Identifikací a optimálním obsazením, resp. využitím úzkých kapacit, může být pro to zajištěno zlepšení průměrného využití všech výrobních zařízení, snížení průběžných dob, jakož i snížení stavu pracovníků.“ [1] Ztotožnění s touto myšlenkou dále nasměruje další úkony a postup řešení dané otázky.

1. IDENTIFIKOVAT systémové(á) omezení.
2. Rozhodnout, jak VYUŽÍT systémové(á) omezení.
3. PODŘÍDIT všechno ostatní výše uvedenému rozhodnutí.
4. POZVEDNOUT systémové(á) omezení.
5. UPOZORNĚNÍ!!! Jestliže se při předchozím kroku některé omezení odstraní, vrať se ke kroku 1, ale nedovol, aby systémové(á) omezení způsobila SETRVAČNOST. [12]



Obr. 23: Teorie omezení [12]

## 5.2 Six Sigma strategie

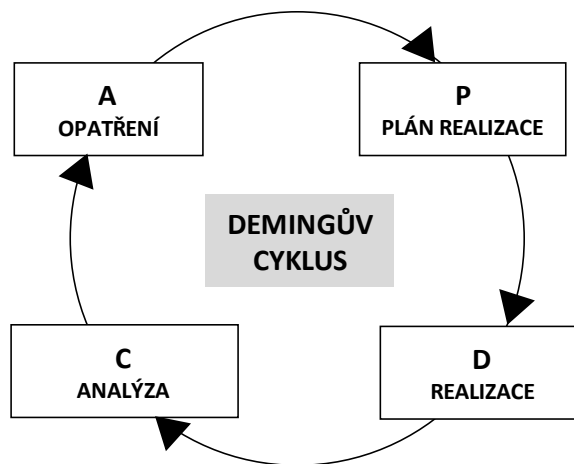
Koncepce projektu popsaného v praktické části této diplomové práce je silně spojen s filozofií Six Sigma a to nejenom využitím Six Sigma metod při řešení daného problému. „*Six Sigma je chytřejší způsob, jak řídit podnik nebo oddělení. Six Sigma klade zákazníka na první místo a používá fakta a data k hledání lepších řešení. Six Sigma se soustředí na tři hlavní oblasti:*

- *zvyšování zákaznické spokojenosti,*
- *redukce průběžných časů,*
- *redukce chyb.“ [29]*

Významným přínosem využívání Six Sigma filozofie je standardizace v rámci řízení projektů, ale také standardizace napříč organizací. *Six Sigma zlepšuje výkonnost procesu a snižuje variabilitu a odchylky tím, že eliminuje zdroje chyb a zároveň redukuje náklady na chyby“ [30]*

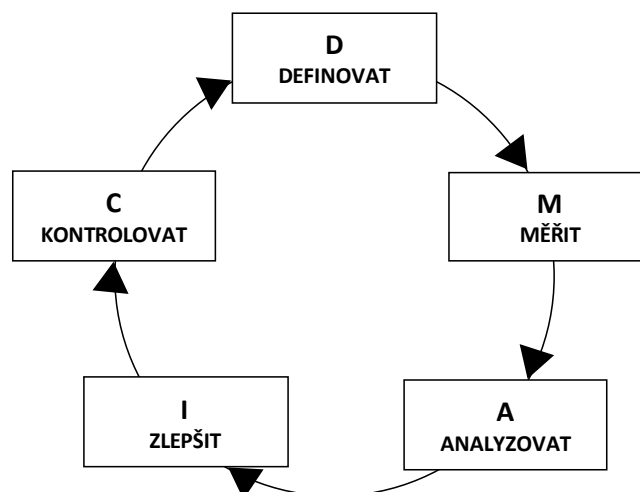
Pro strukturování projektu je vhodné zvolit některý ze systematických nástrojů řízení projektů a zlepšování procesů. Do této skupiny nástrojů patří např. Demingův PDCA cyklus („*Tento cyklus se skládá ze čtyř fází, ve kterých by mělo probíhat zlepšování jakosti nebo provádění změn. Jedná se o cyklus, který nemá konec a měl by se pro zajištění neustálého zlepšování stále opakovat.“ [11]*), SDCA cyklus (standardize-do-check-act), DMADV nebo DMAIC cyklus. „*Six Sigma má dva přístupy: DMAIC (D-Definovat, M-Měřit, A-Analyzovat, I-Zlepšit, C-Kontrolovat), který je aplikovatelný na existující produkt nebo proces, aby byl zlepšen a DMADV (D-Definovat, M-Měřit, A-Analyzovat, D-Navrhnout, V-Ověřit), který je aplikovatelný na nové produkty a procesy tak, aby byly navrženy a/nebo implementovány způsobem, který zajistí Six Sigma výkonnost.“ [31]*





Obr. 24: PDCA cyklus [11]

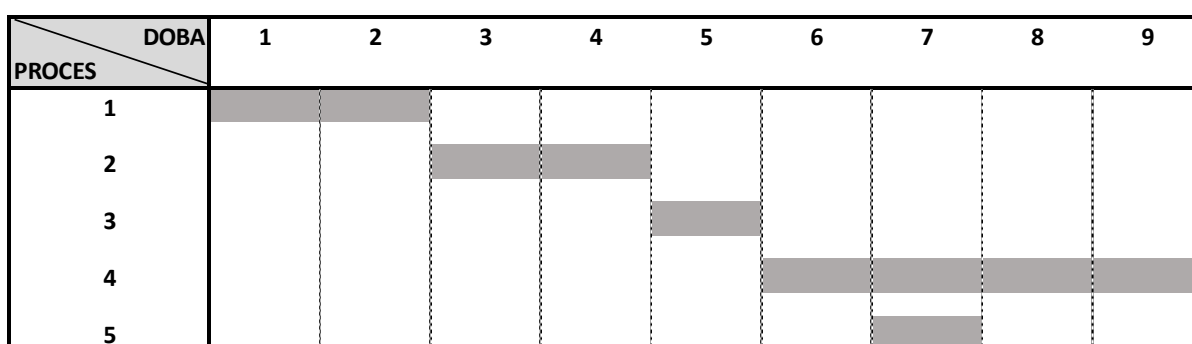
V praktické části této diplomové práce byla využita strategie Six Sigma řízení projektů. „Stěžejními fázemi zlepšování v rámci strategie Six Sigma jsou definování, měření, analýza, zlepšování a regulace (DMAIC).“ [11] Stejně jako u PDCA cyklu je i metodika DMAIC cyklická a vychází z předpokladu neustálého opakování.



Obr. 25: DMAIC cyklus [32]

### 5.3 Ganttův diagram

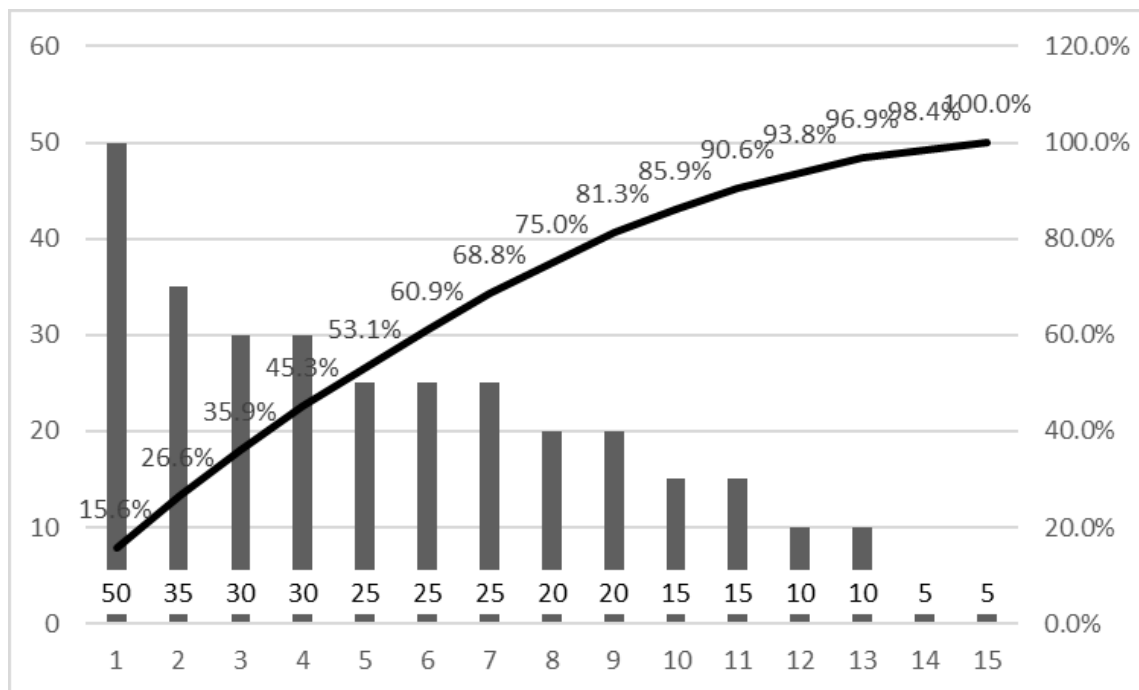
Při definování, popisování a plánování činností hraje nezastupitelnou roli Ganttův diagram. „Ganttův diagram umožňuje seřadit činnosti podle průběhu a podle časové návaznosti, sleduje pořadí úloh a termín jejich splnění.“ [9] Tento principiálně jednoduchý nástroj poskytuje názorné a dobře srozumitelné informace o průběhu a návaznosti jednotlivých činností. Při plánování výroby hraje využívání Ganttových diagramů nezastupitelnou roli, protože jsou dobře uchopitelné i pro laiky a snadno sestavitelné. „Pořadí montážních operací (může znázorňovat síťový diagram nebo Ganttův diagram).“ [7]



Obr. 26: Příklad Ganttova diagramu [33]

### 5.4 Paretova analýza

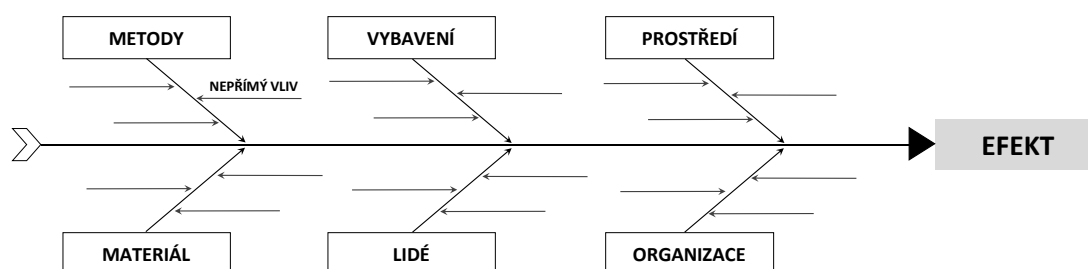
Dalším velmi efektivním nástrojem, který je možné v rámci projektů neustálého zlepšování využít je Paretova analýza a z ní vycházející Paretův diagram. Tento nástroj pomáhá s identifikováním klíčových problémů a přiřazení priorit jednotlivým úzkým místům. Paretova analýza vychází z tzv. Paretova pravidla 80/20 známého původně v kontextu socioekonomie. „Americký odborník na jakost J. M. Juran označil zobecnění tohoto rozdělení jako Paretův princip (je znám také jako Paretův zákon či pravidlo 80/20) a na jeho základě zformuloval závěr, že 80-95 % problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5-20 %). Tyto příčiny nazval „životně důležitou menšinou“. Na příčiny tvořící tuto menšinu je v dalších analýze procesu třeba přednostně zaměřit pozornost, analyzovat je do hloubky a odstranit či minimalizovat jejich působení.“ [11]



Obr. 27: Paretův diagram [34]

## 5.5 Ishikawův diagram rybí kosti

Pro detailní rozbor situace, a především nalezení příčin problémů, které byly identifikovány např. pomocí Paretovy analýzy se osvědčil tzv. Fishbone diagram neboli diagram rybí kosti. „Ishikawův diagram je grafický nástroj, který logicky a v uspořádané formě zobrazuje příčiny daného následku. Umožňuje najít skutečné příčiny následku, ne pouze symptomy, a zvolit nejefektivnější řešení problému.“ [11] Fishbone diagram pomáhá strukturovat možné příčiny problémů do šesti kategorií. Na jednotlivé kategorie je možné opět využít analytický nástroj použitý pro identifikování primárního problémů (v kontextu této diplomové práce se jedná o Paretovu analýzu). Díky opakování analýzy je možné identifikovat nejzávažnější vliv v jednotlivých kategoriích a vyselektovat důležité faktory.



Obr. 28: Ishikawův diagram rybí kosti [35]

Ishikawa diagram rybí kosti umožňuje identifikovat jednotlivé oblasti, které mohou být zdrojem problémů a dílčí vlivy v jednotlivých oblastech, které přispívají k dané situaci. Ve většině případů je nevhodné řešit široké portfolio otázek. Z tohoto důvodu je vhodné samotný Ishikawův diagram doplnit např. metodou 5X PROČ, která pomáhá nalézt kořenové příčiny a zužuje řešenou oblast.



Obr. 29: Metoda 5X PROČ? (Zdroj autor)

## 5.6 Statistické šetření

Výše popsané nástroje a metody by měly být doplněny komplexním statistickým šetřením. Statistické šetření poskytuje data už pro identifikování primárního problému, který má být v rámci projektu řešen. Dále šetření poskytuje podklady pro identifikování příčin neuspokojivého stavu. V neposlední řadě slouží statistické informace k vyhodnocení míry úspěšnosti projektu a vykazují informaci o dlouhodobém efektu opatření v tzv. kontrolní fázi.

### 5.6.1 Analýza výchozí situace

V podstatě při řešení všech problémů v odborné i laické praxi je nutné se nejprve dobře seznámit s výchozí situací. Pro popsání výchozího stavu se využívá již známých dat nebo se provede šetření.

„Kritéria pro vedení sběru údajů lze klasifikovat podle tří hledisek:

- funkční perspektiva (podle logických témat),
- operační perspektiva (řetězec příčin a následků),

- *perspektiva časového prostoru (podle toho, jaký časový prostor data odrážejí).* “ [36]

### 5.6.2 Analýza časových řad

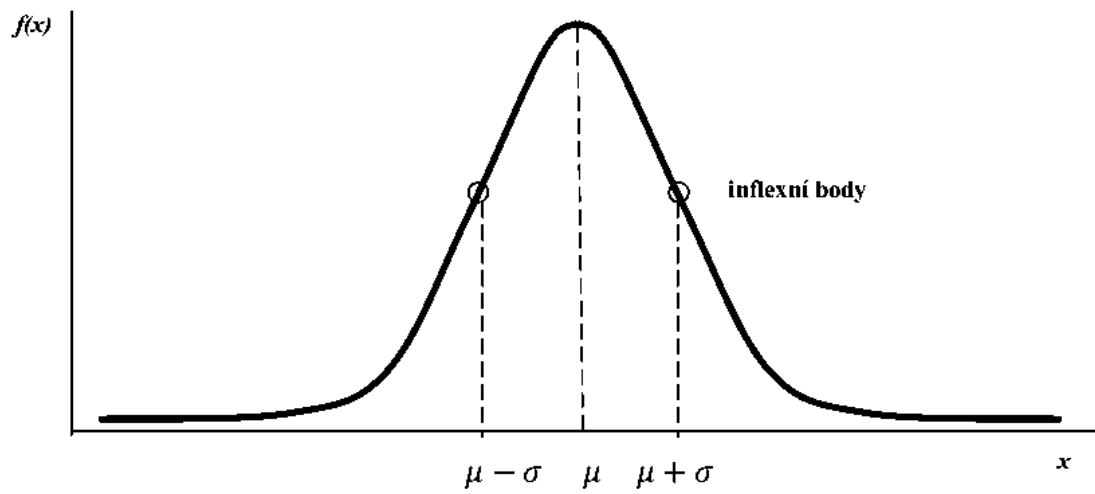
Významná část projektů zabývajících se dlouhodobým sledováním a zvyšováním výkonnosti výrobního procesu má společný základní prvek. „*Základem projektu je časová analýza, na ni mohou dále navazovat analýza nákladů či analýza zdrojů.*“ [9] „*Mít perspektivu časového prostoru zvyšuje kvalitu syntézy, protože vrhá světlo na skutečný a realistický potenciál společnosti*“ [36]

### 5.6.3 Pravděpodobnost

Významnou roli při řešení praktického příkladu z této diplomové práce zastává pravděpodobnost. Pravděpodobnost je možné definovat pro potřeby experimentální nicméně obdobně bude fungovat i v inženýrské praxi. „*Nechť jev  $A$  je jedním z možných výsledků pokusu. Jestliže při  $n$ -násobném opakování tohoto pokusu nastane jev  $A$  právě  $m(A)$ -krát, pak pravděpodobnost jevu  $A$  odhadujeme poměrem* [37] :

$$P(A) \approx \frac{m(A)}{n} \quad (17)$$

„*Pravděpodobnosti označujeme míru očekávatelnosti výskytu náhodného jevu. S rostoucí pravděpodobností roste šance, že jev nastane.*“ [38] Ve výrobním podniku je velmi důležité znát pravděpodobnost s jakou bude např. zakázka dokončena, a to z důvodu, že společnost podstupuje určitá rizika související např. s pozdním dodáním výrobků. Od pravděpodobného termínu dokončení se odvíjí i plánování zakázek a všechny další kroky související s řízením výroby produktu. „*Nejpoužívanějším pravděpodobnostním rozdělením modelujícím chování velkého množství náhodných jevů v technice, přírodních vědách i ekonomii je rozdělení normální,*“ [38]



Obr. 30: Hustota pravděpodobnosti normální rozdělení [38]

## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem předložené diplomové práce je návrh možných řešení zvyšujících výkonnost výrobního procesu za pomoci statistických metodologií. Pro praktické řešení diplomové práce a navržení možných zlepšení je nutné provést: sběr dat pro vytvoření dostatečně kvalitního souboru, provedení analýzy nasbíraných dat, vyhodnocení získaných výsledků a na tomto základě vytvoření modelů možných řešení.

V praktické části práce je kladen důraz na identifikaci úzkých míst ve výrobním procesu za pomoci dlouhodobého statistického sledování a vyhodnocování ukazatelů. Na základě informací vycházejících z metod snímkování pracovního dne a analýzy časových řad je sestaven model výrobního procesu, který je dále analyzován a poskytuje informace o konkrétních úzkých místech a jejich závažnosti. V rámci práce je identifikováno nejužší místo výrobního procesu, pro které jsou následně navrženy možnosti jeho eliminace. Datová báze nasbíraná v rámci prvotního projektu je mimo jiné využitelná pro řešení dalších úzkých míst.

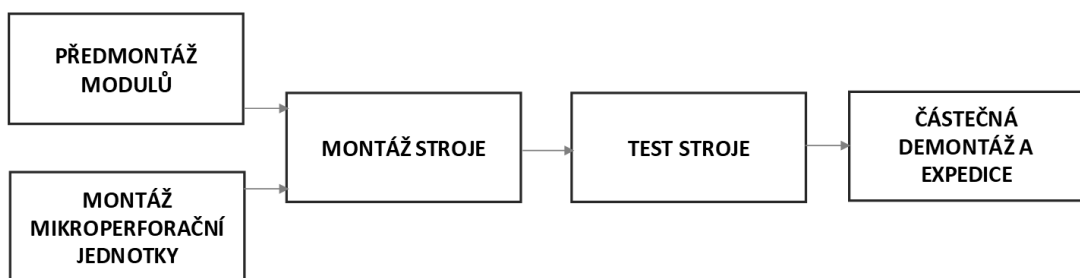
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 7 ZADÁNÍ PROJEKTU

Primárním požadavkem zadavatele projektu bylo zvýšení výkonnosti výrobního procesu a to tak, aby bylo výrobní středisko schopno v následujících obdobích produkovat vyšší počet strojů při zachování stávajících lidských kapacit. Vzhledem k tomuto požadavku je jedinou proměnnou, kterou je možno ovlivňovat průběžná doba montáže zařízení.

Celý stroj se skládá z dílčích zařízení, která jsou vyráběna v rámci různých středisek. V takovém to případě je vysoká pravděpodobnost, že se vyskytne nesoulad v jednotlivých výrobních plánech, který může významně ovlivňovat výkonnostní ukazatele – průběžnou dobu setrvání stroje v hlavní montáži. Požadavkem je také zachování stávajícího rozdělení výroby, které je uvedeno na obrázku 31.



*Obr. 31. Schéma dělení výrobního procesu*

Z důvodu zachování kvality expedovaných zařízení patří mezi další požadavek zadavatele zachování délky fáze testování stroje a částečné demontáže. Předmětem projektu zůstává tedy především etapa předmontáže modulů, montáže mikroperforační jednotky a celková montáž stroje.

## 8 METODIKA ŘEŠENÍ PROJEKTU

Pro efektivní řešení projektu byla předem zvolena strategie řešení předloženého problému. Vymezení projektu a stanovení metodiky předem má zajistit hlavně transparentnost a komplexní přístup k problematice tak, aby byly postihnuty všechny aspekty. Klíčovou roli v rámci projektu představují především statistické metodologie využívané při sběru a analýze dat a následném vyhodnocování ukazatelů. Detail strategie řešení projektu je popsán v podkapitolách níže.

### 8.1 Analýza konstrukční povahy zařízení

Prvním krokem při řešení zadaného tématu bylo seznámení a popis zařízení, jehož výrobní proces je předmětem zkoumání. V rámci analýzy konstrukční povahy zařízení byl proveden rozbor zařízení s ohledem na jeho konstrukci. Výstupem této analýzy je modulární schéma stroje. Modulární schéma stroje jednak vymezuje, které montážní sestavy případně zařízení je možné montovat separátně a v rámci kompletace zařízení určuje posloupnost montáže a konkrétní kontrolní body pro následnou kontrolu. Analýza konstrukce zařízení přináší především informace o standardních součástech stroje, co je možnou opcí na základě požadavku zákazníka nebo např. identifikuje kritické součásti (díly s vysokými požadavky na přesnost apod.).

### 8.2 Analýza struktury montáže

Dalším krokem při analýze výchozí situace bylo popsání jednotlivých montážních etap a jejich návazností. Nicméně samotná analýza výrobního procesu toto schéma dále rozpracovává a detailně popisuje, které všechny úkony jsou součástí jednotlivých výrobních etap. Analýza struktury montáže je také doplněna o přehled kapacit využívaných v jednotlivých etapách. Jedná se o kapacity pracovníků a výrobní plochy, která je v jednotlivých sekvencích k dispozici. Analýza struktury montáže je výchozím bodem pro následná měření na jednotlivých pracovištích. Na základě rozpadu na jednotlivé konstrukční celky a jejich přiřazení do jednotlivých etap je možné sestavit plán sběru dat.

### 8.3 Analýza návaznosti dílčích montáží

Po rozboru konstrukčního charakteru zařízení a jednotlivých montážních etap následuje sestavení modelu návaznosti jednotlivých montáží na sebe. Rozdělení výrobního procesu je dále detailně prostudováno. Pro potřeby diplomové práce je sledována především předmontáž modulů a montáž stroje. V celkovém měřítku je etapa montáže mikroperforační jednotky méně významná. V rámci studia návazností dílčích montáží byly sestaveny plány montáže jednotlivých středisek a následně byly vzájemně porovnány.

### 8.4 Identifikace úzkých míst

Výchozí analýza hlavního procesu montáže posloužila především pro identifikaci problematických oblastí a stanovení priorit. V rámci diplomové práce je řešeno pouze primární úzké místo výrobního procesu. Vzhledem k tomu, že se úzká místa vyznačují tendencí ke stěhování, tedy pokud je jedno eliminováno objeví se někde jinde nové, slouží provedené analýzy jako báze pro identifikaci dalších úzkých míst jejichž odstranění již není předmětem této diplomové práce.

### 8.5 Časová studie

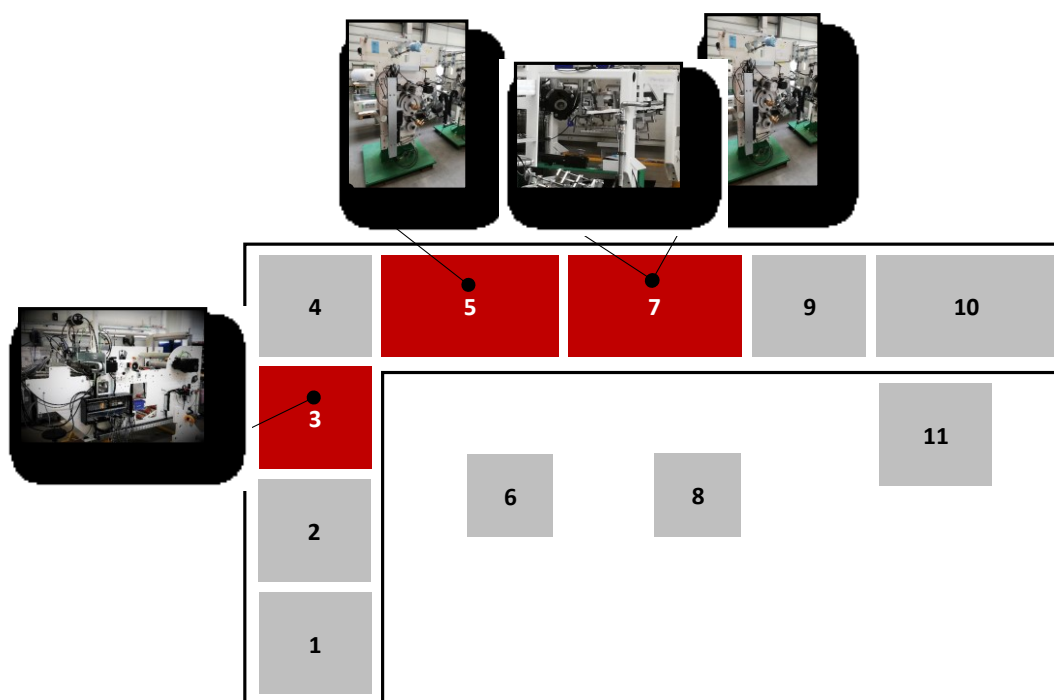
Po identifikaci a roztřídění všech operací do jednotlivých etap výrobního procesu byly provedeny jednotlivé časové studie. Byla provedena časová studie pro hlavní montáž, a to z důvodu, že zde se hypoteticky předpokládá největší výskyt možných úzkých míst, a to na základě principu, že ve finální montáži se sčítají odchylky všech předcházejících procesů. Jedná se jak o odchylky samotných dílčích montážních i samotných konstrukčních, výrobních nebo logistických procesů. Dále byly provedeny časové studie procesu předmontáže dílčích jednotek a montáže mikroperforační jednotky. Mimo tyto stěžejní studie byl sledován i proces testování zařízení, protože se předpokládá, že v budoucnu při zvýšení produkce nebude schopen testovací tým v současném složení a nastavení procesů odbavit požadovaný počet strojů.

## 8.6 Návrh možných řešení

Na základě všech výše popsaných kroků bylo možné vytvořit modely možných řešení otázky zvýšení výkonnosti výrobního procesu za pomoci snížení průběžné doby hlavní montáže. Na základě získaných dat bylo možné sestavit několik možných modelů ilustrujících možný budoucí stav při transformaci výrobního procesu.

## 9 MODULÁRNÍ STRUKTURA ZAŘÍZENÍ

Vzhledem k četnosti úkonů, které zařízení provádí je celý stroj koncipován již z hlediska konstrukčního jako modulární systém. Modulární charakteristika zařízení ovlivňuje nejenom samotnou konstrukci, ale také možnosti výrobního procesu. Hlavní sektory zařízení jsou ilustrovány na obrázku 32. Výrobní proces je omezen konstrukcí zařízení tak, že je možné provádět montáž kompletního zařízení pouze postupně po jednotlivých předmontovaných modulech.



Obr. 32. Modulární struktura zařízení (Zdroj autor)

1- odvíjecí jednotka, 2 – mikroperforační jednotka, 3- příčná řezací jednotka, 4 – transportní jednotka, 5 – jednotka vytvářející ventil, 6 – odvíječ pro jednotku vytvářející ventil, 7 – jednotka skládající dno, 8 – odvíječ pro jednotku skládající dno, 9 – pásový dopravník, 10 – kontrolní a separační jednotka, 11 – stohovací jednotka

- **Odvíjecí jednotka** slouží k odvíjení základního materiálu v podobě rukávu pleteného na kruhových pletacích strojích. Odvíjecí jednotka je předmontována v rámci předmontáže modulů.

- **Mikroperforační jednotka** slouží k perforaci odvíjeného rukávu. V základním materiálu vytváří mikrootvory, které jsou zodpovědné za ventilaci. Mikroperforační jednotka je dodávána do hlavní montáže z externího výrobního střediska.
- **Příčná řezací jednotka** rozděluje odvíjený rukáv na požadovaný rozměr budoucích pytlů. Příčná řezací jednotka je jedním z modulů vyráběných v rámci předmontáže.
- **Transportní jednotka** posouvá nakráčený polotovar pytle k dalšímu modulu. Její příprava pro hlavní montáž probíhá opět na pracovišti předmontáže.
- **Jednotka vytvářející ventil** vykonává úkon, při kterém je na polotovaru pytle vytvořen plnicí ventil. Modul je dodáván z předmontáže.
- **Odvíječ jednotky vytvářející ventil** je zařízení, které dodává přídatný materiál nutný pro vytvoření ventilu. Jednotka pochází z předmontáže modulů.
- **Jednotka skládající dno** vytváří díky polaminované doplňující tkanině spoj na obou stranách polotovaru pytle. Tento modul je předpřipraven v předmontáži a následně instalován do stroje v rámci hlavní montáže. Jednotka skládající dno je doplněna rozevírací jednotkou, které otevírá tkaninu. Rozevírací i skládací jednotky jsou párové.
- **Odvíječ pro jednotku skládající dno** dodává jednotce skládající dno materiál pro vytvoření bezlepidlových spojů. Spolu s touto jednotkou je montován v předmontáži modulů.
- **Pásový dopravník** transportuje hotové pytle ke kontrolní jednotce. Do hlavní montáže vstupuje z předmontáže modulů.
- **Kontrolní a separační jednotka** je zodpovědná za eliminaci vadných pytlů vzniklých při výrobě. Je produktem předmontáže modulů.

- **Stohovací jednotka** ukládá pytle pro přesun k dalším zařízením. Je montována na předmontáži modulů.

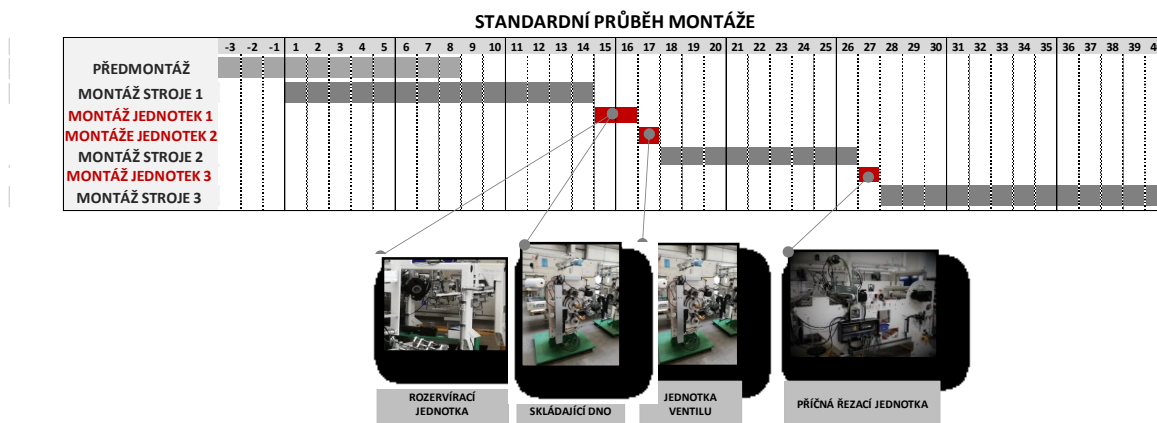
Výše jmenované moduly tvoří klíčové funkční jednotky zařízení. Montáž stroje spočívá mimo instalaci dílčích modulů z:

- rozmístění stojen,
- montáže hlavního rámu stroje,
- montáže pohonu,
- montáže hydraulických rozvodů,
- krytování zařízení,
- polepení stroje,
- přípravu příbalovaných součástí.

Modulární struktura zařízení umožňuje určité kompromisy v rámci výrobního postupu, které ovlivňují celkovou dobu montáže. Mimo jiné z tohoto principu je možné rozdělit předmontované jednotky do dvou skupin. První skupina představuje malé skupiny (malé moduly), které jsou časově významně méně náročné (montáž trvá maximálně 3 dny) a nepodmiňují průběh hlavní montáže (je možné je namontovat v různých fázích montáže hlavního stroje). Dále se, ale vyskytují moduly – jednotky, které mají významně delší dobu montáže (více než 3 dny) a jejich instalace do montáže podmiňuje další průběh montáže celého zařízení. Z tohoto důvodu se práce dále zaměřuje především na situaci týkající se velkých jednotek (jednotky dna, rozevírací jednotky, jednotka ventilu a příčná řezací jednotka).

## 10 ČASOVÁ STRUKTURA MONTÁŽE

V rámci analýzy výchozí situace byl sestaven model struktury montáže. Model je uveden na obrázku č. 33. Níže uváděná ilustrace zahrnuje pouze montážní práce. Na samotnou předmontáž a montáž stroje navazuje dále test trvajícím standardně 21 dnů a 3 dny demontáže zařízení pro expedici.



Obr. 33: Standardní průběh montáže

Výše uvedený model montážního procesu ilustruje původní plánovanou situaci. Předmontáž velkých jednotek a malých modulů je zahájena 3 dny před samotnou montáží hlavního stroje. Dle plánu by měla být montáž velkých aparátů i malých skupin hotova do 8 dne hlavní montáže a předána. Pokud k této předávce nedojde začíná se prodlužovat průběžná doba montáže stroje. Z ilustrované situace je, ale na první pohled patrný nesoulad mezi jednotlivými etapami montáže. Schéma ukazuje, že celá předmontáž je hotová již 8 den, ale montáž předmontovaných jednotek probíhá až v rozmezí 15 až 17 dne a následně např. v 27. dnu. Z tohoto je patrné, že je nutné např. poměrně dlouhou dobu někde skladovat předpřipravené moduly.

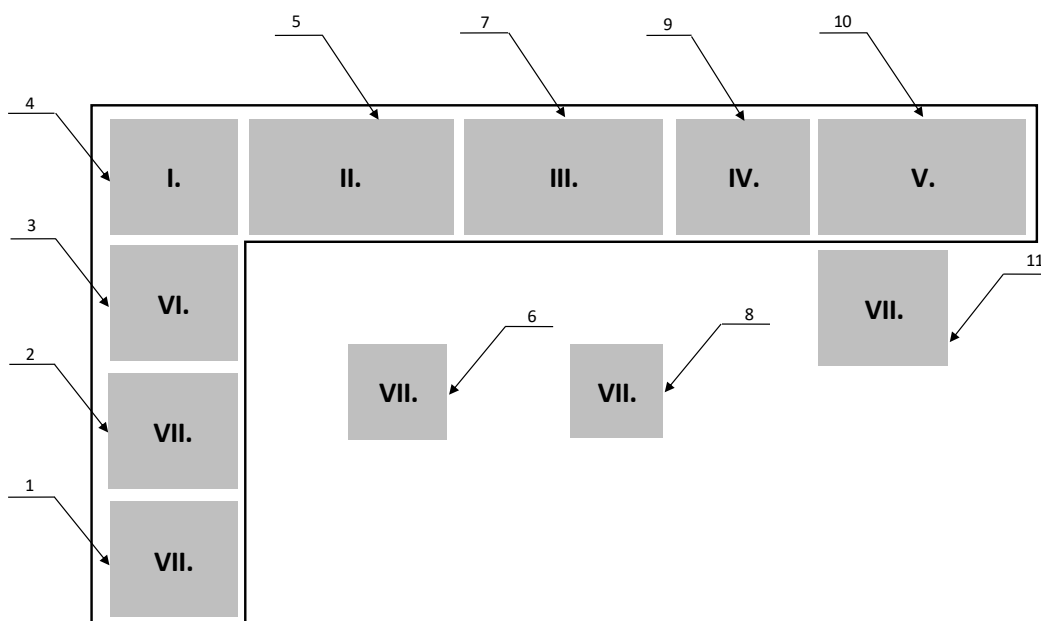
Původní plán montáže také poukazuje na poměrně velký nepoměr mezi úsekem předmontáže a montáže stroje vzhledem k faktu, že samostatné moduly doplňující hlavní stroj jsou z velké části montovány právě na pracovišti předmontáže. Je velice pravděpodobné, že plán předmontáže neodpovídá skutečnosti a samotná předmontáž modulů bude trvat déle.



## 10.1 Návaznost montáže

Návaznost montáže ve zkoumaném případě by měla primárně vycházet z konstrukční podstaty zařízení, která významně ovlivňuje technologický postup montáže. Montáž stroje je prováděna nejprve v hlavní linii stroje, kdy je postavena hlavní – vnitřní část stroje a do ní jsou osazeny klíčové moduly – transportní jednotka, jednotka pro výrobu ventilu, jednotka vyrábějící dno a hrdlo pytle, dopravník a kontrolní jednotka. Výše jmenované moduly je nutné dodat do výrobního procesu v požadovaném okamžiku, protože jejich absence způsobuje zdržení nebo zastavení výrobního procesu. Periferní moduly (odvíječ, mikroperforační jednotka, příčná řezací jednotka, odvíječe, stohovací jednotka) je možné na stroj namontovat i dodatečně. Tyto moduly tedy nepodmiňují plynulý průběh montáže. Pořadí montáže jednotlivých modulů na zařízení je uvedeno na obrázku 34.

Díky rozboru technologického postupu montáže jsou identifikovány moduly, které mohou vytvářet úzká místa ve výrobním procesu v případě zpoždění nebo jejich nedodání. Mezi potenciálně problematické moduly patří i s ohledem na plán montáže: transportní jednotka, jednotka pro výrobu ventilu, jednotka vyrábějící dno a hrdlo pytle, pásový dopravník z důvodu, že jsou montovány v první polovině montážního procesu a v poměrně krátké sekvenci.

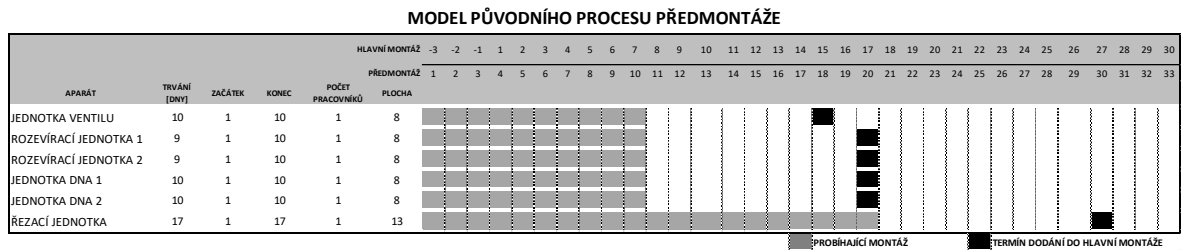


Obr. 34: Standardní pořadí montáže jednotlivých modulů

1- odvíjecí jednotka, 2 – mikroperforační jednotka, 3- příčná řezací jednotka, 4 – transportní jednotka, 5 – jednotka vytvářející ventil, 6 – odvíječ pro jednotku vytvářející ventil, 7 – jednotka skládající dno, 8 – odvíječ pro jednotku skládající dno, 9 – pásový dopravník, 10 – kontrolní a separační jednotka, 11 – stohovací jednotka

## 10.2 Model předmontáže

Po komplexním pohledu na výrobní proces byla provedena analýza samotného úseku předmontáže modulů a popsán její obsah. V rámci předmontáže modulů jsou jednotlivé jednotky vstupující do montáže stroje rozděleny v některých případech na další dílčí podsestavy. Původní plán montáže počítá s faktem, že každý modul případně podskupina má pracovníka, který vždy provádí danou část montáže. Časový průběh předmontáže ve dnech ilustruje obrázek níže (Obr. 35).



Obr. 35: Model předmontáže modulů

Ze schématu předmontáže modulů je patrné nevhodné rozložení montáže. Z toho principu, že dokončení montáže jednotlivých modulů nebo podskupin nekorresponduje s požadavkem montáže stroje. V případě dodržení původního plánu vznikají velké časové prodlevy mezi dokončením modulu a jeho předáním do montáže zařízení. Tato strategie je považována za neefektivní, protože rozpracované moduly je nutné někde skladovat. Dále jsou v takto rozpracovaných modulech vázány např. finanční prostředky po dobu, která není nezbytně nutná což negativně ovlivňuje účetní ukazatele. Start předmontáže všech modulů v jeden okamžik bez ohledu na požadavek pomyslného zákazníka – montáže stroje s sebou přináší značnou spotřebu lidských kapacit.

## 11 ANALÝZA ČASOVÉ STRUKTURA MONTÁŽE

Po dílčím rozboru výchozí situace a povahy zařízení. Byla provedena analýza časové struktury montáže, a to za pomoci metod vycházejících ze snímkování pracovního dne. Analýza časové struktury výrobního procesu má především potvrdit či vyvrátit, zda je reálný výrobní proces v souladu s předloženými plány uvedenými v předchozích kapitolách. V případě, že plán a průběh montáže spolu nekorespondují nalézt za pomoci časové studie úzká místa a potenciály ke zlepšení situace. Snímkování pracovního dne také může odhalit, že plán montáže je zastaralý, tedy např. nekoresponduje s konstrukčními změnami, které byly na zařízení provedeny, nebo nevyhovující. Analýza pracuje především s předpokladem, že velké jednotky budou významně ovlivňovat průběh montáže hlavního stroje.

### 11.1 Analýza montáže stroje

Analýza montáže stroje vycházela z dat nasbíraných pomocí souboru Mapování montáže. Mapování montáže je interním projektem společnosti. Do souboru pro jednotlivá výrobní střediska zadávají zodpovědní pracovníci požadované informace (činnosti vykonávané daný den, počet pracovníků, počet odpracovaných hodin, poznámky o nestandardních situacích apod.). Výňatek z Mapování montáže, které je jedním z hlavních zdrojů dat je přílohou č. 1 této práce. S ohledem na požadavky moderního řízení výroby jsou tyto soubory vedeny v elektronické podobě.

Dále byly pro analýzu montáže stroje využity data ze systému SAP, především evidence odpracovaných hodin. Vzhledem k tomu, že za evidování odpracovaných hodin do SAP systému jsou zodpovědní jednotliví pracovníci setkáváme se s poměrně značnými nepřesnostmi, které nebyly vždy včas korigovány. Z tohoto důvodu je právě mapování montáže spolehlivějším zdrojem dat, který dokáže lépe reflektovat reálnou situaci. Ze systému SAP dále není možné vysledovat příčiny zastavení montáže – zdroje úzkých míst.

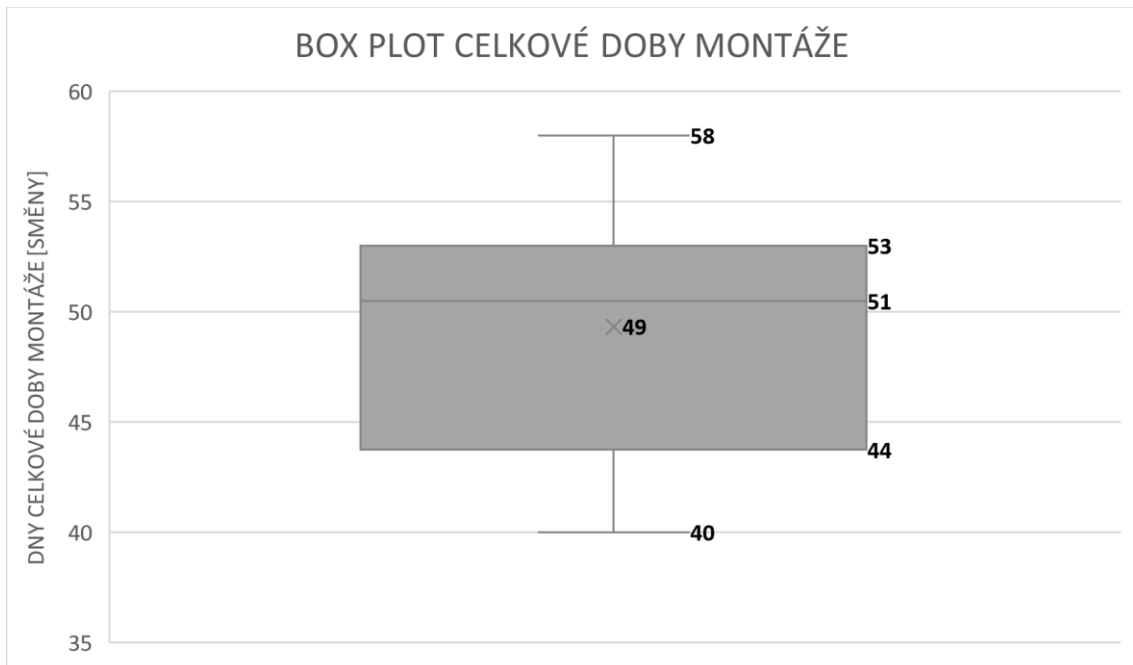
Souhrnem nasbíraných dat z první časové studie je Tab. 1 Analýza průběhu montáže níže. Z této tabulky je možné vysledovat na vzorku 12 strojů z prvního pololetí 2019 celkovou průběžnou dobu montáže, délku samotné montáže stroje a rozložení jednotlivých důvodů zastavení.

Tab. 1: Analýza délky montáže stroje

STROJ	CELKOVÁ DOBA MONTÁŽE	TRVÁNÍ	TRVÁNÍ	TRVÁNÍ	TRVÁNÍ	TRVÁNÍ	STOPMONTÁŽ
		ZASTAVENÍ - PŘEDMONTÁŽ	ZASTAVENÍ - LOGISTIKA	ZASTAVENÍ - KVALITA	ZASTAVENÍ - JINÉ	ZASTAVENÍ - ELEKTRO	
Stroj 1	49						0
Stroj 2	51	5					5
Stroj 3	50	4	9				13
Stroj 4	55	12				1	13
Stroj 5	53					4	4
Stroj 6	46	1			1		2
Stroj 7	40					1	1
Stroj 8	43					4	4
Stroj 9	43						0
Stroj 10	51	3		1		3	7
Stroj 11	53	13					13
Stroj 12	58	14					14

\* Hodnoty udávají počet pracovních směn (směna = 8 hodin)

Výše uvedená data jsou ilustrací výchozí situace a slouží především pro identifikaci omezení.



Obr. 36: Box plot

## 11.2 Identifikace úzkých míst

Pro identifikaci úzkých míst jsou využita data nasbíraná při analýze montáže stroje (Tab.1). Úzká místa jsou identifikována na základě několikastupňového statistického vyhodnocení nasbíraných dat.

### 11.2.1 Přehled četností zastavení montáže

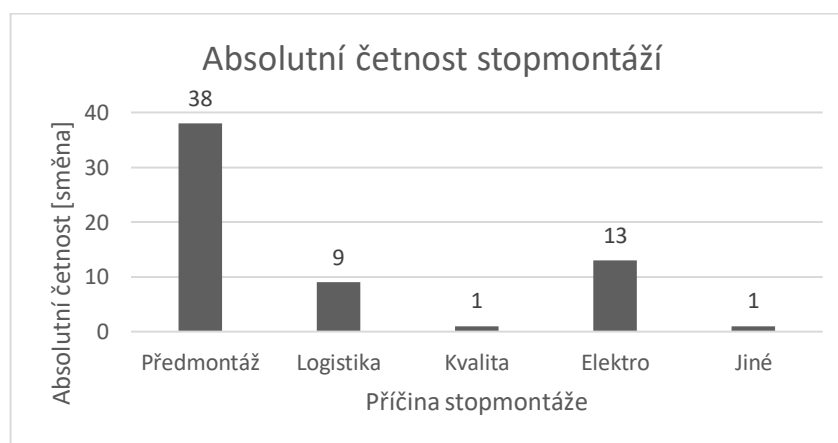
Pro lepší interpretaci získaných dat a demonstraci aktuálního stavu výrobního procesu byly využity statistické metody související především s četností jednotlivých variant. Pro určení absolutní a relativní četnosti jednotlivých příčin zastavení montáže byla data z *Tab. 1: Analýza délky montáže stroje* uspořádány do *Tab. 2: Absolutní a relativní četnosti*, která reprezentuje zastoupení jednotlivých příčin přerušení výroby.

*Tab. 2: Absolutní a relativní četnosti*

Příčina stopmontáže	Absolutní četnost $n_i$	Relativní četnost $p_i$	Procentuální vyjádření
Předmontáž	38	0.61	61.29%
Logistika	9	0.15	14.52%
Kvalita	1	0.02	1.61%
Elektro	13	0.21	20.97%
Jiné	1	0.02	1.61%
<b>Celkem</b>	<b>62</b>	<b>1.00</b>	<b>100.00%</b>

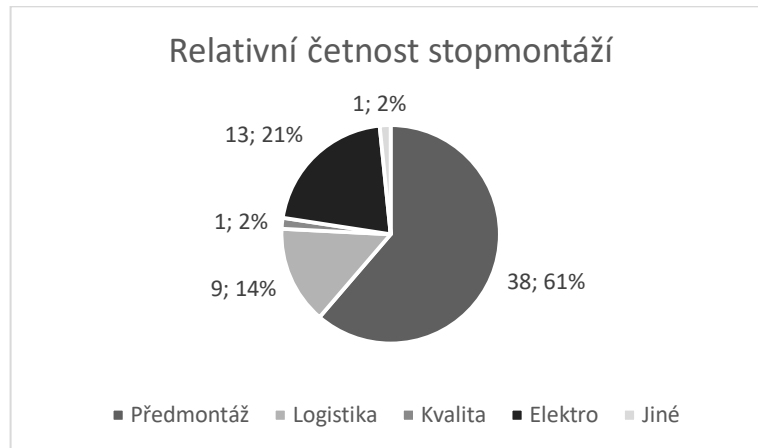
\*  $n_i$  uvedena ve směnách (směna 8 hodin)

Data z tabulky 2 (Tab. 2 Absolutní a relativní četnosti) je možné vizualizovat pomocí histogramu, který reprezentuje hodnoty absolutní četnosti stopmontáží.



*Obr. 37: Absolutní četnost stopmontáží*

Pomocí výsečového grafu je možné znázornit jaký podíl tvoří jednotlivé druhy zastavení montáže z celkového přerušování výroby.



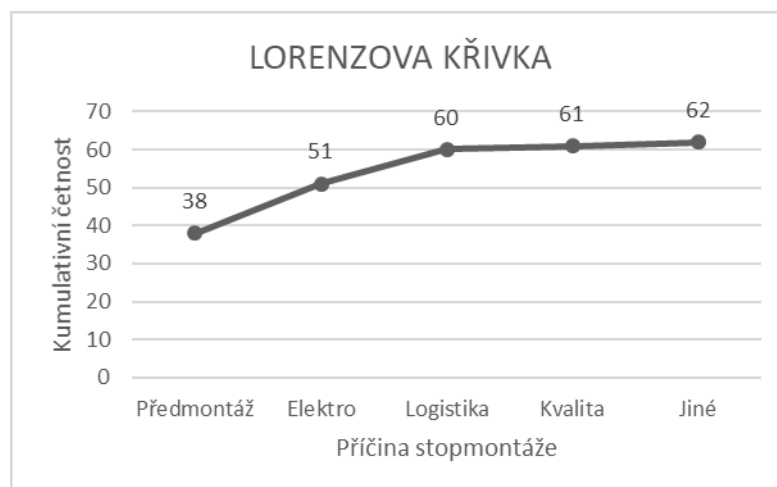
Obr. 38: Relativní četnost stopmontáží

Uspořádání získaných dat je základem pro sestavení Lorenzovy křivky, která je následně využita při sestavení Paretova diagramu.

Tab. 3: Kumulativní četnosti

Příčina stopmontáže	Absolutní četnost $n_i$	Kumulativní četnost
Předmontáž	38	38
Elektro	13	51
Logistika	9	60
Kvalita	1	61
Jiné	1	62
<b>Celkem</b>	<b>62</b>	

\*  $n_i$  uvedena ve směnách (směna 8 hodin)



Obr. 39: Lorenzova křivka

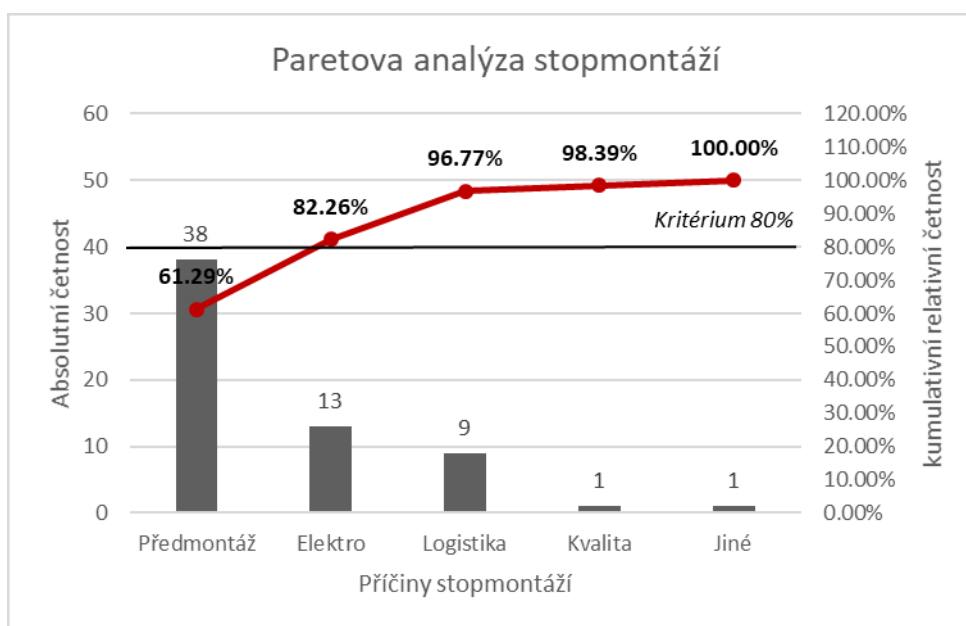
### 11.2.2 Paretova analýza

Pro identifikování klíčové problematické oblasti byla využita Paretova analýza. V první kroku byla zpracována a uspořádána data (Tab. 4: Data pro Paretovu analýzu) a následně byl na základě těchto dat sestaven Paretův diagram (Obr. 40).

Tab. 4: Data pro Paretovu analýzu

Příčina stopmontáže	Absolutní četnost $n_i$	Kumulativní četnost	Relativní četnost $p_i$	Kumulativní relativní četnost
Předmontáž	38	38	61.29%	61.29%
Elektro	13	51	20.97%	82.26%
Logistika	9	60	14.52%	96.77%
Kvalita	1	61	1.61%	98.39%
Jiné	1	62	1.61%	100.00%
<b>Celkem</b>	<b>62</b>		<b>100.00%</b>	

\* četnosti uvedeny ve směnách (směna = 8 hodin)



Obr. 40: Paretův diagram

Na základě časové analýzy stroje je možné identifikovat následující úzká místa (seřazena podle závažnosti):

- dodávky z předmontáže,
- elektropráce,
- logistika.



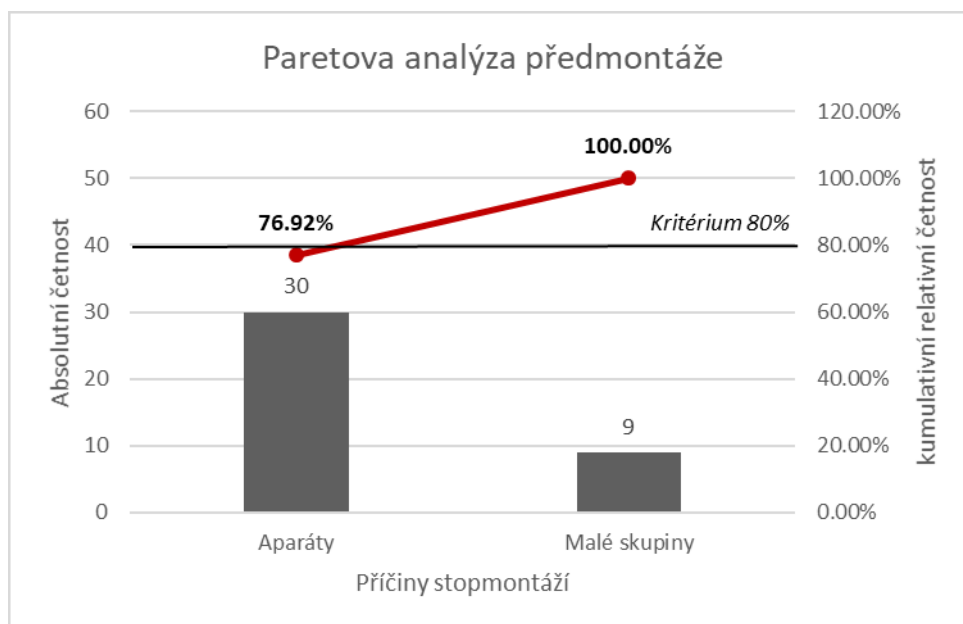
Předmětem diplomové práce je studium pouze primárního úzkého místa – dodávek z předmontáže. Následující identifikovaná úzká místa mohou být předmětem dalšího zkoumání.

Z důvodu, že problematika předmontáže je stále poměrně široká. Byla předmontáž rozdělena na dvě dílčí skupiny: aparáty a malé skupiny. Aparáty obsahují velké montážní celky s délkou montáže delší než 3 dny. Malé skupiny jsou všechny ostatní celky, jejichž montáž nepřesahuje limit 3 dnů. Pro ilustraci situace je sestavena Paretova analýza i pro tyto dvě skupiny (Tab. 5 a Obr. 41)

Tab. 5: Paretova analýza dílčí předmontáže

Příčina stopmontáže	Absolutní četnost $n_i$	Kumulativní četnost	Relativní četnost $p_i$	Kumulativní relativní četnost
Aparáty	30	30	76.92%	76.92%
Malé skupiny	9	39	23.08%	100.00%
Celkem	39		100.00%	

\* četnosti uvedeny ve směnách (směna = 8 hodin)



Obr. 41: Paretoův diagram pro předmontáž

Paretova analýza předmontáže potvrzuje hypotézu, že zásadním úzkým místem výrobního procesu je montáž aparátů, které jsou významně technicky a montážně obsáhlejší než tzv. malé skupiny.

### 11.2.3 Koeficient růstu

Dalším statistickým aparátem využitelným ve výrobním inženýrství je koeficient růstu. Koeficientem růstu je v případě této diplomové práce vyjádřena změna délky montáže oproti přecházející zakázce a oproti normě. Pomocí koeficientu růstu je možné sledovat vliv přijatých opatření na výrobní proces.

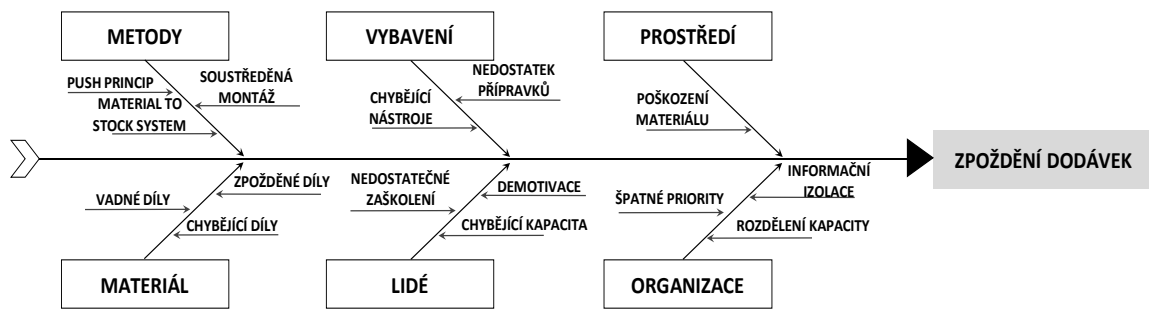
Tab. 6: Přehled jednotlivých koeficientů růstu

STROJ	CELKOVÁ DOBA MONTÁŽE	KOEFICIENT RŮSTU VŮČI PŘEDCHOZÍ ZAKÁZCE	RELATIVNÍ PŘÍRŮSTEK VŮČI PŘEDCHOZÍ ZAKÁZCE	KOEFICIENT RŮSTU VŮČI NORMĚ	RELATIVNÍ PŘÍRŮSTEK VŮČI NORMĚ
<b>NORMA</b>	<b>40</b>				
Stroj 1	49			1.23	22.50%
Stroj 2	51	1.04	4.08%	1.28	27.50%
Stroj 3	50	0.98	-1.96%	1.25	25.00%
Stroj 4	55	1.10	10.00%	1.38	37.50%
Stroj 5	53	0.96	-3.64%	1.33	32.50%
Stroj 6	46	0.87	-13.21%	1.15	15.00%
Stroj 7	40	0.87	-13.04%	1.00	0.00%
Stroj 8	43	1.08	7.50%	1.08	7.50%
Stroj 9	43	1.00	0.00%	1.08	7.50%
Stroj 10	51	1.19	18.60%	1.28	27.50%
Stroj 11	53	1.04	3.92%	1.33	32.50%
Stroj 12	58	1.09	9.43%	1.45	45.00%

\* celková doba montáže uvedena ve směnách (směna = 8 hodin)

### 11.3 Analýza kořenových příčin

Na základě prvotní analýzy vstupních dat se podařilo identifikovat oblast, která se významnou měrou podílí na nestandardním a příliš dlouhém průběhu montáže stroje, která se následně negativně podepisuje na nákladech a termínové spolehlivosti. Identifikovaná oblast stále podléhá širokému spektru vlivů a je nutné identifikovat hlavní zdroje komplikací a nestandardních situací. Pro rozbor situace v rámci oblasti předmontáže byla zvolena metoda Ishikawova diagramu rybí kosti, která dobře mapuje příčiny problémů. Sestavení diagramu (Obr. 42) bylo výsledkem opakovaných Brainstormingů s celým projektovým týmem, kdy předmětem jednotlivých Workshopů byla vždy jedna oblast.



Obr. 42: Aplikace Ishikawova diagramu rybí kosti

V rámci organizace byly nastaveny priority vycházející z Ishikawova diagramu rybí kosti pro konkrétní situaci. Jednotlivé oblasti byly k řešení seřazeny takto:

- 1) organizace,
- 2) metody,
- 3) lidé,
- 4) materiál,
- 5) vybavení,
- 6) prostředí.

Na základě tohoto pořadí jsou následně jednotlivé oblasti detailně rozpracovány a řešeny. Předmět diplomové práce je především oblast první – organizace, která se částečně promítá do tématu metody. Na mnoho otázek spojených s organizací v rámci výrobního podniku poskytují odpověď statistické metody. Tento fakt je demonstrován dále v praktické části této práce.

## 12 ANALÝZA ČASOVÉ STRUKTURY PŘEDMONTÁŽE

Vzhledem k faktu, že analýza úzkých míst potvrdila hypotézu, že předmontáž modulů nemá ideální výchozí plán a pravděpodobně ani v rámci tohoto plánu neprobíhá a tím pádem způsobuje problémy v montáži samotného stroje, proběhla v rámci projektu detailní časová studie této části výrobního procesu.

Pro jednotlivé moduly byly, na stejném vzorku jako v případě rozboru průběhu montáže, získány doby montáže jednotlivých modulů. Tato data jsou z SAP systému. Datový soubor je bohužel neúplný, protože v některých případech došlo k tomu, že nebyly zadány příslušné časy při montáži zakázek.

### 12.1 Analýza časových řad

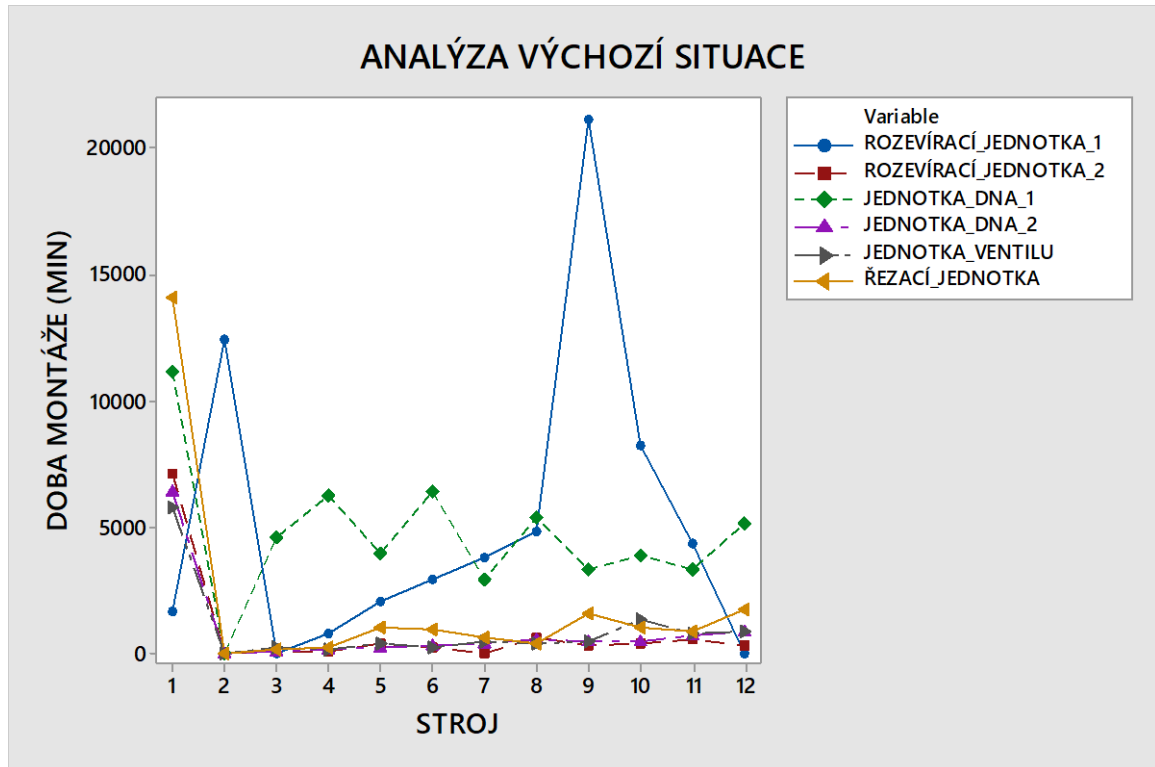
Statistická analýza je postavena především na analýze získaných časových řad. V tabulce níže jsou uvedena data, která byla nasbírána původním procesem sledování práce v podniku. Tato data byla následně dále zpracována v programu MS Excel a Minitab.

Tab. 7: Doba trvání montáže modulů z SAP [min]

ANALÝZA VYCHOZÍ SITUACE						
STROJ	ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 1	ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 2	JEDNOTKA DNA 1	JEDNOTKA DNA 2	JEDNOTKA VENTILU	ŘEZACÍ JEDNOTKA
Stroj 1	1647.6	7150.8	11173.2	6423	5766.6	14104.8
Stroj 2	12389.4	0	0	0	0	0
Stroj 3	0	38.3	4560.6	73.42	203.84	177.35
Stroj 4	806.4	109.74	6259.8	165.6	161.64	252.38
Stroj 5	2032.2	416.97	3934.8	203.64	404.37	1041.63
Stroj 6	2907	224.28	6436.8	291.64	259.8	946.52
Stroj 7	3822.6	0	2946	414.1	467.4	608.4
Stroj 8	4814.4	602.1	5386.2	561.06	402.18	424.56
Stroj 9	21102.6	324.17	3348.6	438.62	479.85	1610.56
Stroj 10	8237.4	357.6	3886.8	463.68	1332.24	999.12
Stroj 11	4338	569.25	3338.4	718.56	771.66	841.32
Stroj 12	0	332.1	5126.4	838	851.1	1714

\* hodnoty jsou uvedeny v minutách

V softwaru Minitab byla provedena analýza výchozích dat. Z grafu na obrázku č. 43 níže je zřejmé, že data mají velký rozptyl a obsahují odlehlá pozorování nebo hrubé chyby.



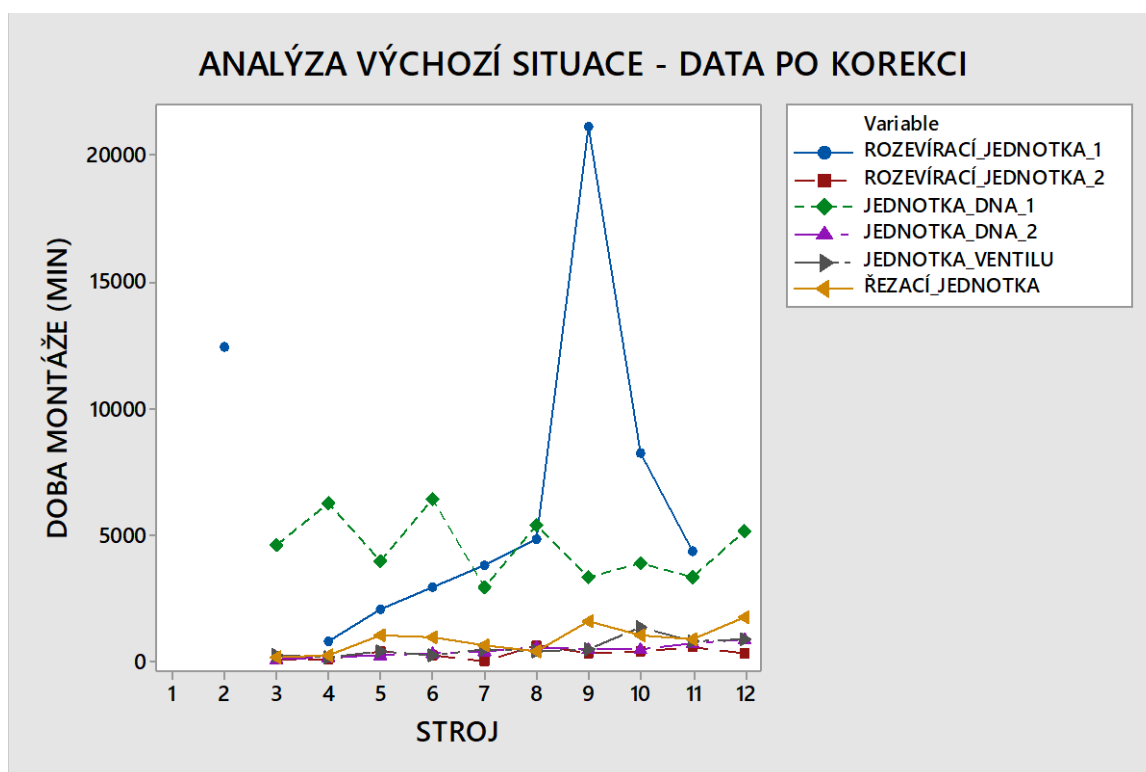
Obr. 43: Grafické vyhodnocení výchozí situace

Z výše popsanych důvodů byla provedena korekce dat, kdy byla ze souboru odstraněna odlehlá pozorování a nulové hodnoty. Soubor dat po korekci je uveden v tabulce č. 8.

Tab. 8: Korekce dat

↓	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	STROJ	ROZEVÍRACÍ_JEDNOTKA_1	ROZEVÍRACÍ_JEDNOTKA_2	JEDNOTKA_DNA_1	JEDNOTKA_DNA_2	JEDNOTKA_VENTILU	ŘEZACÍ_JEDNOTKA
1	Stroj 1	*	*	*	*	*	*
2	Stroj 2	12389,4	*	*	*	*	*
3	Stroj 3	*	38,30	4560,6	73,42	203,84	177,35
4	Stroj 4	806,4	109,74	6259,8	165,60	161,64	252,38
5	Stroj 5	2032,2	416,97	3934,8	203,64	404,37	1041,63
6	Stroj 6	2907,0	224,28	6436,8	291,64	259,80	946,52
7	Stroj 7	3822,6	0,00	2946,0	414,10	467,40	608,40
8	Stroj 8	4814,4	602,10	5386,2	561,06	402,18	424,56
9	Stroj 9	21102,6	324,17	3348,6	438,62	479,85	1610,56
10	Stroj 10	8237,4	357,60	3886,8	463,68	1332,24	999,12
11	Stroj 11	4338,0	569,25	3338,4	718,56	771,66	841,32
12	Stroj 12		332,10	5126,4	838,00	851,10	1714,00

Následně byla provedena druhá analýza výchozí situace vycházející z korigovaného souboru dat. Výsledkem analýzy je graf na Obr. 44. I po korekci je zřejmé, že původní systém sběru dat nebyl funkční, vzhledem k velkým rozptylům a např. i kvůli rozdílům mezi párovými jednotkami, které by měly být montážně obdobně náročné.



Obr. 44: Vyhodnocení dat po korekci

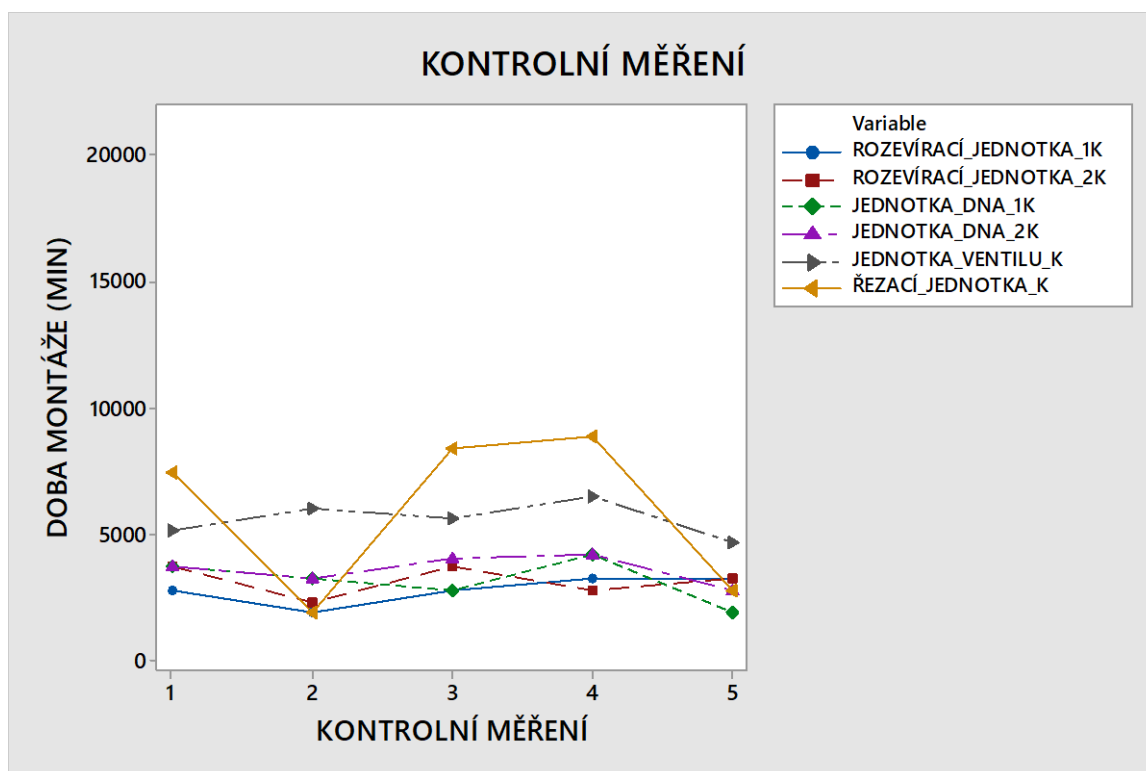
S ohledem na neúplnost systémových dat a jejich rozptyl probíhalo další měření na novém vzorku strojů. Měření bylo prováděno obdobně jako analýzy montáže stroje, ale s jiným sledovacím nástrojem. Principem, ale i přes tuto odlišnost, zůstává metodologie snímkování pracovního dne. Data z kontrolního měření jsou uvedena v tabulce 9.

Tab. 9: Ověřovací měření doby předmontáže modulů [min]

STROJ	KONTROLNÍ MĚŘENÍ					
	ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 1	ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 2	JEDNOTKA DNA 1	JEDNOTKA DNA 2	JEDNOTKA VENTILU	ŘEZACÍ JEDNOTKA
K1	2790	3720	3720	3720	5115	7440
K2	1860	2325	3255	3255	6045	1860
K3	2790	3720	2790	4065	5580	8370
K4	3255	2790	4185	4185	6510	8835
K5	3255	3255	1860	2790	4650	2790

\* hodnoty jsou uvedeny v minutách

Zpracovaná data z kontrolního měření potvrzují hypotézu, že původní soubor dat pro analýzu výchozí situace je nevhodný a původní systém evidence je nefunkční. Kontrolní měření poskytlo průkazné informace u všech dílčích jednotek s výjimkou řezací jednotky, která vykazuje stále velký rozptyl naměřených hodnot. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k opětovnému měření na dalším vzorku řezacích jednotek. Mimo kontrolní měření se přistoupeno k zavedení nového systému evidence a kontroly spotřeby času. Na pracovišti předmontáže bylo zavedeno detailní sledování průběhu montáže pomocí plánu, do kterého jsou následně zaznamenávány reálně odpracované časy (Příloha PII). Dále bylo zavedeno kapacitní plánování, které obsahuje následně i informace o skutečně odpracovaných časech (Příloha PIII). Informace se v obou souborech částečně překrývají, nicméně tento fakt napomáhá dvojité kontrole a stabilizaci systému.



Obr. 45: Grafické vyhodnocení kontrolního měření

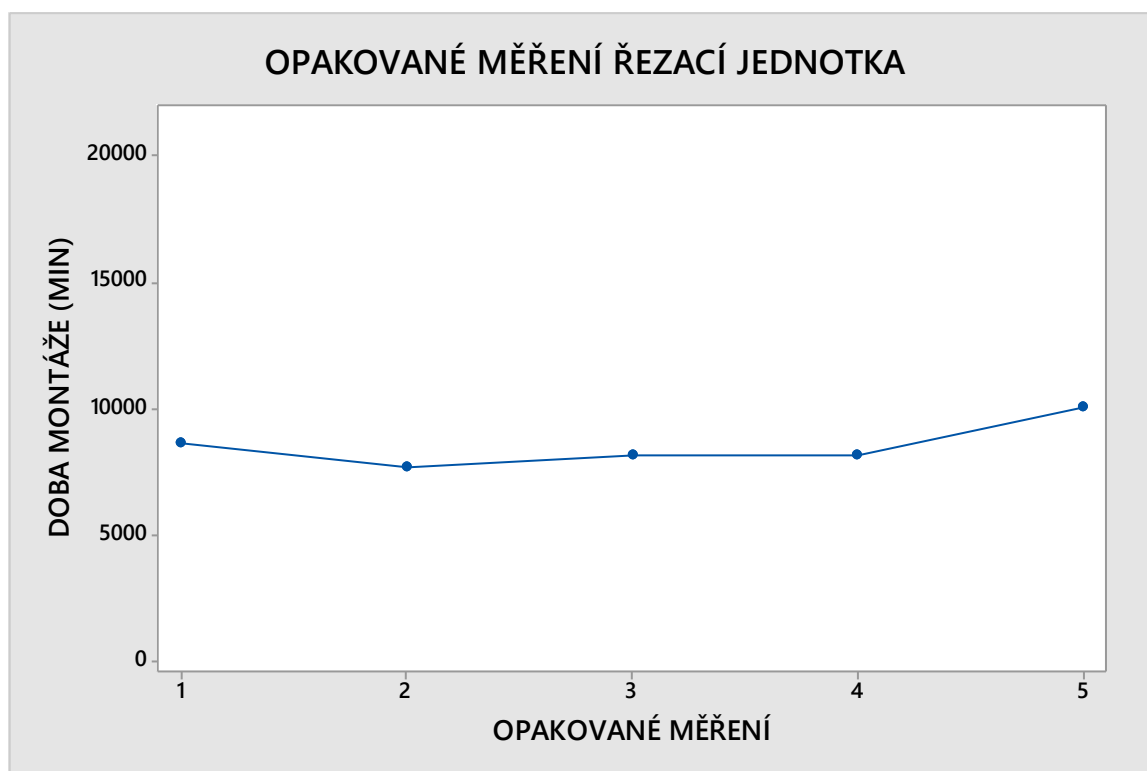
Tabulka 10 uvádí přehled naměřených hodnot při opakovaném měření časové spotřeby montáže řezacích jednotek.

Tab. 10: Opakované měření

OPAKOVANÉ MĚŘENÍ ŘEZACÍ JEDNOTKA	
STROJ	DOBA
O1	8640
O2	7680
O3	8160
O4	8160
O5	10080

\* uvedené hodnoty jsou v minutách

Data zpracovaná v softwaru Minitab již vykazují statisticky vhodné charakteristiky. Opakované měření úspěšně doplnilo soubor informací, které byly výchozí pro další postup při řešení projektu.



Obr. 46: Grafické vyhodnocení opakovaného měření řezací jednotky



Předchozí analýza dat poukazuje mimo jiné na to, jak významnou roli hraje kvalita datového souboru se, kterým je pracováno a jakým způsobem ovlivňuje špatná metodika sběru nebo neefektivní proces sledování požadovaných dat konečné výstupy ze statistického šetření. Výsledky z analýzy časových řad a dlouhodobé sledování montáže hlavního stroje umožnilo vytvořit kapacitní plán výroby (Příloha PIV) a posloužily mimo jiné jako základ pro vyhodnocování Klíčových ukazatelů výkonnosti – KPIs (Příloha PV).

## 12.2 Výsledky statistického šetření

Data vyhodnocená v kapitole 12.1 umožnila určit standardní dobu montáže velkých jednotek, které významně ovlivňují průběh celé další montáže. Na základě dat z vyhodnocení byly nastaveny časové normy pro montáž jednotlivých jednotek. S ohledem na párovost zařízení byla vždy zvolena vyšší hodnota.

Tab. 11: Výsledky statistického šetření

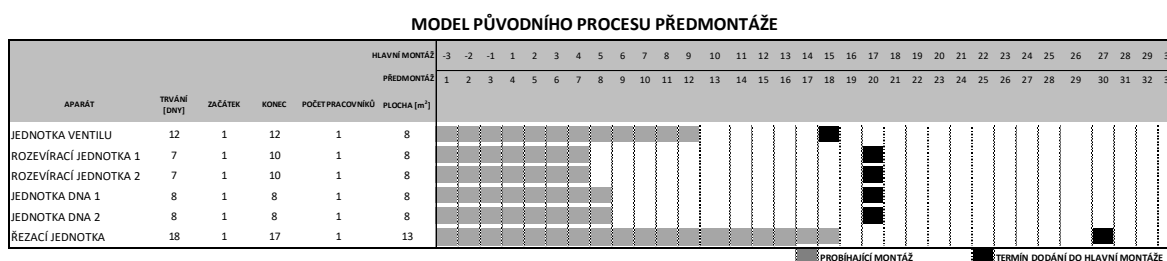
		STANDARDNÍ DOBA MONTÁŽE	NASTAVENÁ NORMA
ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 1		6	7
ROZEVÍRACÍ JEDNOTKA 2		7	7
JEDNOTKA DNA 1		7	8
JEDNOTKA DNA 2		8	8
JEDNOTKA VENTILU		12	12
ŘEZACÍ JEDNOTKA		18	18

\* hodnoty uvedeny ve směnách (směna = 8 hodin)

### 13 NÁVRHY NOVÝCH PLÁNŮ MONTÁŽE

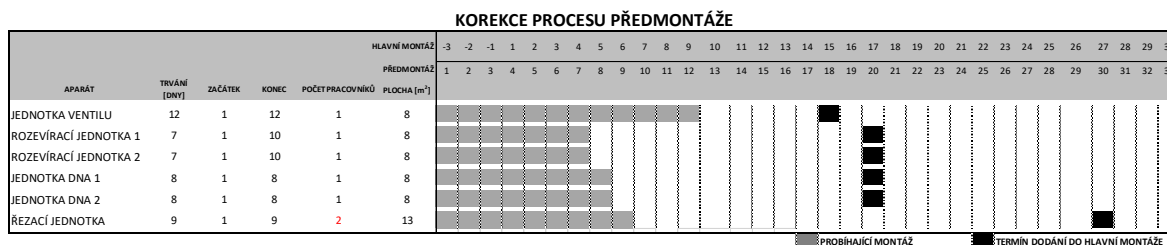
Na základě analýzy nasbíraných dat výchozí situace byly vytvořeny tři samostatné návrhy reorganizace původního plánu předmontáže. Jednotlivé plány zohledňují dílčí kritéria a to časovou úsporu, úsporu lidských kapacit a úsporu pracovní plochy. Zadavatel projektu si může na základě vlastních preferencí zvolit model, který nejlépe vyhovuje jeho strategii při minimalizování nákladů.

Při sestavování nových plánů montáže byl nejprve sestaven původní plán montáže s reálnou dobou montáže jednotlivých jednotek. Plán je zobrazen na obrázku 47.



Obr. 47: Reálný model původního procesu montáže

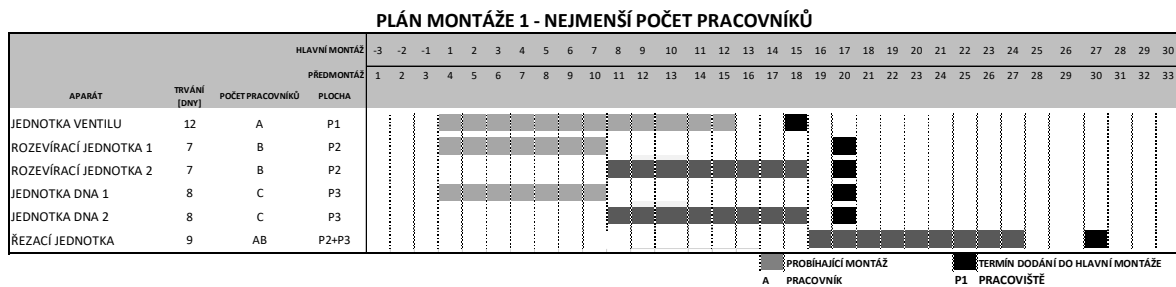
Z původního reálného plánu montáže je patrné, že nejdelší doba montáže se vyskytuje u řezací jednotky. Z důvodu, aby byly doby jednotlivých montáží co nejvíce podobné se přistoupilo k opatření, které zkrátilo průběžnou dobu montáže řezací jednotky na polovinu. Opatřením bylo posílení stávajícího pracovníka dalším kolegou. Plán montáže s korekcí je uveden na obrázku 48.



Obr. 48: Plán s korekcí procesu montáže

### 13.1 Plán montáže s ohledem na úsporu lidských kapacit

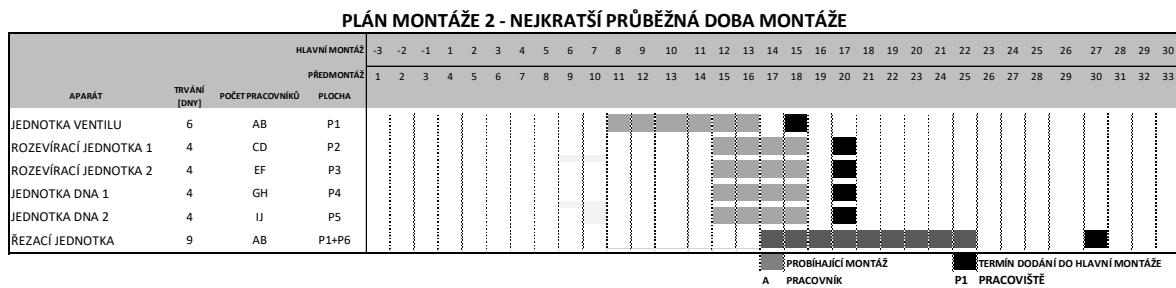
První plán montáže pracuje s úsporou v oblasti lidských kapacit. Tento plán montáže reaguje na aktuální situaci na trhu práce, kdy je problematické nalézt dostatečně kvalifikované pracovníky pro navyšování výrobních kapacit. Cílem tohoto plánu není snižovat aktuální stav pracovníku, ale minimalizovat požadavek na navyšování personálního obsazení stávající výrobní základny při navyšování počtu zakázek.



Obr. 49: Plán montáže 1

### 13.2 Plán montáže s ohledem na časovou úsporu

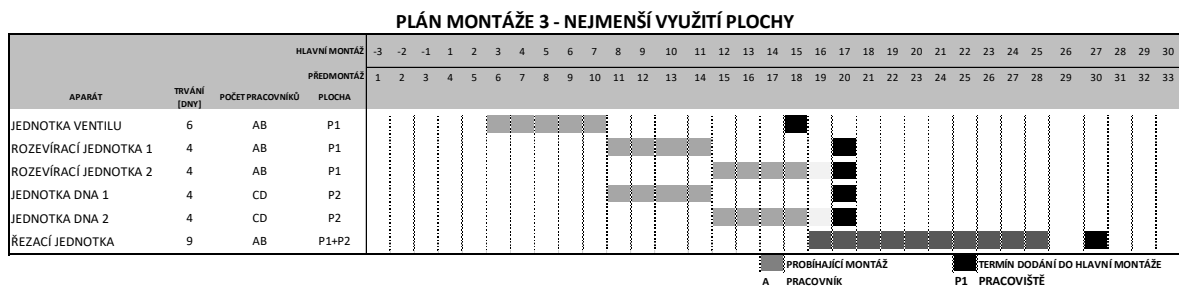
Níže popsany plán montáže je zaměřený na redukci průběžné délky trvání montáže. Prioritou je minimalizovat čas, který zakázka stráví ve výrobě. Ostatní parametry jako je počet pracovníků nebo zabraná výrobní plocha jsou v tomto případě druhotné.



Obr. 50: Plán montáže 2

### 13.3 Plán montáže s ohledem na úsporu pracovní plochy

Poslední navrhovaný plán montáže se věnuje maximalizaci úspor výrobní plochy. V tomto případě je plán výroby postaven tak, aby montáž zabírala konstantně co nejméně fyzického prostoru ve výrobní zóně. U tohoto plánu je evidentní, že 3 moduly budou dokončeny podstatně dříve než je požadováno (obdobná situace nastává u plánu 1, kde se jedná o dva moduly). Oproti původnímu plánu je tento fakt upozaděn, protože jednotky je na potřebnou dobu možné umístit do montáže celého stroje místo dílů, které byly již instalovány.



Obr. 51: Plán montáže 3

### 13.4 Vzájemné porovnání navrhovaných plánů montáže

Pro přehlednější orientaci v parametrech jednotlivých navrhovaných plánů byla sestavena tabulka s porovnáním jejich dílčích náležitostí, která je má přehledně kvantifikovat a usnadnit následný rozhodovací proces. Dle priorit organizace je následně možné vybrat vhodné montážní schéma.

Tab. 12: Porovnání jednotlivých návrhů

POROVNÁNÍ KAPACITNÍCH NÁROKŮ JEDNOTLIVÝCH VARIANT			
	POČET PRACOVNÍKŮ	PRŮBĚŽNÁ DOBA PŘEDMONTÁŽE	POČET MONTÁŽNÍCH BOXŮ
<b>PLÁN 1 - NEJMENŠÍ POČET PRACOVNÍKŮ</b>	3	24	3
<b>PLÁN 2 - NEJKRATŠÍ PRŮBĚŽNÁ DOBA MONTÁŽE</b>	10	15	6
<b>PLÁN 3 - NEJMENŠÍ POTŘEBA PLOCHY</b>	4	23	2

\* průběžná doba uvedena ve směnách (směna = 8 hodin)

\* hodnota plochy (počet pracovišť)

## ZÁVĚR

Je pozitivní, že praktická část této práce naplnila beze zbytku své cíle. Díky stabilizaci předmontáže, především za pomoci statistických metod, které poukázaly na problémy a vytvořily obraz o reálné situaci, byla významně zkrácena doba montáže hlavního stroje. Vzhledem k tomuto faktu nebylo nutné navyšovat lidské kapacity a prostory i při růstu objemu výroby.

V praktické části práce je názorně poukázáno na to, že oblast, která se jeví jako problémová (v tomto případě hlavní montáž, která významně překračovala normu) nemusí být sama o sobě v žádném případě zdrojem problému. Diplomová práce se věnuje pouze části z celé problematiky předloženém projektu, jak bylo zmíněno především organizaci a metodám hlavně předmontáže. Nicméně celý výrobní proces je mnohem komplikovanější a působí na něj mnoho dalších vlivů, které nebyly analyzovány v práci – zaškolení pracovníků a zvyšování jejich kvalifikace, fluktuace, materiálová logistika, kontrola kvality zpracovávaných dílců atd. Na tyto proměnné poukazuje případ řezací jednotky u které bylo nutné navýšit počet pracovníků, aby byla průběžná doba montáže zkrácena a s tím samozřejmě souvisí reorganizace kapacit a zvýšení kvalifikace pracovníků.

Přínosem je i situace, která nastala při analýze výchozí situace, kde se prokázalo, že prvotní data jsou nevhodná pro další zpracování a bylo nutné přistoupit k několika opakovaným měřením. Tato situace jenom potvrzuje jak významnou roli hraje to s jakými daty je pracováno a jak je důležité postupovat správně při jejich sběru tak, aby byla opravdu průkazná. Tento případ ilustruje jak změna metodiky sběru dat významně ovlivní výsledky. Na praktické aplikaci jednotlivých metod, nástrojů a přístupů k modernímu průmyslovému inženýrství je vidět jak tyto metody a nástroje fungují v kontextu reálných situací a při řešení reálných problémů. Na příkladu z reálného výrobního závodu je zřejmé, že je možné kombinovat různé přístupy vzhledem k potřebám dané situace, ale zároveň se dopracovat k uspokojivým výsledkům.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] NOVÁK, Josef. Organizace a řízení. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1223-1.
- [2] KŘÍKAČ, Karel. Organizace a řízení výroby: metodická a studijní pomůcka. 2., rozš. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-616-5.
- [3] JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80\_214-3946-7.
- [4] TRÁVNÍK, Arnošt a Jaroslav SVOBODA. Organizace a řízení výrobního provozu. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-190-6.
- [5] NBAUDIN, Michael. Lean Assembly: The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow. 1. Productivity Press, 2002. ISBN 978-1563272639.
- [6] VIGNER, Miloslav. Metodika projektování výrobních procesů. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [7] DILLINGER, Josef. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [8] DENKENA, Berend, Marc-André DITTRICH a Sören WILMSMEIER. Automated production data feedback for adaptive work planning and production control. *Procedia Manufacturing* [online]. 2019, 28, 18-23 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.12.004. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918313465>
- [9] BALOG, Michal, Lucia KNAPČÍKOVÁ a Jozef HUSÁR. Plánovanie v strojárскеj výrobe. Brno: Tribun EU, 2016. ISBN 978-80-263-1078-5.
- [10] LHOTSKÝ, Oldřich. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI, 2005. Lidské zdroje. ISBN 80-7357-095-5.
- [11] NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.

- [12] GOLDRATT, Eliyahu M. a Jeff COX. The Goal: A Process of Ongoing Improvement. Third revised edition. North River Press; 30th Anniversary Edition edition, 2014. ISBN 978-0884271956..
- [13] SCHONBERGER, Richard J. Best Practices in Lean Six Sigma Process Improvement a Deeper Look. 1. New Jersey: John Wiley, 2008. ISBN 978-0-470-16886-8.
- [14] MEHDIYEV, Nijat, Johannes LAHANN, Andreas EMRICH, David ENKE, Peter FETTKE a Peter LOOS. Time Series Classification using Deep Learning for Process Planning: A Case from the Process Industry. Procedia Computer Science [online]. 2017, 114, 242-249 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1016/j.procs.2017.09.066. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050917318707>
- [15] MILICHOVSKÝ, František a Karel KUBA. Sbíрка příkladů k předmětu Organizace přípravy výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-906-6.
- [16] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Řízení výroby. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2000. Expert (Grada). ISBN 80-7169-955-1.
- [17] ŘEZANKOVÁ, Hana, Tomáš LÖSTER a Zdeněk ŠULC. Úvod do statistiky. Vydání 2. přepracované. Praha: Oeconomica, nakladatelství VŠE, 2019. ISBN 978-80-245-2301-9.
- [18] NAVIDI, William. Statistics for Engineers and Scientists. 3. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-0-07337633-2.
- [19] ZVÁRA, Karel a Josef ŠTĚPÁN. Pravděpodobnost a matematická statistika. Šesté vydání. Praha: Matfyzpress, 2019. ISBN 978-80-7378-388-4.
- [20] ANDĚL, Jiří. Statistické metody. Páté vydání. Praha: Matfyzpress, 2019. ISBN 978-80-7378-381-5..
- [21] MORRISON, S.J. Statistics for Engineers an Introduction. 1: John Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-74556-4.



- [22] STRUCKOV, Alexey, Semen YUFA, Alexander A. VISHERATIN a Denis NASONOV. Evaluation of modern tools and techniques for storing time-series data. *Procedia Computer Science* [online]. 2019, 156, 19-28 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.125. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050919310439>
- [23] OTIPKA, Petr a Vladislav ŠMAJSTRLA. *Pravděpodobnost a statistika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1194-4.
- [24] KROPÁČ, Jiří. *Statistika B: jednorozměrné a dvourozměrné datové soubory, regresní analýza, časové řady*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-822-9.
- [25] DVOŘÁKOVÁ, Stanislava. *Statistická analýza a časové řady v příkladech*. Jihlava: Vysoká škola polytechnická Jihlava, 2015. ISBN 978-80-88064-18-3.
- [26] KŘIVÝ, Ivan. *Analýza časových řad* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2012 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://www1.osu.cz/~bujok/files/ancas.pdf>
- [27] HAASIS, Hans-Dietrich. *Produktions- und Logistikmanagement: Planung und Gestaltung von Wertschöpfungsprozessen*. 1. Wiesbaden: GWV Fachverlage, 2008. ISBN 978-3-8349-0361-7.
- [28] HÁDEK, Ladislav. *Organizace a řízení výroby II*. Ostrava: Vysoká škola podnikání, 2007. ISBN 978-80-86764-39-9.
- [29] PANDE, Pete a Larry HOLPP. *What Is Six Sigma*. 1. McGraw-Hill, 2001. ISBN 978-3-642-10783-2.
- [30] TÖPFER, Armin. *Lean Six Sigma*. 1. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-3-540-85059-5.
- [31] PUGNA, Adrian, Romeo NEGREA a Serban MICLEA. Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [online]. 2016, 221, 308-316 [cit. 2019-03-25]. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.120. ISSN 18770428. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042816301938>.

- [32] ECKES, George. Six Sigma for Everyone. 1. John Wiley, 2003. ISBN 0471281565.
- [33] WANG, Weidong, Yaoguang HU, Xi XIAO a Yu GUAN. Joint optimization of dynamic facility layout and production planning based on Petri Net. *Procedia CIRP* [online]. 2019, 81, 1207-1212 [cit. 2020-01-02]. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.293. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827119305980>
- [34] ERDIL, Ayşenur. An Evaluation on Lifecycle of Products in Textile Industry of Turkey through Quality Function Deployment and Pareto Analysis. *Procedia Computer Science* [online]. 2019, 158, 735-744 [cit. 2020-01-04]. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.109. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050919312797>
- [35] HOŁA, Bożena, Tomasz NOWOBILSKI, Iwona SZER a Jacek SZER. Identification of factors affecting the accident rate in the construction industry. *Procedia Engineering*. 2017, 208, 35-42. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.018. ISSN 18777058. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817360083>
- [36] PASTINEN, Markus. High-Performance Process Improvement. 1. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-10783-2.
- [37] TOŠENOVSKÝ, Josef. Teorie pravděpodobnosti. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 9788024825915.
- [38] LITSCHMANNOVÁ, Martina. Vybrané kapitoly z pravděpodobnosti [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/vybrane\\_kapitoly\\_pravdepodobnost.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/vybrane_kapitoly_pravdepodobnost.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Vertikální specializace výroby [3]</i> .....	13
<i>Obr. 2: Horizontální specializace výroby [3]</i> .....	14
<i>Obr. 3: Výrobní systém [4]</i> .....	14
<i>Obr. 4: Vztah objemu výroby a druhu montáže [6]</i> .....	15
<i>Obr. 5: Kvalita a její závislosti ve výrobním procesu [4]</i> .....	16
<i>Obr. 6: Rozdělení druhů montáže [6]</i> .....	17
<i>Obr. 7: Schéma montážního členění výrobku [4]</i> .....	18
<i>Obr. 8: Schéma výrobně montážního systému [6]</i> .....	19
<i>Obr. 9: Vznik a odhalení chyb ve výrobním procesu [11]</i> .....	20
<i>Obr. 10: Příklady možných průběhů výroby [2]</i> .....	21
<i>Obr. 11: Metodika studia a organizace práce [10]</i> .....	24
<i>Obr. 12: Rozdělení norem spotřeby práce [10]</i> .....	27
<i>Obr. 13: Metody měření práce [15]</i> .....	27
<i>Obr. 14: Krabicový diagram [19]</i> .....	30
<i>Obr. 15: Polygon četností [20]</i> .....	31
<i>Obr. 16: Lineární regrese [21]</i> .....	31
<i>Obr. 17: Čárový graf [20]</i> .....	33
<i>Obr. 18: Sloupcový graf [20]</i> .....	33
<i>Obr. 19: Modifikovaný exponenciální trend [26]</i> .....	36
<i>Obr. 20: Logistický trend [26]</i> .....	37
<i>Obr. 21: Gompertzův trend [26]</i> .....	37
<i>Obr. 22: Faktory ovlivňující montážní proces [6]</i> .....	38
<i>Obr. 23: Teorie omezení [12]</i> .....	39
<i>Obr. 24: PDCA cyklus [11]</i> .....	41
<i>Obr. 25: DMAIC cyklus [32]</i> .....	41
<i>Obr. 26: Příklad Ganttova diagramu [33]</i> .....	42
<i>Obr. 27: Paretův diagram [34]</i> .....	43
<i>Obr. 28: Ishikawův diagram rybí kosti [35]</i> .....	43
<i>Obr. 29: Metoda 5X PROČ? (Zdroj autor)</i> .....	44
<i>Obr. 30: Hustota pravděpodobnosti normální rozdělení [38]</i> .....	46
<i>Obr. 31. Schéma dělení výrobního procesu</i> .....	49
<i>Obr. 32. Modulární struktura zařízení (Zdroj autor)</i> .....	53

<i>Obr. 33: Standardní průběh montáže</i> .....	56
<i>Obr. 34: Standardní pořadí montáže jednotlivých modulů</i> .....	58
<i>Obr. 35: Model předmontáže modulů</i> .....	59
<i>Obr. 36: Box plot</i> .....	61
<i>Obr. 37: Absolutní četnost stopmontáží</i> .....	62
<i>Obr. 38: Relativní četnost stopmontáží</i> .....	63
<i>Obr. 39: Lorenzova křivka</i> .....	63
<i>Obr. 40: Paretův diagram</i> .....	64
<i>Obr. 41: Paretův diagram pro předmontáž</i> .....	65
<i>Obr. 42: Aplikace Ishikawova diagramu rybí kosti</i> .....	67
<i>Obr. 43: Grafické vyhodnocení výchozí situace</i> .....	69
<i>Obr. 44: Vyhodnocení dat po korekci</i> .....	70
<i>Obr. 45: Grafické vyhodnocení kontrolního měření</i> .....	71
<i>Obr. 46: Grafické vyhodnocení opakovaného měření řezací jednotky</i> .....	72
<i>Obr. 47: Reálný model původního procesu montáže</i> .....	75
<i>Obr. 48: Plán s korekcí procesu montáže</i> .....	75
<i>Obr. 49: Plán montáže 1</i> .....	76
<i>Obr. 50: Plán montáže 2</i> .....	76
<i>Obr. 51: Plán montáže 3</i> .....	77

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Analýza délky montáže stroje.....</i>	61
<i>Tab. 2: Absolutní a relativní četnosti .....</i>	62
<i>Tab. 3: Kumulativní četnosti.....</i>	63
<i>Tab. 4: Data pro Paretovu analýzu.....</i>	64
<i>Tab. 5: Paretova analýza dílčí předmontáže .....</i>	65
<i>Tab. 6: Přehled jednotlivých koeficientů růstu .....</i>	66
<i>Tab. 7: Doba trvání montáže modulů z SAP [min] .....</i>	68
<i>Tab. 8: Korekce dat .....</i>	69
<i>Tab. 9: Ověřovací měření doby předmontáže modulů [min].....</i>	70
<i>Tab. 10: Opakované měření.....</i>	72
<i>Tab. 11: Výsledky statistického šetření .....</i>	74
<i>Tab. 12: Porovnání jednotlivých návrhů .....</i>	77

## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA PI: MAPOVÁNÍ MONTÁŽE

PŘÍLOHA PII: PLÁNOVÁNÍ A EVIDENCE PŘEDMONTÁŽE

PŘÍLOHA PIII: KAPACITNÍ PLÁNOVÁNÍ

PŘÍLOHA PIV: KAPACITNÍ PLÁN VÝROBY

PŘÍLOHA PV: KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI









PŘÍLOHA P IV: KAPACITNÍ PLÁN VÝROBY

WINDMÖLLER & HÖLSCHER FASHION FOR INDUSTRY		2020																																					
		PROSINEC					LEDEN					ÚNOR					BŘEZEN					DUBEN					KVĚTEN					ČERVEN					ČERVENEC		
		49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1	1699																																						
2																																							
3																																							
4																																							
5																																							
6																																							
7																																							
8																																							
9	1706																																						
10	1705																																						

- PLÁN
- KÓLIZE
- KAPACITNÍ
- REKURZ
- POŘADÍ VÍM
- POŘADÍ NEM
- POŘADÍ BN
- POŘADÍ DEN
- SE VÝKONĚ
- UKONČENÍ

Pavel Hunka: montaz 2/40 (+1KV)

Pavel Hunka: montaz 2/40 (+1KV)

PŘÍLOHA P V: KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI

KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI

