

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**



# **ZÁKLADY MONTÁŽE**

**učební text**

**Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.**  
**doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.**

**Ostrava 2012**

Recenze: doc. Ing. Michal HATALA, PhD.

Název: Základy montáže  
Autor: Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D., doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Vydání: první, 2012  
Počet stran: 123  
Náklad: 50  
Vydavatel a tisk: Fakulta strojní VŠB – TUO

Jazyková korektura: nebyla provedena.

**Určeno pro projekt:**

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Název: Zvyšování kompetencí studentů technických oborů prostřednictvím modulární inovace studijních programů

Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0459

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

Jana PETRŮ, Robert ČEP  
© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2773-5

## Obsah:

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. POSTAVENÍ MONTÁŽE VE VÝROBNÍM PROCESU A VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ V OBLASTI MONTÁŽE..... | 7  |
| 1.1. Montáž a její význam ve strojírenské výrobě .....                                      | 7  |
| 1.2. Vymezení základních pojmů z oblasti montáže.....                                       | 8  |
| 2. TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE SOUČÁSTEK Z HLEDISKA MONTÁŽE .....                            | 13 |
| 2.1. Pojem technologičnost konstrukce.....                                                  | 13 |
| 2.1.1. Dílčí úlohy řešené při návrhu konstrukce.....                                        | 14 |
| 2.1.2. Technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži .....                          | 15 |
| 2.2. Vliv konstrukčně-technologické koncepce výrobku na montážní proces.....                | 16 |
| 3. ZABEZPEČENÍ VZÁJEMNÉ VYMĚNITELNOSTI SOUČÁSTÍ.....                                        | 19 |
| 3.1. Analýza rozměrových řetězců.....                                                       | 19 |
| 3.1.1. Rozdělení rozměrových řetězců .....                                                  | 20 |
| 3.1.2. Členy rozměrových řetězců.....                                                       | 21 |
| 3.2. Řešení rozměrových řetězců .....                                                       | 22 |
| 3.2.1. Paralelní přímkové rozměrové obvody.....                                             | 23 |
| 3.2.2. Sériové rozměrové obvody.....                                                        | 23 |
| 3.2.3. Rozměrové obvody s kombinovanou vazbou.....                                          | 24 |
| 3.3. Metody montáže užívané v praxi .....                                                   | 29 |
| 3.3.1. Metoda úplné vyměnitelnosti součástí .....                                           | 30 |
| 3.3.2. Metoda částečné vyměnitelnosti součástí.....                                         | 32 |
| 3.3.3. Metoda výběrová (selektivní).....                                                    | 37 |
| 3.3.4. Metoda lícování (úprava na místě).....                                               | 40 |
| 3.3.5. Metoda kompenzační (pevný člen).....                                                 | 43 |
| 3.3.6. Metoda regulační (pohyblivý člen).....                                               | 44 |
| 4. TECHNICKÁ PŘÍPRAVA MONTÁŽE.....                                                          | 45 |
| 4.1. Konstrukční a technologická příprava montáže (KPM).....                                | 45 |
| 4.1.1. Konstrukční příprava montáže (KPM) .....                                             | 46 |
| 4.1.2. Technologická příprava montáže (TgPM).....                                           | 46 |
| Montážní schéma.....                                                                        | 46 |
| Technologický postup montáže .....                                                          | 47 |
| Procesní list montáže.....                                                                  | 49 |
| 5. MONTÁŽNÍ SPOJE A JEJICH KLASIFIKACE .....                                                | 51 |
| 5.1. Montážní spoje.....                                                                    | 51 |
| 5.2. Základní klasifikace montážních spojů.....                                             | 53 |
| 6. KONTROLA TVARU A VZÁJEMNÉ POLOHY SOUČÁSTÍ.....                                           | 56 |
| 6.1. Rozdělení a značení geometrických tolerancí tvaru a polohy.....                        | 56 |
| 6.2. Základní druhy geometrických tolerancí tvaru a polohy .....                            | 58 |
| 6.2.1. Tolerance tvaru.....                                                                 | 58 |
| 6.2.2. Vybrané tolerance polohy.....                                                        | 61 |
| 7. MONTÁŽ ZÁKLADNÍCH SOUČÁSTÍ .....                                                         | 66 |
| 7.1. Montáž typických strojních součástí.....                                               | 66 |
| 7.1.1. Montáž čepů .....                                                                    | 66 |
| 7.1.2. Montáž hřídelů .....                                                                 | 67 |
| 7.1.3. Montáž a demontáž ložisek .....                                                      | 68 |
| 7.1.4. Montáž převodovky.....                                                               | 70 |
| 8. MONTÁŽNÍ LINKY .....                                                                     | 72 |
| 8.1. Typy montážních linek.....                                                             | 72 |
| 8.2. Příklady prostorového uspořádání montážních linek.....                                 | 74 |
| 9. ORIENTAČNÍ MECHANISMY V MONTÁŽNÍM PROCESU.....                                           | 79 |
| 9.1. Stanovení obecných podmínek .....                                                      | 80 |
| 9.2. Orientace metodou automatického vyhledávání .....                                      | 82 |
| 9.3. Orientace bez kontroly vzájemné polohy.....                                            | 83 |

|         |                                                              |     |
|---------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 10.     | MONTÁŽNÍ ROBOTY A MANIPULÁTORY .....                         | 86  |
| 10.1.   | Vývoj a rozdělení montážních robotů a manipulátorů .....     | 86  |
| 10.1.1. | Generace robotů a manipulátorů.....                          | 87  |
| 10.1.2. | Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM).....     | 88  |
| 10.2.   | Praktické ukázky využití robotů a manipulátorů v praxi ..... | 90  |
| 10.2.1. | Roboty KUKA.....                                             | 90  |
| 10.2.2. | Roboty SCARA .....                                           | 91  |
| 10.2.3. | Nasazení robota při montáži velmi malých součástí .....      | 91  |
| 11.     | PROJEKTOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH SYSTÉMŮ .....                        | 93  |
| 11.1.   | Rozdělení druhů montáže z hlediska organizace .....          | 93  |
| 11.1.1. | Soustředná montáž.....                                       | 95  |
| 11.1.2. | Rozčleněná montáž.....                                       | 95  |
| 11.1.3. | Proudová montáž .....                                        | 96  |
| 11.1.4. | Předmětná montáž .....                                       | 97  |
| 11.1.5. | Linková montáž .....                                         | 97  |
| 12.     | ERGONOMIE V MONTÁŽNÍM PROCESU .....                          | 99  |
| 12.1.   | Charakteristika pojmu ergonomie a ergatiky .....             | 99  |
| 12.1.1. | Cíle a praktické využití ergonomických poznatků .....        | 100 |
| 12.1.2. | Neustálé zlepšování ergonomie na pracovištích.....           | 101 |
| 12.2.   | Ergonomické projektování a simulování .....                  | 102 |
| 12.2.1. | Ergonomické analýzy .....                                    | 103 |
| 12.2.1. | Simulace montážního pracoviště .....                         | 106 |
| 13.     | VÝVOJOVÉ SMĚRY V INOVACÍCH VÝROBY A MONTÁŽE .....            | 108 |
| 13.1.   | Vývoj řízení výroby .....                                    | 108 |
| 13.1.1. | CIM .....                                                    | 110 |

## Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



### Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



### Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat ...  
definovat ...  
vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



### Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



### Shrnutí kapitoly

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



### Kontrolní otázka

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



### Úkol k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



### Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

*Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeji autoři.*

Jana PETRŮ a Robert ČEP

# 1. POSTAVENÍ MONTÁŽE VE VÝROBNÍM PROCESU A VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ V OBLASTI MONTÁŽE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

## Budete umět:

- Porozumět významu montáže ve strojírenské výrobě.
- Porozumět základním pojmům montážních prací a automatizace montáže.
- Budete umět porozumět požadavkům na kvalitu montáže.

**Budete umět**

## Budete schopni:

- Definovat základní pojmy v oblasti montáže.

**Budete schopni**

Cílem kapitoly je porozumět základním pojmům z oblasti montážních prací a automatizace montážních prací. Po prostudování by měl student být schopen charakterizovat základní pojmy montáže a automatizace montážních prací.

## 1.1. Montáž a její význam ve strojírenské výrobě



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Charakterizovat pojem montáže.

Popsat význam montáže ve strojírenství.

Porozumět požadavkům na kvalitu montáže.



**Výklad**

Význam montáže ve strojírenství vyplývá z podílu montáže ve struktuře pracnosti strojírenských výrobků, která činí v průměru 30 až 40 % a také z celkového počtu pracovníků pracujících ve výrobě je v montáži zaměstnáno asi 30 až 50 %. U velkosériové výroby se podíl pracnosti montáže snižuje, což je ovlivněno především propracovaností konstrukce, vyšším stupněm mechanizace a automatizace montážního procesu.

**Výrobní proces** je často zakončen montáží, při níž se dotvářejí rozhodující předpoklady na spolehlivost a kvalitu výrobku. Prakticky skoro každé strojírenské zařízení se skládá z jednotlivých součástek. Charakteristickým znakem montážních procesů je spojování dvou či více součástek do montážních podskupin, skupin a do vyšších celků. Pro spojování součástek jsou obvykle využívány takové technologie, které zabezpečují přímé spojení bez přídavných součástí nebo materiálů. Kromě vlastního spojování přísluší do montáže obvykle i další činnosti jako je kontrola, mytí, zaběhávání, konzervace, přeprava součástí na pracovišti montáže a další.

**Montáž** lze charakterizovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů, přičemž vykonáváním činností ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek. Montáž je obvykle závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě.

**Požadavky na kvalitu montáže** jsou rovnocenné požadavkům na montované zařízení. Nekvalitní montáží lze znehodnotit kvalitně a přesně vyrobené součásti. Naopak kvalitní montáží lze technologie výroby součástí zhodnotit a jednoduchými technologickými zásahy se vylučují případné chyby vzniklé při výrobě součástí.

Z tohoto důvodu je třeba se aktivně zabývat problematikou montážních procesů a hledat možnosti ke snižování nákladů s nimi spojenými, např. vhodným konstrukčním návrhem zařízení a jeho členění na jednotlivé montážní skupiny a podskupiny, volbou jednodušších způsobů spojení, volbou takových uložení, aby nebylo nutné lícování, nasazení konstrukčních elementů s určitým stupněm volnosti, používání typizovaných a unifikovaných součástí a jiné.



## Shrnutí kapitoly

Montáž, postavení montáže ve strojírenství, požadavky na kvalitu montáže.



## Kontrolní otázka

1. Co je to montáž?
2. Jakou úlohu má montáž ve strojírenské výrobě?
3. Na základě jakých ukazatelů je možno posoudit význam montáže ve společnosti?
4. Je možno kvalitní montáží kompenzovat nedostatky při rozměrové přesnosti součástí?
5. Je možno kvalitní montáží kompenzovat nedostatky při tvarové přesnosti součástí?

## 1.2. Vymezení základních pojmů z oblasti montáže



**Čas ke studiu:** 1,5 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět



Definovat pojmy z oblasti montáže.

Pochopit vazby mezi uvedenými pojmy.

Uvést praktické příklady základních montážních pojmů.



## Výklad

Obdobně jako v teorii výrobních technologií se v oblasti montážních prací setkáváme s pojmy jako proces, operace, úsek, úkon, pohyb a postup.

Uvedené pojmy lze charakterizovat následovně:

**Montážní proces** - podsystém výrobního systému, jehož cílem je montáž výrobků. Montážní proces lze posuzovat z hlediska jeho začlenění do výrobního procesu, jeho funkce a regulačních vlastností.

**Montážní operace** - ukončená část montážního procesu, která je realizovaná při montáži celku nebo výrobku jedním nebo skupinou dělníků na jednom pracovišti zpravidla bez přestavení montážního zařízení (např. svařování, nýtování, kontrola rozměrů. Montážní operace je základní strukturální jednotkou montážního procesu.

Montážní operace jsou bezesporu velmi pracné a nákladné. V praxi často zabírají až 50 % nákladů. Poměr nákladů na montáž zařízení je významně závislý na technicko-organizační úrovni montáže v podniku. Technicko-organizační úroveň montáže ve strojírenském podniku je zejména ovlivněna:

- **Konstrukčním řešením** – konstrukcí a navrženou složitostí jednotlivých součástí, funkčních skupin i celých výrobků. Konstrukční řešení ovlivňuje z více než 50 % nejen pracnost montáže, metody vyměnitelnosti montáže, možnosti uplatnění prvků mechanizace a automatizace montáže, organizační uspořádání montážních operací apod.
- **Technologií a organizací** – z hlediska použitých montážních činností, pracovních a mechanizačních prostředků, organizace a průběhu montáže apod.
- **Kvalitou pracovních sil** – kvalifikační předpoklady pracovníků, zručnost, zkušenost montérů apod.
- **Pracovními podmínkami a prostředím** – souhrn vlivů na pracovní prostředí, například teplota, hluk, vlhkost, osvětlení, prašnost atd.

Právě kvalitní konstrukční přípravou společně s technickou a technologickou přípravou lze ovlivnit efektivnost montážního procesu.

**Montážní úsek** – část operace, která je vykonávána na jednom spoji jedním nástrojem za přibližně stejných technologických podmínek (např. úprava rozměrů na místě na hrubo a úprava rozměrů součástí na místě na čisto).

**Montážní úkon** – ucelená jednoduchá pracovní činnost dělníka v montážním procesu nebo přípravě výrobku k montáži v rámci úseku (např. upínání součástí do montážního přípravku, zapnutí stroje, apod.).

**Montážní pohyb** – nejmenší část pracovní činnosti v montážním procese. Jsou dopodrobna popisované zejména v hromadné výrobě (např. uchopit klíč, nasadit klíč, otočit klíčem apod.).

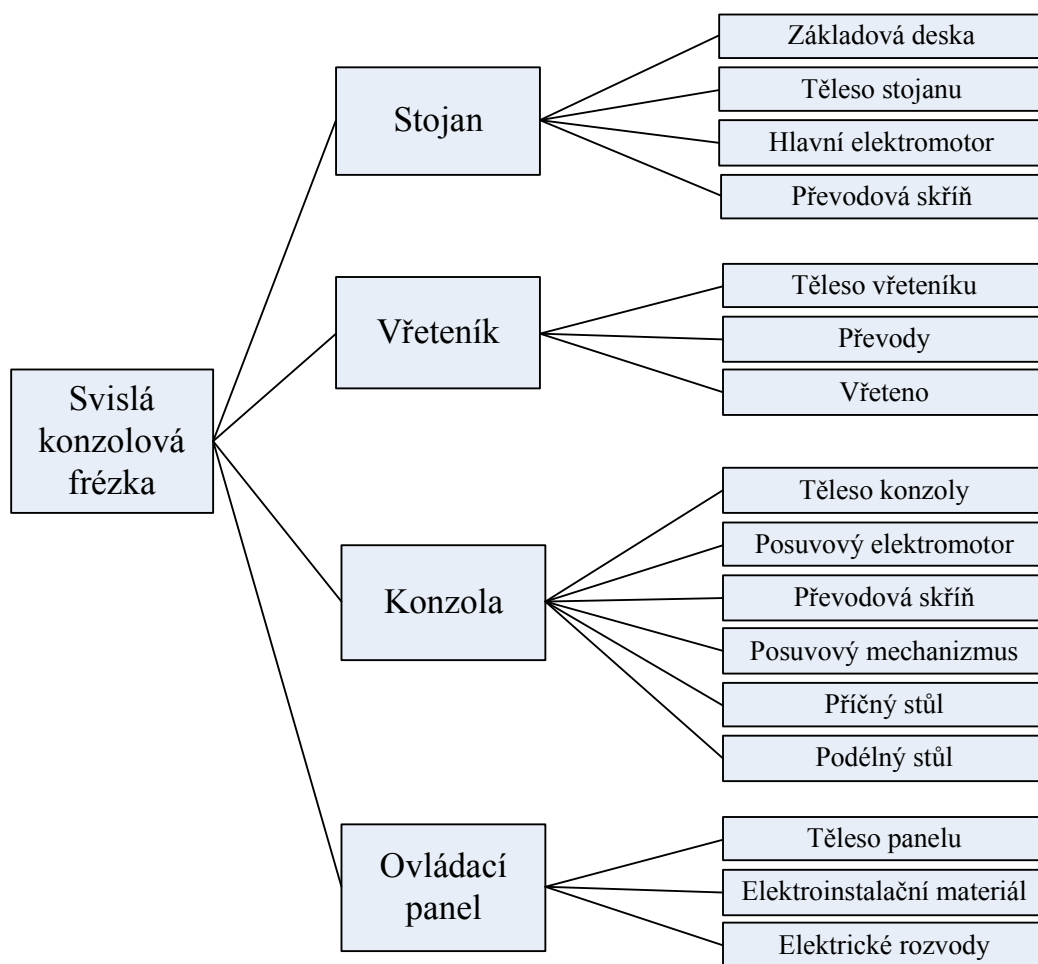
**Technologický postup montáže** – souhrn operací související se spojováním hotových součástí, (pod)sestav ve výrobek pomocí přípravků, zařízení a nářadí, které odpovídá požadavkům výkresů a technickým podmínkám.

**Montážní základna** – soubor ploch a prvků součástí, které určují její polohu vzhledem ke druhým dříve sestaveným součástem nebo základním plochám.

**Montážní pracovní poloha** – část operace provádění při stejné poloze přípravku a montážního prvku.

**Montážní schéma** – výchozím podkladem pro zpracování technologického postupu montáže. Montážní schéma dává přehled o vzájemném spojení součástí. Dále by z montážního schématu mělo být patrné jaké součásti a v jakém pořadí mají být vzájemně spojovány, rozmístění součástí pro správnou organizaci montáže.

Obrázek 1 znázorňuje jednoduché montážní schéma svislé konzolové frézky.



Obr. 1 Montážní schéma svislé konzolové frézky



Montážní proces, montážní operace, montážní úsek, montážní úkon, montážní pohyb, technologický postup montáže, montážní základna, montážní pracovní poloha, montážní schéma.



### Kontrolní otázka

1. Co je to montážní proces?
2. Co je to montážní operace?
3. Co je to montážní úsek?
4. Co je to montážní úkon?
5. Co je to montážní pohyb?
6. Co je myšleno pod pojmem technologický postup montáže?
7. Co je myšleno pod pojmem montážní základna?
8. Co je myšleno pod pojmem montážní pracovní poloha?
9. Kolik procent z výrobních nákladů mohou činit náklady na montáž?
10. Čím je ovlivněna technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu konstrukčního řešení?
11. Čím je ovlivněna technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu technologie a organizace?
12. Čím je ovlivněna technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu kvality pracovních sil?
13. Čím je ovlivněna technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu pracovních podmínek a prostředí?
14. Co je to montážní schéma?



### Úkol k řešení

1. Uveďte, zda se v případě „pájení“ jedná o montážní operaci či montážní úsek.
2. Uveďte, zda se v případě „zakládání součástí do montážního přípravku“ jedná o montážní operaci či montážní úsek.
3. Uveďte, zda se v případě „příčného nalisování součástí s kombinovaným ohřevem a chlazením“ jedná o montážní operaci či montážní úsek.
4. Uveďte, zda se v případě „nasazení klíče na šroub“ jedná o montážní operaci či montážní úsek.

5. Uveďte, zda se v případě „dotažení šroubu momentovým klíče“ jedná o montážní operaci či montážní pohyb.
6. Uveďte, zda se v případě „zapnutí montážního stroje“ jedná o montážní úsek či montážní pohyb.
7. Uveďte, zda se v případě „vypnutí montážního stroje“ jedná o montážní úsek či montážní pohyb.
8. Uveďte případ montážní operace.
9. Uveďte případ montážního úseku.
10. Uveďte případ montážního úkonu.
11. Uveďte případ montážního pohybu.
12. Uveďte, jaké jiné znáte základny mimo montážní.

## 2. TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE SOUČÁSTEK Z HLEDISKA MONTÁŽE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

|                                                                                                                                                                                                                  |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Budete umět:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Charakterizovat pojem technologičnost konstrukce.</li><li>• Porozumět základním pravidlům technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.</li></ul> | <b>Budete umět</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|

|                                                                                                                                                            |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Budete schopni:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Uplatnit pravidla zlepšování technologičnosti výrobků pro automatizovanou montáž.</li></ul> | <b>Budete schopni</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|

Kapitola se zabývá pojmem, doporučeními a přínosy řešení technologičnosti konstrukce z hlediska montáže. Součástí kapitoly jsou popsána kritéria pro posouzení uplatněné technologičnosti konstrukce ve strojírenské praxi.

### 2.1. Pojem technologičnost konstrukce



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat pojem technologičnosti konstrukce.

Popsat význam technologičnosti konstrukce z hlediska montáže.

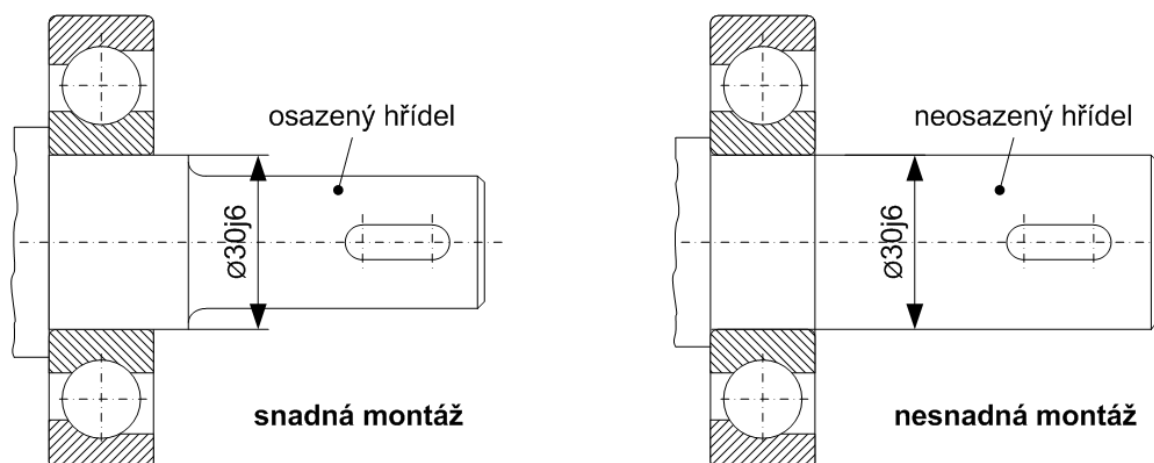
Řešit dílčí úkoly technologičnosti konstrukce.



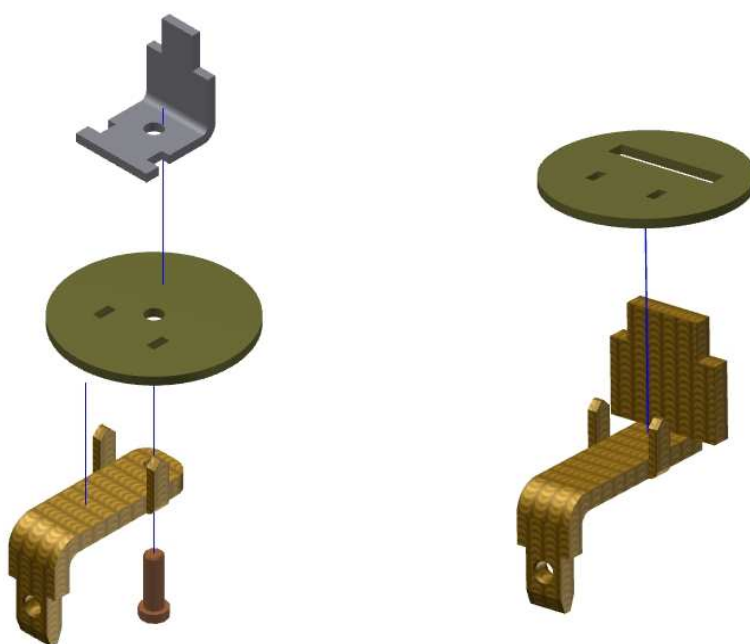
**Výklad**

**Technologičnost konstrukce** rozumíme takové konstrukční provedení součástí či výrobků, které zaručuje optimální výrobu při splnění všech jejich funkcí (výrobnost, ekonomika, efektivnost, životnost apod.), požadavků z hlediska jejich výroby (nízká hmotnost, nízké náklady na výrobu při zadané velikosti produkce, výběr vhodných materiálů) a jejich použití (spolehlivost, snadná údržba popř. bezúdržbovost, opravitelnost, ovládání aj.).

Obrázek 2 znázorňuje usnadnění montáže úpravou tvarů součástí.



Obr. 2 Usnadnění montáže úpravou tvarů součástí



Obr. 3 Úprava konstrukce z hlediska montáže

### 2.1.1. Dílčí úlohy řešené při návrhu konstrukce

Z množství dílčích úloh řešených při návrhu konstrukce výrobků jsou nejdůležitější čtyři následující:

- zabezpečení správné funkce mechanismů výrobků;
- vyřešení nejvhodnějších tvarů detailů a konstrukčních skupin výrobků;

- výběr vhodných materiálů a tvarů polotovarů;
- určení ekonomického způsobu výroby a montáže částí, skupin a celků.

### 2.1.2. Technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži

Podobně jako u technologického postupu výroby je nutno věnovat zvýšenou pozornost požadavkům technologie montáže. Pod pojmem technologičnost konstrukce výrobku z hlediska montáže je zahrnuta taková úprava rozměrů, tvarů, materiálů a dalších parametrů, která vytváří nejnížší pracnost montáže a zhotovení výrobku při zachování, případně zlepšení stávajících jeho funkcí v rámci daných možností výroby.

Konstruktor z pohledu montáže usiluje o minimální počet součástí tvořících celek a stavebnicové uspořádání výrobků. Vhodně zvolená konstrukce součástí umožňuje zjednodušit montážní proces, eliminovat ruční pracoviště a uplatnit mechanizaci a automatizaci. S trendem zvyšujícím se stupněm automatizace montáže se zvyšují i požadavky na technologičnost konstrukce výrobků a přesnost jejich provedení. Montážní náklady mohou v důsledku nevhodné konstrukce součástí výrazně navýšit výrobní náklady konečného výrobku.



#### Shrnutí kapitoly

Technologičnost konstrukce, Technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži.



#### Kontrolní otázka

1. Co rozumíme pod pojmem technologičnost konstrukce?
2. Co rozumíme pod pojmem technologičnost konstrukce vzhledem k montáži?
3. Proč je v praxi řešena problematika technologičnosti konstrukce?



#### Úkol k řešení

1. Napište čtyři nejdůležitější úkoly řešené při návrhu konstrukce.

## 2.2. Vliv konstrukčně-technologické koncepce výrobku na montážní proces



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat možnosti usnadnění výroby a montáže.

Využívat formy konstrukčně-technologické standardizace.

Zvyšovat úroveň technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.



**Výklad**

Při návrhu konstrukčně-technologické koncepce výrobku je třeba současně s finančními a provozními požadavky uvažovat o dostupné technologii výroby i montáže. Je nutná sounáležitost konstruktéra a technologa výroby.

Pro účely usnadnění výroby a montáže je všeobecně vhodné:

- **využívat formy konstrukčně-technologické standardizace** (simplifikace, typizace, unifikace a normalizace), tzn. připouštět pouze nutnou konstrukčně technologickou různorodost, a to jak u součástí, tak i u výrobků a využívat výhody stavebnicového řešení;
- **zvyšovat úroveň technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.**

Příkladem pro využití konstrukčně-technologické standardizace v praxi je například zavedení konstrukčně unifikovaných řad obráběcích strojů. Cílem této unifikace je snížení počtu montážních skupin individuální konstrukce na určitý počet unifikovaných montážních skupin. Toto řešení vede ke zvýšení sériovosti výroby součástí a potažmo montážních skupin, snižuje materiálovou a energetickou náročnost výroby, snížení pracnosti a nákladovosti výroby i montáže.

Při navrhování konstrukce výrobku z hlediska technologičnosti pro montáž se řeší řada úkolů konstrukčního, technologického a provozního charakteru.

Za možnosti zvyšování úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži lze považovat řešení:

**a) z konstrukčního hlediska:**

- jednoduchost koncepce výrobku, konstrukčních skupin a sestav;
- minimalizaci počtu součástí pro montážní sestavu výrobků;
- jednoduchost tvaru součástí a jejich úpravy usnadňující montáž;
- stavebnicový charakter výrobku umožňující nezávislou montáž skupin;
- rozčlenění montážního celku nebo výrobku v místě nejjednoduššího spojení;



- rozčlenění výrobku tak, aby pro jeho sestavení a spojení nebyly vyžadovány přizpůsobovací montážní činnosti (dodatečné lícování při montáži na místě, regulování), a to především správnou volbou rozměrových řetězců a jejich tolerancí jednotlivých součástí;
- rozčlenění výrobku tak, aby bylo možno provést montáž v jednou či dvou až třech směrech na sebe kolmých;
- volba tvaru součástí přizpůsobený její orientaci při montáži, pokud možno bez zrakové a hmatové kontroly, tzn. vytvořit vhodné na součásti vhodné plochy pro ustavení, uchopení a upnutí, volit tedy výrazně symetrický nebo nesymetrický s výraznými orientačními značkami;
- navrhování součástí, jejichž těžiště má zabezpečovat stabilitu při manipulaci, orientaci, přepravě apod.;
- účelnost výběru základen, rozměrů, tolerancí a parametrů drsnosti povrchu součástí;
- omezení přizpůsobování uzavíracího členu rozměrového řetězce při montáži zabezpečení pokud možno plné vyměnitelnosti a unifikace součástí;

#### **b) z technologického hlediska:**

- zařazení mechanizace a automatizace do montážního procesu;
- zvýšení stupně specializace a integrace montážních pracovišť a procesů;
- vytvoření podmínek pro zlepšení časové a prostorové struktury montáž, například podmínek pro časovou souběžnost v jednotlivých fázích montáže, které především zkrátí průběžnou dobu montáže;
- zkrácení úseku přípravy výroby i doby jejího zavedení;
- umožnění využití vysokoproduktivních metod montáže a její automatizace;
- snížení spotřeby materiálů, energií;
- zabezpečení přesnosti výroby a následné montáže;

#### **c) z provozního hlediska:**

- hodnocení provozní spolehlivosti, životnosti výrobků;
- zvýšení jednoduchosti údržby a oprav strojů.



## **Shrnutí kapitoly**

Technologičnost konstrukce z hlediska montáže.



## **Kontrolní otázka**

1. Jaké znáte možnosti zvýšení technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži?



## Úkol k řešení

1. Uved'te příklad konstrukční možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.
2. Uved'te příklad technologické možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.
3. Uved'te příklad provozní možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži.

### 3. ZABEZPEČENÍ VZÁJEMNÉ VYMĚNITELNOSTI SOUČÁSTÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Budete umět:

- Definovat rozměrové obvody.
- Charakterizovat metody montáže v praxi.

**Budete umět**

#### Budete schopni:

- Sestavit a vypočítat rozměrové řetězce.
- Uplatnit různé metody podle aplikovatelnosti v praxi.

**Budete schopni**

Kapitola bude obsahovat analýzu rozměrových obvodů a metody montáže užívané v praxi. Kapitola bude doplněna o praktické aplikace rozměrových obvodů, příklady a úkoly k samostatnému řešení.

#### 3.1. Analýza rozměrových řetězců



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat rozměrový řetězec.

Charakterizovat jednotlivé členy rozměrových řetězců.

Sestavit rozměrový řetězec.

Zakreslit schéma rozměrových řetězců.

Definovat základní typy rozměrových řetězců a vzájemně je rozpoznat.



**Výklad**

Součásti vstupující do procesu montáže jsou vyrobeny s různou přesností a tolerancí. Při montáži součástí je nutno zajistit jejich vzájemné uspořádání v mezích předepsané přesnosti. Spojení určitých ploch musí zajistit předepsanou vůli, spojení jiných naopak potřebný přesah. Správnou velikost úchylek rozměrů součástí v závislosti na požadované přesnosti spojení či mechanismu lze určit podle teorie řešení rozměrových obvodů.

**Rozměrový obvod** představuje vzájemně provázaný soubor rozměrů vztahujících se ke dvěma, popř. k několika funkčním plochám součástí nebo několik rozměrových řetězců. Rozměrový obvod tvoří jeden nebo několik rozměrových řetězců.

**Rozměrový řetězec** je uzavřený řetězec vzájemně vázaných rozměrů, které jsou v určité posloupnosti, rozhodující pro vzájemnou polohu ploch či os jedné nebo více součástí. Rozměry jednotlivých součástí jsou členy rozměrového řetězce, tj. rozměry, kdy součet všech členů rozměrového řetězce dává buď celkový požadovaný rozměr, nebo se liší od žádaného celkového rozměru přesahem případně vůlí.

**Schéma rozměrového řetězce** je grafické zobrazení rozměrového řetězce a jedná se vždy o uzavřenou křivku.

Cílem řešení rozměrového řetězce je stanovit mezní rozměry nebo mezní úchytky od jmenovitých hodnot dílčích rozměrů podle výrobních nebo konstrukčních požadavků, příp. změnit tolerance tak, aby bylo vyhověno požadavkům technické a montážní dokumentace.

### 3.1.1. Rozdělení rozměrových řetězců

Mezi základní typy rozměrových řetězců patří:

- **základní rozměrový řetězec** – všechny jeho členy mají svou funkci v řešení dané úlohy;
- **odvozený rozměrový řetězec** – jedná se o rozměrový řetězec, jehož výchozím členem je jeden ze sestavných členů základního rozměrového řetězce a je tedy svázaný s řetězcem základním;
- **konstrukční rozměrový řetězec** – rozměrový řetězec sloužící k řešení úlohy pro zajištění přesnosti při konstrukci výrobku;
- **technologický rozměrový řetězec** – rozměrový řetězec sloužící k řešení úlohy zajištění přesnosti při výrobě výrobku;
- **kontrolní rozměrový řetězec** – rozměrový řetězec sloužící k řešení úlohy zjištění (změření) hodnot charakterizující přesnost výrobku;
- **lineární rozměrový řetězec** – řetězec, jehož členy jsou délkové rozměry;
- **rovinný rozměrový řetězec** – řetězec, jehož členy se nacházejí v jedné nebo několika paralelních rovinách;
- **prostorový rozměrový řetězec** – rozměrový řetězec, jehož členy se nacházejí v různoběžných rovinách;
- **úhlový rozměrový řetězec** – rozměrový řetězec, jehož členy jsou úhlové rozměry;
- **paralelně svázaný rozměrový řetězec** – rozměrové řetězce, které mají alespoň jeden společný člen;
- **sériově svázaný rozměrový řetězec** – rozměrové řetězce, které mají jednu společnou základnu;
- **kombinovaně svázaný rozměrový řetězec** – rozměrové řetězce, které mají společné členy a základny.

Následně budou vybrané typy rozměrových řetězců definovány a schématicky znázorněny dále v textu.

### 3.1.2. Členy rozměrových řetězců

Členy rozměrového řetězce můžeme rozdělit na výchozí, uzavírací a spojovací. V případě výchozích a uzavíracích členů je přesnost rozměrů určena úchytkami od přesnosti všech ostatních členů rozměrového řetězce. Jestliže tímto členem řetězec začíná, nazývá se výchozí, jestliže jím končí, pak je to člen uzavírací. Členy rozměrových řetězců se označují velkými písmeny latinské abecedy (A, B, C...).

Rozměrové obvody se skládají ze členů, které mohou být:

- **dílčí sestavné členy  $A_i$** , kde  $i = 1, 2, 3 \dots n$  – jsou členy rozměrového obvodu, které jsou ve funkčním vztahu k uzavíracímu členu. Spojovací členy jsou všechny ostatní členy řetězce kromě členu uzavíracího či kompenzačního. Přesnost rozměrů dílčích sestavných členů má vliv na změnu přesnosti rozměru uzavíracího členu.

Dílčí spojovací členy můžeme dále rozdělit na:

- i. **zvětšující dílčí členy  $\bar{A}_i$**  – členy rozměrového obvodu, při jejich zvětšování (zmenšování) se uzavírací člen rozměrového obvodu  $A_U$  zvětšuje (zmenšuje);
  - ii. **zmenšující dílčí členy  $\bar{A}_i$**  – označujeme tak členy, při jejich zvětšování (zmenšování) se uzavírací člen rozměrového obvodu  $A_U$  zmenšuje (zvětšuje);
- **uzavírací člen  $A_U$**  – člen rozměrového obvodu, jehož hodnota je výchozí veličinou při zadání řešené úlohy anebo je konečnou hledanou veličinou při řešení rozměrového obvodu. Uzavírací člen je výsledný rozměr, který se na výkrese kótuje jako informativní, nebo je to montážní výsledný rozměr, který vychází jako součet rozměrů jednotlivých součástí, nebo je vůlí, přesahem, geometrickou tolerancí apod.
  - **kompenzační člen  $A_K$**  – člen rozměrového obvodu, jehož změnou se dosáhne požadovaná přesnost uzavíracího členu  $A_U$ ;
  - **společný člen  $A_i, B_i$** , kde  $i = 1, 2, 3 \dots n$  – je označen symboly řetězců, do kterých přísluší. Jedná se o člen spolupůsobící v několika rozměrových řetězcích současně.
  - **nezávislý člen  $A_i$** , kde  $i = 1, 2, 3 \dots n$  – je sestavný člen, jehož hodnota nezávisí na hodnotě jiného sestavného členu.
  - **závislý člen  $A_i$** , kde  $i = 1, 2, 3 \dots n$  – je sestavný člen, jehož hodnota funkčně nebo korelačně závisí na hodnotě jiného sestavného členu.

V každém rozměrovém obvodu jsou vždy nejméně dva dílčí spojovací členy a jeden uzavírací člen  $A_U$ . Uzavírací členy  $A_U$  jsou zpravidla nezakótované rozměry na konstrukčních výkresech součástí, případně jsou uvedeny jako informativní rozměry v oblých závorkách.



### Shrnutí kapitoly

Rozměrový obvod, rozměrový řetězec, schéma rozměrového řetězce, dílčí sestavné členy, uzavírací člen, zvětšující člen, zmenšující člen, kompenzační člen, společný člen, nezávislý člen, závislý člen.



## Kontrolní otázka

1. Co je to rozměrový řetězec?
2. Co je to schéma rozměrového řetězce?
3. Co je to uzavírací člen?
4. Co je to kompenzační člen?
5. Může nastat případ, kdy je schéma rozměrového řetězce otevřenou křivkou?

## 3.2. Řešení rozměrových řetězců



**Čas ke studiu:** 3 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Základní vzorce pro výpočet přímkových (lineárních) rozměrových řetězců.

Rozlišit základní typy přímkových rozměrových řetězců.



### Výklad

Kapitola se zabývá řešením rozměrových řetězců podle základních vzorců pro výpočet přímkových a rovinných rozměrových řetězců. V kapitole je uvedeno množství řešených příkladů na rozměrové řetězce. Kapitola je zakončena úlohami, na kterých je možno prostudovanou učební látku procvičit výpočty. Výsledky řešených úloh jsou umístěny na konci této učební opory.

Při řešení rozměrových obvodů se vypočítávají mezní rozměry nebo jmenovité rozměry a tolerance členů podle funkčních, montážních a výrobních požadavků. Řešíme zpravidla dva typy úloh, a to:

- **kontrolní úlohy** – určují se rozměry a mezní úchyly uzavíracího členu na základě známých rozměrů a tolerancí dílčích členů, při těchto úlohách se ověřuje správnost příslušného konstrukčního řešení;
- **konstrukční úlohy** – určují se rozměry a mezní úchyly dílčích členů na základě rozměrů a tolerance uzavíracího členu. Jedná se o úlohy, které jsou řešeny při konstruování a navrhování montážních skupin.

Podle zvolené metody montáže výrobku jsou použité příslušné vzorce pro výpočty. Metody montáže budou uvedeny i s řešenými příklady v následující kapitole.

Pro výpočty rozměrových obvodů budou dále uvedeny:

- **základní vzorce pro výpočet přímkových rozměrových obvodů;**

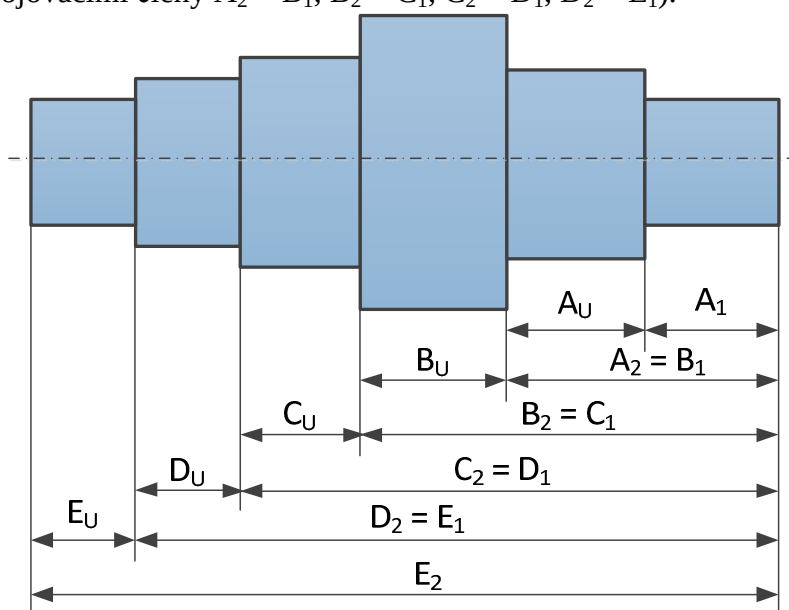
- **základní vzorce pro výpočet prostorových rozměrových obvodů.**

Montážní celek se může skládat z více přímkových rozměrových řetězců. Jednotlivé členy různých přímkových řetězců označujeme rozdílnými velkými písmeny abecedy například A, B, C atd. Mezi jednotlivými řetězci může existovat spojovací člen, kterým je daná vazba mezi řetězci.

Rozlišujeme přímkové (lineární) rozměrové řetězce podle vzájemné vazby na paralelní přímkové, sériové a kombinované rozměrové obvody.

### 3.2.1. Paralelní přímkové rozměrové obvody

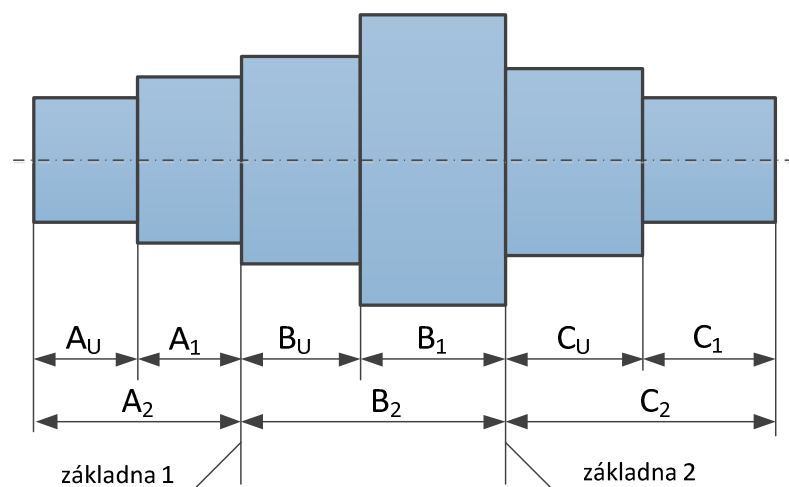
Obrázek 4 demonstruje vzájemné vazby mezi řetězci a jejich spojovací členy (na uvedeném obrázku jsou spojovacími členy  $A_2 = B_1$ ,  $B_2 = C_1$ ,  $C_2 = D_1$ ,  $D_2 = E_1$ ).



Obr. 4 Paralelní přímkový rozměrový obvod

### 3.2.2. Sériové rozměrové obvody

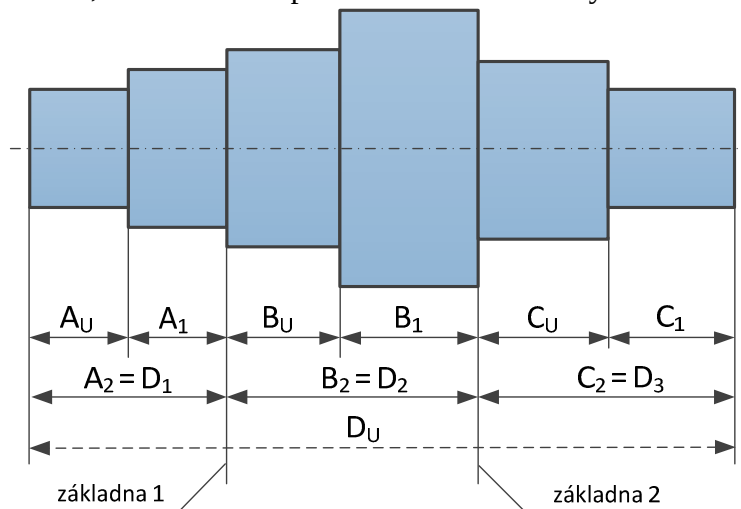
Obrázek 5 demonstruje vznik vzájemné vazby společnou základnou 1 a společnou základnou 2.



Obr. 5 Sériový rozměrový obvod

### 3.2.3. Rozměrové obvody s kombinovanou vazbou

Obrázek 6 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. demonstruje rozměrové obvody s kombinovanou vazbou, kde lze nalézt paralelní i sériové vazby.



Obr. 6 Rozměrový obvod s kombinovanou vazbou

Při řešení přímkových řetězců metodou úplné zaměnitelnosti využíváme vzorce:

**Jmenovitý rozměr uzavíracího členu  $A_U$**  – pro výpočet jmenovité hodnoty uzavíracího členu  $A_U$  lineárního řetězce obecně platí:

$$A_U = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{i=m+1}^n \vec{A}_i$$

kde  $m$  je počet všech zvětšujících členů a  $n$  je počet všech dílčích členů řetězce. Uzavírací člen uvažujeme zvlášť jako samostatný člen. Pak  $\sum_{i=1}^m \vec{A}_i$  je součet jmenovitých rozměrů všech zvětšujících členů řetězce a  $\sum_{i=m+1}^n \vec{A}_i$  je součtem jmenovitých rozměrů všech zmenšujících členů řetězce.

**Tolerance uzavíracího členu  $T_{A_U}$**  – vypočte se jako součet tolerancí všech členů lineárního řetězce:

$$T_{A_U} = \sum_{i=1}^n T_{A_i}$$

Z výše uvedené rovnice vyplývá, že se zvětšujícím se počtem členů v rozměrovém řetězci roste počet sčítanců  $T_{A_i}$ , což má za následek buď zmenšování tolerance jednotlivých členů řetězce tak, aby tolerance závěrečného členu zůstala konstantní, nebo při zachování hodnot tolerancí jednotlivých členů ke zvětšování tolerance závěrečného členu. Je nutno vést v patrnosti, že všechny tolerance jsou vždy kladná čísla.

Pro lineární obvody platí, že tolerance uzavíracího členu  $T_{A_U}$  je dána rozdílem maximální  $A_{U_{max}}$  a minimální  $A_{U_{min}}$  hodnoty uzavíracího členu a rovná se součtu tolerancí všech členů řetězce:



$$T_{AU} = A_{U_{max}} - A_{U_{min}} = \sum_{i=1}^n T_{A_i}$$

**Tolerance dílčího členu  $T_{A_i}$**  – pro výpočet tolerance dílčího členu lze využít vztah:

$$T_{A_i} = T_{AU} - \sum_{i=1}^{n-1} T_{A_i}$$

**Dolní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{U_{min}}$**  - minimální hodnotu uzavíracího členu lze vypočíst dosazením minimálních rozměrů všech zvětšujících členů a odečtením maximálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{U_{min}} = \sum_{i=1}^m \vec{A_i}_{min} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A_i}_{max}$$

**Horní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{U_{max}}$**  - maximální hodnotu uzavíracího členu lze vypočíst dosazením maximálních rozměrů všech zvětšujících členů a odečtením minimálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{U_{max}} = \sum_{i=1}^m \vec{A_i}_{max} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A_i}_{min}$$

**Dolní úchylka uzavíracího členu  $I_{AU}$ :**

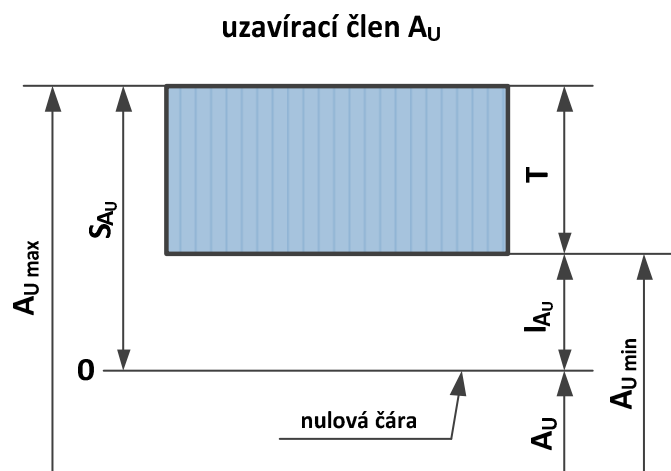
$$I_{AU} = \sum_{i=1}^m \vec{I_{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{S_{A_i}}$$

**Horní úchylka uzavíracího členu  $S_{AU}$ :**

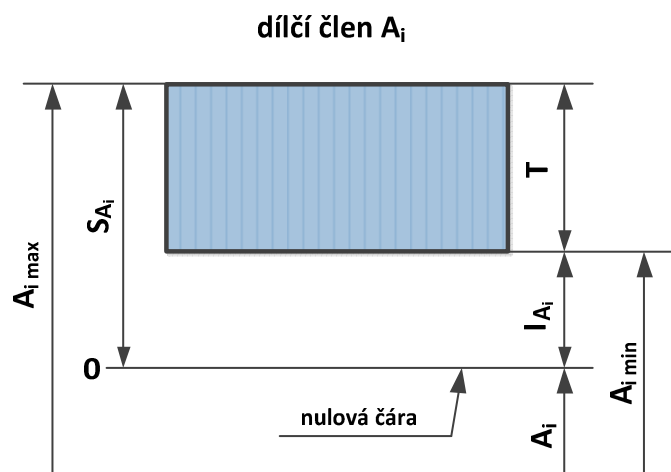
$$S_{AU} = \sum_{i=1}^m \overleftarrow{S_{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \vec{I_{A_i}}$$

Do uvedených vzorců pro výpočet  $I_{AU}$  a  $S_{AU}$  jsou dosazovány všechny hodnoty úchylek dílčích členů s jejich příslušnými znaménky, tzn. kladné či záporné.

Výpočtové rozměry uzavíracího členu a dílčího členu je možno schematicky znázornit viz obrázek 7 a obrázek 8.



**Obr. 7** Znázornění parametrů uzavíracího členu rozměrového řetězce



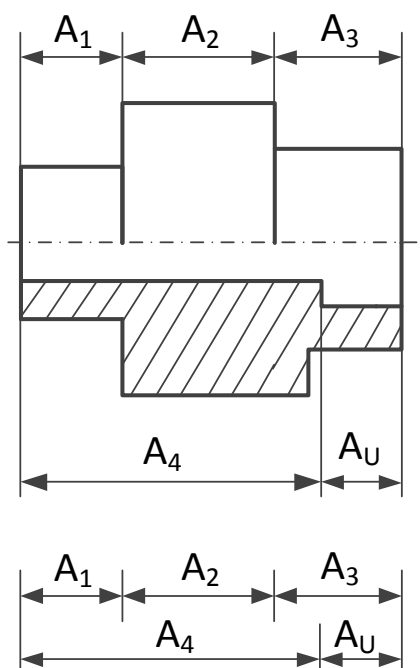
**Obr. 8** Znázornění parametrů dílčího členu rozměrového řetězce

Z popsané analýzy rozměrových obvodů plyne pravidlo nejkratší řady. Dílčí úlohy řešení přesnosti vzájemné polohy ploch a os jednotlivých součástí je nutno stejně jako při obrábění dílce řešit aplikací rozměrových řetězců s minimálním počtem členů.



## Řešený příklad

Stanovte jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu  $A_U$  rozměrového obvodu. Obrázek 9 níže znázorňuje schéma přímého rozměrového obvodu, rozměry členů jsou  $A_1 = 20_{-0,25}^0$  mm,  $A_2 = 31 \pm 0,1$  mm,  $A_3 = 28_{-0,10}^{+0,15}$  mm,  $A_4 = 65_{-0,15}^{+0,20}$  mm.



Obr. 9 Příklad přímkového rozměrového řetězce

**Jmenovitý rozměr uzavíracího členu  $A_U$ :**

$$A_U = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_i$$

$$A_U = (A_1 + A_2 + A_3) - A_4 = (20 + 31 + 28) - 65 = 14 \text{ mm}$$

**Tolerance uzavíracího členu  $T_{A_U}$ :**

$$T_{A_U} = \sum_{i=1}^n T_{A_i}$$

$$T_{A_U} = 0,25 + 0,2 + 0,25 + 0,35 = 1,05 \text{ mm}$$

**Dolní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{U_{min}}$ :**

$$A_{U_{min}} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i_{min}} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_{i_{max}}$$

$$A_{U_{min}} = 19,75 + 30,9 + 27,9 - 65,2 = 13,35 \text{ mm}$$

**Horní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{U_{max}}$ :**

$$A_{U_{max}} = \sum_{i=1}^m \vec{A_{i_{max}}} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A_{i_{min}}}$$

$$A_{U_{max}} = 20 + 31,1 + 28,15 - 64,85 = 14,4 \text{ mm}$$

**Dolní úchylka uzavíracího členu  $I_{AU}$ :**

$$I_{AU} = A_{U_{min}} - A_U$$

$$I_{AU} = 13,35 - 14 = -0,65 \text{ mm}$$

popřípadě je možno využít vzorce:

$$I_{AU} = \sum_{i=1}^m I_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n S_{\overleftarrow{A_i}}$$

$$I_{AU} = [(-0,25) + (-0,1) + (-0,1)] - (-0,2) = -0,65 \text{ mm}$$

**Horní úchylka uzavíracího členu  $S_{AU}$ :**

$$S_{AU} = A_{U_{max}} - A_U$$

$$S_{AU} = 14,4 - 14 = 0,40 \text{ mm}$$

popřípadě je možno využít vzorce:

$$S_{AU} = \sum_{i=1}^m S_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n I_{\overleftarrow{A_i}}$$

$$S_{AU} = [(0) + (0,1) + (0,15)] - (-0,15) = 0,40 \text{ mm}$$

**Vypočtený rozměr uzavíracího členu lze zapsat ve tvaru:**

$$A_U = 14_{-0,65}^{+0,40} \text{ mm}$$



## Shrnutí kapitoly

Paralelní přímkový rozměrový obvod, sériový rozměrový obvod, rozměrový obvod s kombinovanou vazbou.



## Kontrolní otázka

1. Co je to paralelní přímkový obvod?
2. Co je to sériový obvod?
3. Co je to rozměrový obvod s kombinovanou vazbou?



## Úkol k řešení

1. Vypočtete jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavírajícího členu rozměrového obvodu  $A_U$ . Obrázek 9 znázorňuje schéma přímého rozměrového obvodu, přičemž tabulka níže uvádí rozměry a mezní úchytky dílčích členů rozměrového řetězce.

**Tab. 1 Rozměry a mezní úchytky dílčích členů přímkového rozměrového řetězce**

| Číslo zadání | Zadané rozměry členů řetězce |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------|------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|              | $A_1$                        | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $I_{A1}$ | $S_{A1}$ | $I_{A2}$ | $S_{A2}$ | $I_{A3}$ | $S_{A3}$ | $I_{A4}$ | $S_{A4}$ |
| 1            | 20                           | 31    | 28    | 65    | -0,25    | 0        | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,15     | -0,15    | 0,2      |
| 2            | 22                           | 34    | 30    | 67    | -0,25    | 0        | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,15     | -0,15    | 0,2      |
| 3            | 24                           | 37    | 32    | 69    | -0,2     | 0        | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,15     | -0,15    | 0,2      |
| 4            | 26                           | 40    | 34    | 71    | -0,2     | 0        | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,15     | -0,15    | 0,2      |
| 5            | 28                           | 43    | 36    | 73    | -0,2     | 0        | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,15     | -0,15    | 0,2      |
| 6            | 30                           | 46    | 38    | 75    | -0,1     | 0        | -0,15    | 0,15     | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,2      |
| 7            | 32                           | 49    | 40    | 77    | -0,1     | 0        | -0,02    | 0,15     | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,2      |
| 8            | 34                           | 52    | 42    | 79    | -0,1     | 0        | -0,02    | 0,15     | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,2      |
| 9            | 36                           | 55    | 44    | 81    | -0,1     | 0        | -0,02    | 0,15     | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,2      |
| 10           | 38                           | 58    | 46    | 83    | -0,1     | 0        | -0,02    | 0,15     | -0,1     | 0,1      | -0,1     | 0,2      |

### 3.3. Metody montáže užívané v praxi

Kapitola se zabývá jednotlivými metodami montáže a jejich vazbou na předepsanou přesnost výroby. Přesnost výroby se významnou měrou podílí na celkových nákladech výroby. Pro každou metodu montáže je uveden praktický příklad výpočtu.



**Čas ke studiu:** 3 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat úplnou vyměnitelnost součástí, částečnou vyměnitelnost součástí,

výběrovou metodu, kompenzační, regulační a metodu lícování.  
Uvést praktické příklady použití metod montáže.



## Výklad

Předepsanou přesnost při montáži součástí lze zajistit níže popsanými způsoby montáže. Volba metody řešení rozměrových řetězců je určena konstrukčními zvláštnostmi součástí a druhem výroby.

Způsoby řešení těchto řetězců, které ovlivňují metody montáže, jsou následující:

- úplná vyměnitelnost součástí;
- částečná vyměnitelnost součástí;
- výběr (selekce) součástí;
- kompenzační (pevný člen);
- regulační (pohyblivý člen);
- lícování (úprava).

### 3.3.1. Metoda úplné vyměnitelnosti součástí

Tato metoda umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé členy rozměrového řetězce zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích bez předchozího výběru či přizpůsobení a plně zabezpečuje přesnost uzavíracího členu.

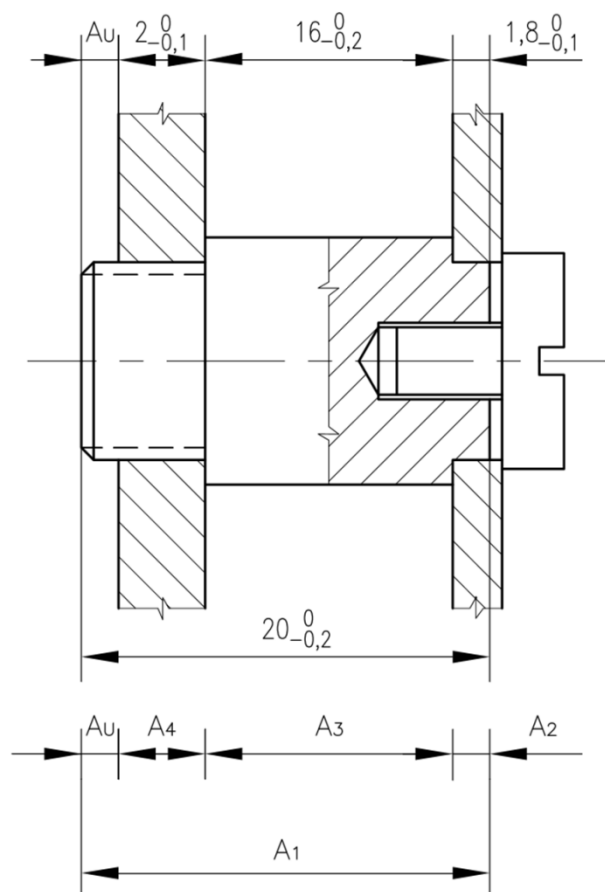
Při použití této metody musí jednotlivé součásti vstupující do montážního procesu být vyrobeny s takovou přesností, aby byla dosažena požadovaná přesnost smontovaného celku při jakémkoliv náhodném výběru. To vyžaduje výrobu součástí v úzkých tolerancích. Montáž na základě úplné vyměnitelnosti součástí může být organizována v hromadné a velkosériové výrobě.

Mezi výhody této metody montáže patří jednoduchá technologická příprava montáže (členění, mechanizování montážních prací, normování práce), jednoduchá a hospodárná montáž (bez výběru a přizpůsobování, nižší kvalifikace pracovní síly, stabilní čas montáže), snadná mechanizace a automatizace montáže, možnost kooperace výroby, jednoduchá údržba a opravy výrobku na základě vyměnitelných náhradních dílů, snadné vybavení náhradními díly. Nevýhodou metody je naopak zvyšující se nároky na přesnější výrobní metody, přípravky a měřidla, delší výrobní časy a s tím související zvyšování nákladů na výrobu součástí s požadovanou přesností. Rozměrový obvod při uplatnění metody úplné vyměnitelnosti řešíme podle příkladu níže.



## Řešený příklad

Určete vzdálenosti mezi čelem koncové části spojovacího sloupku a vnější plochou levé desky. Obrázek níže znázorňuje náčrt řešení sestavy.



Obr. 10 Určení hodnoty AU při spojení dvou desek sloupku

Jmenovitý rozměr uzavíracího členu  $A_U$ :

$$A_U = \sum_{i=1}^m \vec{A_i} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A_i}$$

$$A_U = A_1 - (A_2 + A_3 + A_4) = 20 - (1,8 + 16 + 2) = 0,2 \text{ mm}$$

Výpočet tolerance členů  $T_{A_i}$ :

$$\text{Tolerance členu } T_{A_1} = 0 - (-0,2) = 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerance členu } T_{A_2} = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerance členu } T_{A_3} = 0 - (-0,2) = 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerance členu } T_{A_4} = 0 - (-0,1) = 0,1 \text{ mm}$$

Tolerance uzavíracího členu  $T_{A_U}$ :

$$T_{A_U} = \sum_{i=1}^n T_{A_i}$$

$$T_{A_U} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4} = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,1 = 0,6 \text{ mm}$$

**Poloviční tolerance uzavíracího členu  $\delta T_{A_U}$ :**

$$\delta T_{A_U} = \frac{T_{A_U}}{2}$$

$$\delta T_{A_U} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ mm}$$

**Vypočtený rozměr uzavíracího členu lze zapsat ve tvaru  $A_U$ :**

$$A_U = 0,2 \pm 0,3 \text{ mm}$$

**Maximální rozměr závěrného členu  $A_{U_{\max}}$ :**

$$A_{U_{\max}} = 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ mm}$$

**Minimální rozměr závěrného členu  $A_{U_{\min}}$ :**

$$A_{U_{\min}} = 0,2 - 0,3 = -0,1 \text{ mm}$$

### 3.3.2. Metoda částečné vyměnitelnosti součástí

Metoda částečné vyměnitelnosti součástí vychází z úvahy, že skutečné rozměry každého členu rozměrového řetězce (i závěrného) jsou vlivem nahodilých chyb rozložených v celé šíři tolerančního pole, ale s rozdílnou četností výskytu, tj. krajní hodnoty jsou méně početné než střední.

Využíváním poznatků z teorie pravděpodobnosti lze rozšiřovat tolerance všech členů rozměrového řetězce, přestože nebude změněna zadaná tolerance uzavíracího členu, tzn. beze změny přesnosti montáže. Tato metoda řešení rozměrových řetězců umožňuje rozšiřovat tolerance jednotlivých členů, a to zvláště tam, kde se zadané tolerance ukazují jako neekonomické.

U této metody bývá splněna podmínka požadované přesnosti smontovaného celku s jistou pravděpodobností. Jisté procento spojení tuto podmínku nesplňuje a musí být při kontrole vyřazeno nebo za určitých podmínek dodatečně upraveno. Metoda však umožňuje levnější výrobu součástí v širších tolerančních polích, než vyžaduje metoda úplné vyměnitelnosti.

Je málo pravděpodobné, že by se rozměry všech součástí řetězce nacházely blízko jednoho nebo druhého mezního rozměru jednotlivých členů. V praxi se podle zákona normálních rozdělení rozměry všech členů nacházejí v určitém rozptylu.

Dále je zřejmé, že pravděpodobnost vzájemného setkání extrémních rozměrů klesá se zvětšujícím se počtem členů v řetězci. Navíc čím větší je počet jednotlivých členů, tím u nich může být stanovena širší tolerance. Součásti jsou v rámci této metody vyráběny ve větších tolerancích a vymezení vůle či přesahu se řeší výpočtem, který bere v úvahu riziko, že stanovených hodnot nebude dosaženo.

Výhodou metody částečné vyměnitelnosti je možnost volby větších tolerancí součástí (snižování výrobních nákladů), jednoduchá a hospodárná montáž. Nutnost zřízení pracovních míst pro případné dolícování součástí, jejichž tolerance náhodně nevyhovují rozměrovému řetězci, patří ke stěžejním nevýhodám. Vhodné je vybavit automatické montážní stroje zařízeními na měření úchylek a blokovacím zařízením pro vyřazení nevyhovujících součástí.

Řešení rozměrových obvodů při částečné vyměnitelnosti se využívá znalosti teorie pravděpodobnosti, což umožňuje rozšiřování tolerančního pole všech členů obvodu a tím



zhospodárnění výroby. Skutečné rozměry všech členů řetězce se nachází v oblasti rozptylu podle zákona normálního rozdělení. Kvalitu výroby součástí tedy charakterizuje poloha skutečného rozměru vůči jmenovitému a forma příslušné křivky každého členu.

Z aplikace teorie pravděpodobnosti na strojírenskou výrobu vyplývá, že rozměrovou přesnost výroby strojních součástí charakterizuje poloha daného rozměru a forma křivky normálního rozdělení každého členu řetězce, což umožňuje:

- střední aritmetická úchylka  $X_{Ai}$  od jmenovitého rozměru  $J$ ;
- střední kvadratická úchylka  $\sigma_{Ai}$ ;
- šířka rozptylu  $v_{Ai}$ .

**Střední aritmetická úchylka  $X_i$  od jmenovitého rozměru  $J$**  – udává střed křivky rozptylu, tj. střed tolerančního pole. Vlivem systematických chyb na technologický proces nemusí úchylka  $X_i$  být shodná s tímto středem.

Odklon středu křivky je dán rozdílem  $X_{max} - X_{min}$ , který je totožná s veličinou  $3\sigma_i$ . Hodnota rozdílu je výsledkem vlivu náhodných chyb  $\sigma_i$ . Níže uvedený obrázek znázorňuje polohu tolerančního pole a tvar i polohu křivky rozptylu. Střed i poloha křivky se odvozují od jmenovitého rozměru součástí. Souřadnice středu skutečné křivky rozptylu se liší o hodnotu:

$$X_{Ai} = \alpha_{Ai} + \alpha_{Ai} \cdot \delta_{Ai}$$

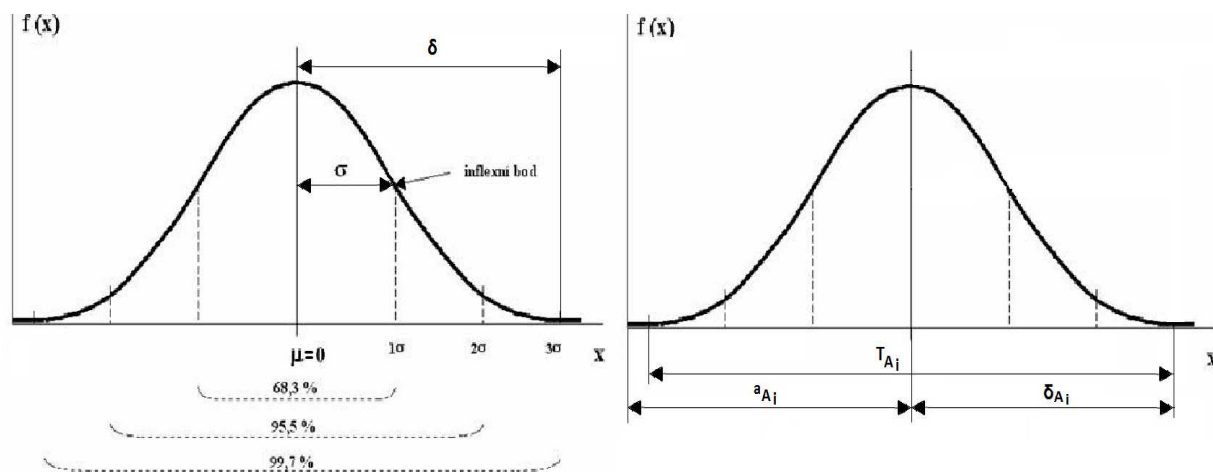
kde

$\alpha_{Ai}$  – souřadnice středu tolerančního pole i-tého členu řetězce vzhledem ke jmenovitému rozměru,

$\alpha_{Ai}$  – součinitel asymetrie křivky rozptylu i-tého členu řetězce,

$\delta_{Ai}$  – polovina tolerančního pole i-tého členu řetězce.

Je-li  $\alpha_{Ai} = 0$ , je křivka rozptylu symetrická podle středu tolerančního pole a souřadnice  $\alpha_{Ai} = X_i$ . Je-li navíc  $\alpha_{Ai} = 0$ , je střed tolerančního pole totožný s normálním rozměrem.



**Obr. 11 Křivka normálního rozdělení uzavíracího členu**

Souřadnice středu tolerančního pole uzavíracího členu od jmenovitého rozměru:

$$a_{AU} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{a_{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{a_{A_i}}$$

Střední kvadratická úchylka uzavíracího členu řetězce je dána součtem kvadrátů chyb všech členů řetězce  $\sigma_{AU}$ :

$$\sigma_{AU} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{A_i}^2}$$

Polovinu tolerančního pole uzavíracího členu  $\delta_{AU}$  vypočteme jako součet kvadrátů polovin tolerančního pole všech členů řetězce  $\delta_{A_i}$  spolu s kvadráty součinitele relativního rozptylu  $k_{A_i}$ :

$$\delta_{AU} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{A_i}^2 \cdot k_{A_i}^2}$$

Součinitel relativního rozptylu rozměrů jednotlivých členů řetězce  $k_{A_i}$ , který vyjadřuje vztah střední kvadratické úchylky  $\sigma_{A_i}$  a šířky rozptylu  $v_{A_i}$  vypočteme:

$$k_{A_i} = \frac{6 \cdot \sigma_{A_i}}{v_{A_i}}$$

Popřípadě je možno využít vzorec pro výpočet součinitele relativního rozptylu rozměrů jednotlivých členů řetězce  $k_{A_i}$ :

$$k_{A_i} = \frac{3 \cdot \sigma_{A_i}}{\delta_{A_i}}$$

kde  $v_{A_i}$  je rovno šířce rozptylu toleranci daného členu řetězce:

$$v_{A_i} = \frac{\delta_{A_i}}{2}$$

**Horní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce  $A_{U_{max}}$**  - pro výpočet horní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$A_{U_{max}} = a_{AU} + \delta_{AU}$$

**Dolní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce  $A_{U_{min}}$**  - pro výpočet dolní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$A_{U_{min}} = a_{AU} - \delta_{AU}$$

**Tolerance uzavíracího členu  $T_{AU}$ :**

$$T_{AU} = 2\delta_{AU}$$

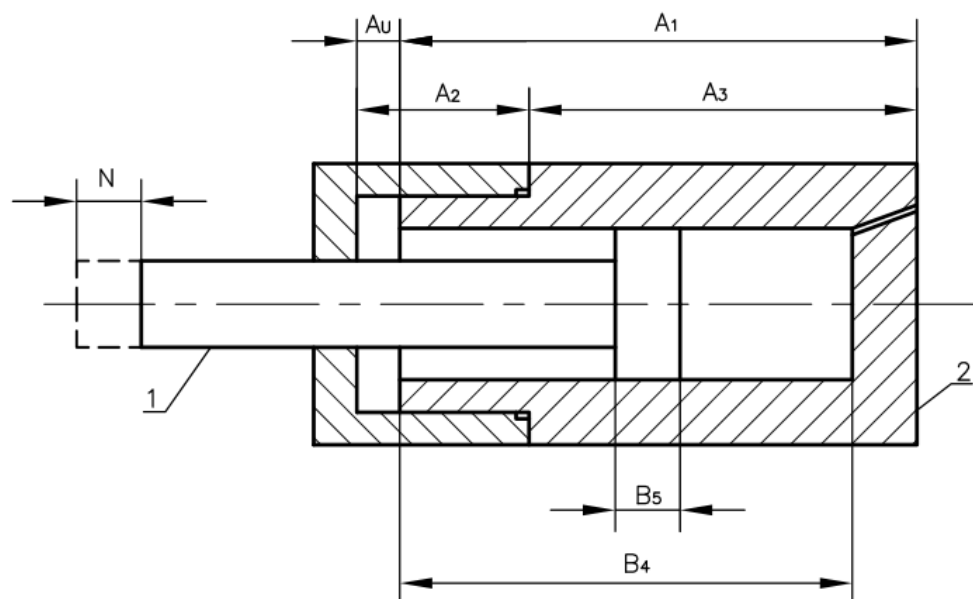
Uzavírací člen bude mít rozměr  $A_U$ :

$$A_U = \alpha_{A_U} \pm \delta_{A_U}$$



### Řešený příklad

Stanovte toleranci zdvihu  $N$  pístu čerpadla, která podle technických požadavků by neměla překročit hodnotu tolerančního pole 3 mm. Obrázek níže znázorňuje náčrt řešené sestavy.



Obr. 12 Náčrt pístu

Určíme souřadnice středů tolerančních polí dílčích členů řetězce od jmenovitého rozměru, přičemž křivka je v daném případě symetrická, takže  $\alpha_{A_i} = 0$  a  $k_{A_i} = 1$ .

$$\alpha_{A_1} = +0,31 \text{ mm}$$

$$\alpha_{A_2} = +0,215 \text{ mm}$$

$$\alpha_{A_3} = -0,31 \text{ mm}$$

$$b_{A_4} = +0,31 \text{ mm}$$

$$b_{A_5} = -0,26 \text{ mm}$$

Určíme poloviny tolerančních polí dílčích členů řetězce:

$$\delta_{A_1} = 0,31 \text{ mm}$$

$$\delta_{A_2} = 0,215 \text{ mm}$$

$$\delta_{A_3} = 0,31 \text{ mm}$$

$$\delta_{B_4} = 0,31 \text{ mm}$$

$$\delta_{B_5} = 0,26 \text{ mm}$$

Při výpočtu tolerance uzavíracího členu  $A_U$  jsou členy  $A_2$  a  $A_3$  zvětšující členy a  $A_1$  zmenšující. Pro výpočet zdvihu pístu  $N$  jsou členy řetězce  $A_U$  a  $B_4$  zvětšující a  $B_5$  zmenšující.

**Mezní úchylky uzavíracího členu řetězce  $A_U$**  - pro výpočet horní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$A_U = [(a_{A_2} + \alpha_{A_2} \cdot \delta_{A_2}) + (a_{A_3} + \alpha_{A_3} \cdot \delta_{A_3}) - (a_{A_1} + \alpha_{A_1} \cdot \delta_{A_1})] \pm \sqrt{\delta_{A_2}^2 \cdot k_{A_2}^2 + \delta_{A_3}^2 \cdot k_{A_3}^2 + \delta_{A_1}^2 \cdot k_{A_1}^2}$$

$$A_U = [0,215 - 0,31 + 0,31] \pm \sqrt{0,233425} = 0,215 \pm 0,448 \text{ mm}$$

**Mezní úchytky uzavíracího členu řetězce  $N$**  - pro výpočet horní mezní úchytky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$N = [(a_{A_U} + \alpha_{A_U} \cdot \delta_{A_U}) + (b_{B_4} + \alpha_{B_4} \cdot \delta_{B_4}) - (b_{B_3} + \alpha_{B_3} \cdot \delta_{B_3})] \pm \sqrt{\delta_{A_U}^2 \cdot k_{A_U}^2 + \delta_{B_4}^2 \cdot k_{B_4}^2 + \delta_{B_3}^2 \cdot k_{B_3}^2}$$

$$N = [0,215 + 0,31 - 0,26] \pm \sqrt{0,448^2 + 0,31^2 + 0,26^2} = 0,265 \pm 0,634 \text{ mm}$$

**Celkový horní mezní rozměr  $N_{max}$ :**

$$N_{max} = 13 + 0,265 + 0,634 = 13,899 \text{ mm}$$

**Celkový dolní mezní rozměr  $N_{min}$ :**

$$N_{min} = 13 + 0,265 - 0,634 = 12,631 \text{ mm}$$

Pro srovnání bude proveden výpočet metodou součtu tolerancí členů:

**Jmenovitý rozměr členu  $A_U$ :**

$$A_U = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_i$$

$$A_U = (A_2 + A_3) - A_1 = 11 + 40 - 50 = 1 \text{ mm}$$

**Dolní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{Umin}$ :**

$$A_{Umin} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i min} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_{i max}$$

$$A_{Umin} = 11 + 39,38 - 50 = 0,38 \text{ mm}$$

**Horní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{Umax}$ :**

$$A_{Umax} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i max} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_{i min}$$

$$A_{Umax} = 11,43 + 40 - (49,38) = 2,05 \text{ mm}$$

**Jmenovitý rozměr členu  $N$ :**

$$N = \sum_{i=1}^m \vec{A_i} - \sum_{i=m+1}^n \vec{A_i}$$

$$N = (A_U + B_4) - B_5 = 1 + 31 - 19 = 13 \text{ mm}$$

**Dolní mezní rozměr uzavíracího členu  $N_{min}$ :**

$$N_{min} = \sum_{i=1}^m \vec{A_{i_{min}}} - \sum_{i=m+1}^n \vec{A_{i_{max}}}$$

$$N_{min} = 0,38 + 31 - 19 = 12,38 \text{ mm}$$

**Horní mezní rozměr uzavíracího členu  $N_{max}$ :**

$$N_{max} = \sum_{i=1}^m \vec{A_{i_{max}}} - \sum_{i=m+1}^n \vec{A_{i_{min}}}$$

$$N_{max} = 2,05 + 31,26 - 18,48 = 15,19 \text{ mm}$$

**Tolerance zdvihu čerpadla  $T_N$ :**

$$T_N = N_{max} - N_{min} = 15,19 - 12,38 = 2,81 < 3 \text{ mm}$$

Z výpočtu vyplývá, že toleranční pole zdvihu pístu je menší než 3 mm a odpovídá tedy technickým požadavkům.

Při porovnání obou metod výpočtu rozměrových obvodů je zřejmé, že pravděpodobná úchylka je menší při výpočtu částečné vyměnitelnosti součástí než při výpočtu metodou úplné vyměnitelnosti součástí. Uvolněním tolerancí celého řetězce umožňuje metoda částečné vyměnitelnosti zlevnit výrobu členů řetězce.

### 3.3.3. Metoda výběrová (selektivní)

Tato metoda je užívána tehdy, je-li požadovaná vůle nebo přesah vzhledem k pracovním podmínkám tak malá, že je z technologického hlediska obtížné dodržet tolerance hlavních rozměrů součástí. V tomto případě se součásti zhotovují s většími tolerancemi a předepsané přesnosti celku se dosahuje přesným měřením a příslušnou volbou vnějších a vnitřních součástí.

Volba se usnadňuje rozdělením součástí do skupin podle jejich skutečných rozměrů. Dané skupiny se vytvoří rozdělením tolerančních polí spojovaných součástí na stejný počet dílů. Metoda se dělí na montáž s předběžným výběrem součástí do rozměrových skupin, a to s úplným výběrem (třídění všech součástí) a částečným (třídění vybraných součástí) výběrem. V tomto případě bývají součásti vyráběny v širších tolerancích, než vyžaduje přesnost smontovaného celku. Požadované přesnosti dosahujeme roztríděním součástí do rozměrových skupin. Určitým nedostatkem selektivní metody je skutečnost, že počty součástí v odpovídajících skupinách nemusí být stejné a tak zbývá určité procento součástí, pro které nemáme na skladu odpovídající součást. Proto se tato metoda uplatňuje zejména ve velkosériové a hromadné výrobě, kdy je podíl nesrovnatelností nepatrný.

Nevýhoda metody spočívá ve vyšší rozpracovanosti montáže (četnost výskytu jednotlivých rozměrů součástí vhodných k montáži není vždy stejná) a v nutnosti měření všech součástí při jejich třídění do skupin.

Charakteristickými příklady užití metody mohou být valivá ložiska, vstřikovací čerpadla, montáž pístních čepů s písty, montáž kroužků a pístů s válci motorů apod.

**Stanovení počtu rozměrových skupin  $n$ :**

$$n = \frac{T_D}{a} = \frac{T_H}{b}$$

kde:  $T_D$  - toleranční pole díry [mm];

$T_H$  - toleranční pole hřídele [mm];

$a$  - toleranční pole skupiny děr [mm];

$b$  - toleranční pole skupiny hřídelů [mm].

**Výpočet tolerančního pole skupiny děr  $a$ :**

$$a = A_U - T_H - \Delta_{min}$$

kde:  $A_U$  - předepsaná provozní vůle (uzavírací člen řetězce) [mm];

$\Delta_{min}$  - minimální možná vůle [mm].

**Výpočet tolerančního pole skupiny hřídelů  $b$ :**

$$b = A_U - T_D - \Delta_{min}$$

kde:  $A_U$  - předepsaná provozní vůle (uzavírací člen řetězce) [mm];

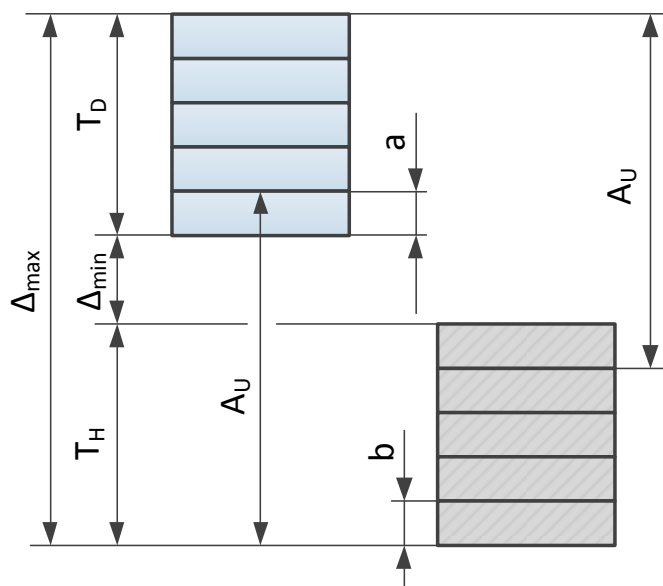
$\Delta_{min}$  - minimální možná vůle [mm];

**Maximální vůle uložení  $A_{Umax}$ :**

$$A_{Umax} = T_H + \Delta_{min} + a$$

**Minimální vůle uložení  $A_{Umin}$ :**

$$A_{Umin} = T_H + \Delta_{min} - a$$



**Obr. 13 Schéma výběrové metody montáže**

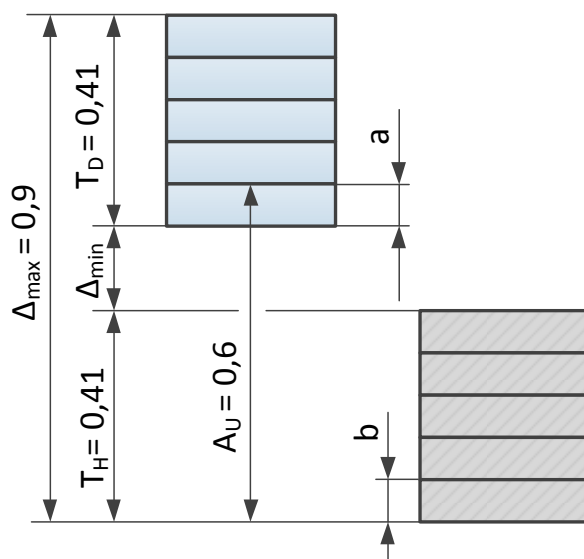
V případě, že v některých skupinách chybí odpovídající protikusy, usměrňuje se průběh křivek četnosti tak, že se po určitý čas výroby předepíše úzká tolerance odpovídající těm skupinám součástí, kde je četnost výskytu rozměrů proti očekávání nedostatečná nebo součásti těchto rozměrů chybí.

Četnost dosažených rozměrů se řídí zákonem normálního rozdělení, přesto se však v praxi stává, že se v některých skupinách potřebný počet součástí nedostává. V těchto případech je nutno usměrnit průběh křivek četnosti tak, že se o určitý čas výroby předepíše úzká tolerance odpovídající těm skupinám součástí, jejichž četnost výskytu rozměrů je nedostatečná nebo chybí. V praxi bývá tohoto způsobu použito např. při výrobě válců a pístů spalovacích motorů, elementů valivých ložisek.



### Řešený příklad

Stanovte počet rozměrových skupin  $n$ , je-li jmenovitý průměr spojení  $D = 50$  mm, předepsaná vůle  $A_U = 0,6$  mm. Skutečné uložení vykazuje  $\Delta_{\max} = 0,9$  mm při tolerančním poli díry i hřídele  $T_D = T_H = 0,41$  mm. Obrázek níže znázorňuje uvedený příklad.



#### Obr. 14 Určení počtu rozměrových skupin při výběrové metodě

**Výpočet minimální možné vůle  $\Delta_{min}$ :**

$$\Delta_{min} = \Delta_{max} - T_D - T_H$$
$$\Delta_{min} = 0,9 - 0,41 - 0,41 = 0,08 \text{ mm}$$

**Výpočet tolerančního pole skupiny děr  $a$ :**

$$a = A_U - T_H - \Delta_{min}$$
$$a = 0,6 - 0,41 - 0,08 = 0,11 \text{ mm}$$

**Stanovení počtu rozměrových skupin  $n$ :**

$$n = \frac{T_D}{a}$$
$$n = \frac{0,41}{0,11} = 3,727 \cong 4$$

Pak se navrátíme zpět k výpočtu tolerančního pole děr  $a$ :

$$a = \frac{T_D}{n}$$
$$a = \frac{0,41}{4} = 0,1025 \text{ mm}$$

**Maximální vůle uložení  $A_{Umax}$ :**

$$A_{Umax} = T_H + \Delta_{min} + a$$
$$A_{Umax} = 0,41 + 0,08 + 0,1025 = 0,5925 \text{ mm}$$

**Minimální vůle uložení  $A_{Umin}$ :**

$$A_{Umin} = T_H + \Delta_{min} - a$$
$$A_{Umin} = 0,41 + 0,08 - 0,1025 = 0,3875 \text{ mm}$$

#### 3.3.4. Metoda lícování (úprava na místě)

Tato metoda se používá v případech, kdy funkční požadavky na mechanismus zaručí pouze taková přesnost, kterou není možné ekonomicky dosáhnout při dané úrovni výroby. Součásti jsou vyrobeny s ekonomicky přípustnými rozšířenými tolerancemi a přesnosti mechanismu se pak dosáhne dodatečným přilícováním jednoho z předem vybraných součástí. Součást, u které se změnou jejího rozměru dosáhne konečné přesnosti spojení, se nazývá vyrovnávací neboli kompenzační. Přilícování se provádí pilováním, smirkováním, zaškrabáváním, broušením nebo leštěním.

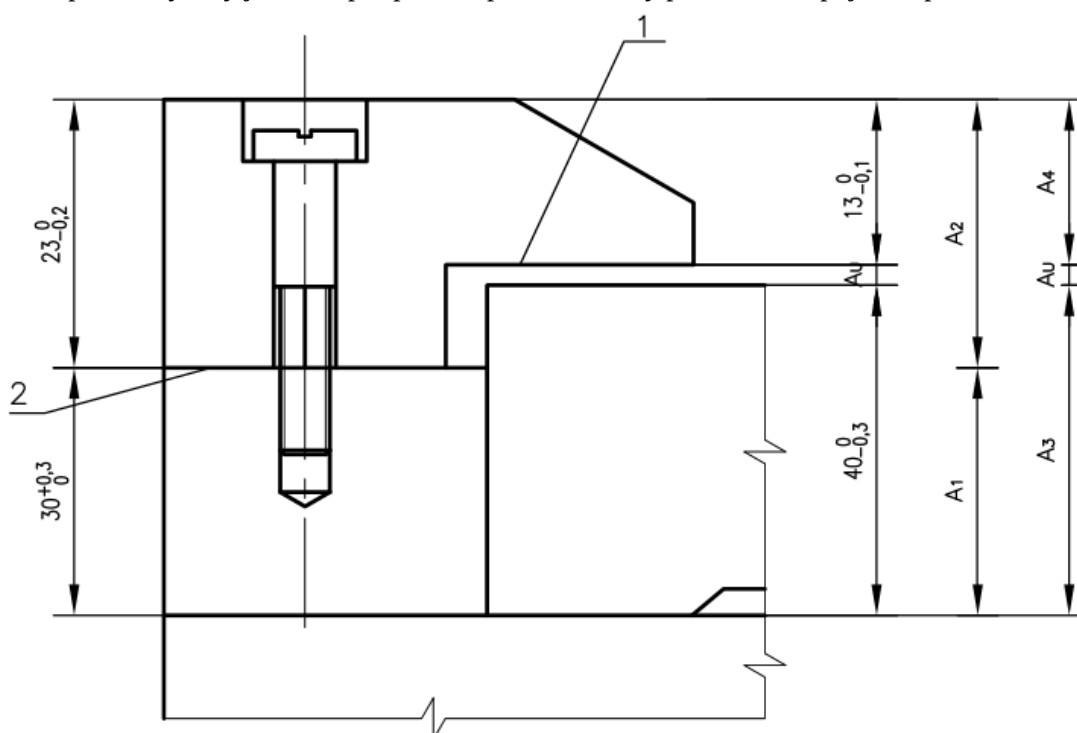


Metodu lícování nazýváme také jako kompenzátor technologický. Výsledné přesnosti smontovaného celku dosahujeme změnou rozměru jedné nebo několika předem zvolených součástí. To předpokládá zařazení operace výrobního charakteru do montážního postupu. Výhoda metody spočívá v dosažení předepsané přesnosti montáže při poměrně širokých tolerancích všech členů spojení a oproti jiným metodám nižších nákladech na strojní vybavení. Nevýhodou metody jsou dodatečné přizpůsobovací práce na montáži a potřeba vyšší kvalifikace dělníků, kteří tyto práce provádějí. Metoda lícování je používána v kusové a malosériové výrobě a při opravách strojů.



## Řešený příklad

Stanovte podmínky, kdy je nutno přizpůsobit plochu 1 a kdy plochu 2 ve spoji na upínce.



Obr. 15 Stanovení podmínek pro přizpůsobení ploch ve spoji

Předepsaná provozní vůle mezi upínkou (1) a saněmi (2) pohybovala v rozmezí 0,1 až 0,3 mm. Rozdělení všech členů řetězce považujeme za normální.

**Jmenovitý rozměr členu  $A_U$ :**

$$A_U = \sum_{i=1}^m \vec{A_i} - \sum_{i=m+1}^n \vec{A_i}$$

$$A_U = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4) = (30 + 23) - (40 + 13) = 0 \text{ mm}$$

Při výpočtu tolerance uzavíracího členu  $A_U$  jsou členy  $A_1$  a  $A_2$  zvětšující členy,  $A_3$  a  $A_4$  zmenšující. Nejprve vypočteme dolní a horní mezní rozměr uzavíracího členu metodou úplné vyměnitelnosti:

**Dolní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{U_{min}}$ :**

$$A_{Umin} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i min} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_{i max}$$

$$A_{Umin} = (30 + 22,8) - (40 + 13) = -0,2 mm$$

**Horní mezní rozměr uzavíracího členu  $A_{Umax}$ :**

$$A_{Umax} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i max} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_{i min}$$

$$A_{Umax} = (30,3 + 23) - (39,7 + 12,9) = 0,7 mm$$

Dále určíme souřadnice středů tolerančních polí dílčích členů řetězce od jmenovitého rozměru, přičemž křivka je v daném případě symetrická, takže  $\alpha_{A_i} = 0$  a  $k_{A_i} = 1$ .

$$a_{A_1} = +0,15 mm$$

$$a_{A_2} = -0,1 mm$$

$$a_{A_3} = -0,15 mm$$

$$a_{A_4} = -0,05 mm$$

Určíme poloviny tolerančních polí dílčích členů řetězce:

$$\delta_{A_1} = 0,15 mm$$

$$\delta_{A_2} = 0,1 mm$$

$$\delta_{A_3} = 0,15 mm$$

$$\delta_{A_4} = 0,05 mm$$

Hodnota souřadnice středu tolerančního pole uzavíracího členu  $a_{AU}$ :

$$a_{AU} = \sum_{i=1}^m \vec{a}_{A_i} - \sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{a}_{A_i}$$

$$a_{AU} = (a_{A_1} + a_{A_2}) - (a_{A_3} + a_{A_4}) = (0,15 - 0,1) - (-0,15 - 0,05) = 0,25 mm$$

Hodnota poloviny tolerančního pole uzavíracího členu  $\delta_{AU}$ :

$$\delta_{AU} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{A_i}^2 \cdot k_{A_i}^2}$$

$$\delta_{AU} = \sqrt{(\delta_{A_1}^2 \cdot k_{A_1}^2 + \delta_{A_2}^2 \cdot k_{A_2}^2 + \delta_{A_3}^2 \cdot k_{A_3}^2 + \delta_{A_4}^2 \cdot k_{A_4}^2)}$$

$$\delta_{AU} = \sqrt{(0,15^2 + 0,10^2 + 0,15^2 + 0,05^2)} = 0,24 mm$$

**Uzavírací člen bude mít rozměr  $A_U$ :**

$$A_U = a_{AU} \pm \delta_{AU}$$

$$A_U = 0,25 \pm 0,24 mm$$

**Tolerance uzavíracího členu  $T_{A_U}$ :**

$$T_{A_U} = 2\delta_{A_U}$$
$$T_{A_U} = 2 \cdot 0,24 = 0,48 \text{ mm}$$

**Horní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce  $A_{U_{max}}$**  - pro výpočet horní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$A_{U_{max}} = a_{A_U} + \delta_{A_U}$$
$$A_{U_{max}} = 0,25 + 0,24 = 0,49 \text{ mm}$$

**Dolní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce  $A_{U_{min}}$**  - pro výpočet dolní mezní úchylky uzavíracího členu řetězce lze postupovat podle rovnice:

$$A_{U_{min}} = a_{A_U} - \delta_{A_U}$$
$$A_{U_{min}} = 0,25 - 0,24 = 0,01 \text{ mm}$$

Plocha 1 bude obrobena o 0,1 mm v případě, že  $A_U = 0,01$  až 0,1 mm.

Plocha 2 bude obrobena o 0,2 mm v případě, že  $A_U = 0,3$  až 0,49 mm.

### 3.3.5. Metoda kompenzační (pevný člen)

Metoda kompenzační využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to vložením určitého počtu kompenzačních prvků do rozměrového řetězce. Vůle se vymezí vložením pevného kompenzátoru potřebných rozměrů.

Kompenzátory konstrukční jsou buď pevné (vložky, distanční kroužky apod.) nebo stavitelné. Používá se v případech, kdy pracovní podmínky umožňují ekonomicky zabezpečit požadovanou přesnost smontovaného celku přímo ve výrobním procesu. Součásti se vyrábějí s rozšířenými tolerancemi. Požadované přesnosti celku dosazujeme vložením kompenzátoru (součásti nebo dílu), jehož rozměr je pevný nebo stavitelný (v případě metody regulační) v určitém předem stanoveném rozsahu.

Výhoda metody je především v odstranění dodatečného přizpůsobování závěrných členů rozměrového řetězce. Nevýhodou je zvýšení počtu členů řetězce. Metoda se využívá zejména v kusové a malosériové výroba v případech, kdy přizpůsobovací práce na montáži by byly značně nákladné.

**Hodnota kompenzace  $\delta_K$  se stanoví ze vztahu:**

$$\delta_K = \delta'_{A_U} - \delta_{A_U} = \sum_{i=1}^m \delta'_{A_i} - \delta_{A_U}$$

kde:  $\delta'_{A_U}$  - poloviční tolerance uzavíracího členu  $A_U$  při rozšířených tolerancích všech členů řetězce;

$\delta_{A_U}$  - předepsaná poloviční tolerance uzavíracího členu  $A_U$  při původních tolerancích;

$\delta_{A_i}$  - hodnota rozšířených polovičních tolerancí členů řetězce  $A_i$ .

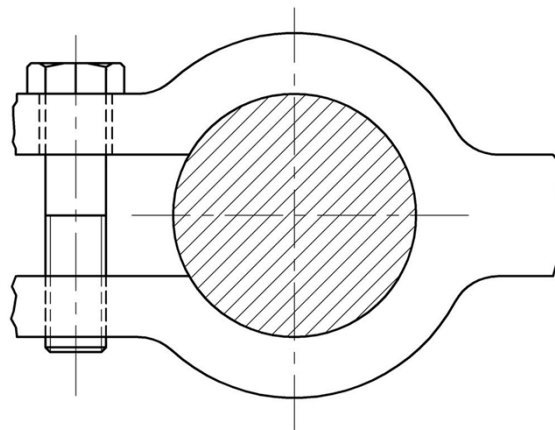
Pro vkládané kompenzátory se stanoví počet kompenzačních stupňů.

**Stanovení počtu kompenzačních stupňů  $M$**  (přijímá se obvykle sudá hodnota):

$$M = \frac{\delta_K}{\delta_{AU}} = \frac{\delta_{AU}^* - \delta_{AU}}{\delta_{AU}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{A_i}^* - \delta_{AU}}{\delta_{AU}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{A_i}^*}{\delta_{AU}} - 1$$

### 3.3.6. Metoda regulační (pohyblivý člen)

Metoda je založena na obdobném principu jako metoda kompenzační a tudíž využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to změnou polohy určeného členu rozměrového řetězce (tzv. pohyblivý konstrukční kompenzátor). Pohyblivou kompenzační součástí může být např. stavěcí lišty, klín ve vodících saních soustruhu, mechanismus regulace polohy vnějšího kroužku válečkového ložiska apod. Výhody a nevýhody metody jsou obdobné jako u metody kompenzační.



Obr. 16 Příklad pohyblivého konstrukčního kompenzátoru



### Shrnutí kapitoly

Metoda úplné vyměnitelnosti součástí, metoda částečné vyměnitelnosti součástí, metoda výběrová (selektivní), metoda lícování (úprava na místě), metoda kompenzační (pevný člen), metoda regulační (pohyblivý člen).



### Kontrolní otázka

1. Uveďte praktický příklad použití metody úplné vyměnitelnosti součástí v praxi?
2. Uveďte praktický příklad použití metody částečné vyměnitelnosti součástí v praxi?
3. Uveďte praktický příklad použití metody výběrové v praxi?
4. Uveďte praktický příklad použití metody kompenzační v praxi?
5. Uveďte praktický příklad použití metody regulační v praxi?
6. Uveďte praktický příklad použití metody lícovací v praxi?

## 4. TECHNICKÁ PŘÍPRAVA MONTÁŽE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Budete schopni definovat technickou přípravu montáže.
- Budete schopni definovat konstrukční přípravu montáže.
- Budete schopni definovat technologickou přípravu montáže.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Navrhnout jednoduché schéma montáže.
- Stanovit náležitosti montážního postupu.
- Sestavit procesní list.

**Budete schopni**

Obdobně jako při přípravě výroby součásti musí i zadání montážního postupu nutně obsahovat informace o předpokládaném objemu výroby. Zadáním množství produkce v čase, které obecně ovlivňuje technologický postup a technickoorganizační formu montáže.

Technická příprava montáže (TPM) se skládá z:

- **konstrukční přípravy montáže (KPM)** a
- **technologické přípravy montáže (TgPM).**

### 4.1. Konstrukční a technologická příprava montáže (KPM)



**Čas ke studiu:** 3 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat konstrukční přípravu montáže.  
Popsat možnosti technologické přípravy montáže a potřebnou dokumentaci pro montáž.



**Výklad**

#### 4.1.1. Konstrukční příprava montáže (KPM)

**Konstrukční příprava montáže (KPM)** je určena výkresem sestav, podsestav, součástí a příslušným kusovníkem obsahující následující konstrukční charakteristiky montážní jednotky:

- konečný tvar a vnější rozměry;
- rozdělení do montážních skupin a podskupin;
- základní součásti včetně spojovacích součástí;
- počet, druh a označení spojů;
- výsledné funkční rozměry montážních skupin a celků;
- zvláštní požadavky na montáž aj.

Součástí výrobní dokumentace má být **kusovník**. Z kusovníku má být patrné, jaké součásti a skupiny a v jakých množstvích jsou potřebné k zhotovení montážní jednotky. Každý kusovník by měl obsahovat:

- číslo vyšší součásti (označení kusovníku),
- číslo nižší součásti,
- údaje o množství,
- pozice (pomocný údaj).

#### 4.1.2. Technologická příprava montáže (TgPM)

**Technologická příprava montáže (TgPM)** vychází z konstrukčních podkladů (výkresy sestav, podsestav, součástí; kusovníky).

Podle složitosti a členění výrobku obsahuje technologická dokumentace obvykle:

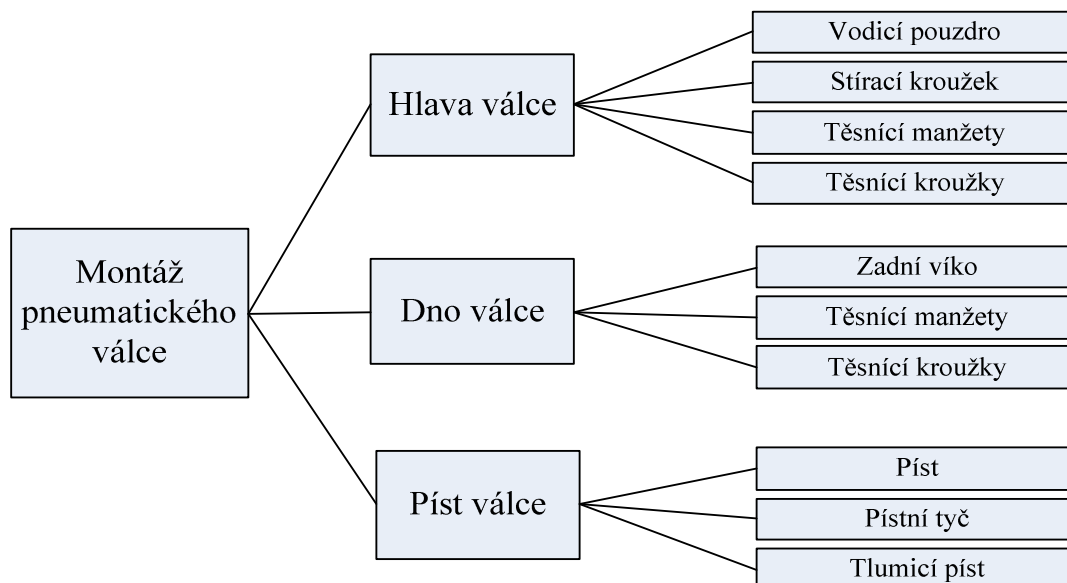
- montážní schéma,
- technologický postup montáže,
- procesní list montáže.

#### Montážní schéma

Z hlediska montáže se každý složitější strojírenský výrobek člení do tzv. montážních prvků, to jsou skupiny a části strojů, které mohou být montovány odděleně a nezávisle na ostatních částech výrobku. Členění výrobků na menší celky je obvykle ve shodě s jeho konstrukční dokumentací.

Montážní schéma je výchozím podkladem pro zpracování technologického postupu montáže a dává přehled o vzájemném spojení součástí. Dále by z montážního schématu mělo být patrné jaké součásti a v jakém pořadí mají být vzájemně spojovány, rozmístění součástí pro správnou organizaci montáže, obsahovat čísla výkresů, normy ISO, EN, ČSN, počty kusů aj.

Je podkladem nejen pro řešení konkrétní technologie montáže, ale i pro organizaci a řízení montážního procesu. Obrázek níže znázorňuje jednoduché montážní schéma pneumatického válce.



**Obr. 17 Montážní schéma pneumatického válce**

### Technologický postup montáže

V kusových a malosériových montážích, pro které jsou typické koncentrované operace, není fotografické zobrazení montáže vhodně a ani ekonomické, proto jsou často využívány přímo sestavné výkresy doplněné o technologický postup montáže.

Technologický postup montáže zpravidla obsahuje:

- pořadí jednotlivých operací,
- popis postupu práce v jednotlivých operacích,
- nářadí, přípravky, pomůcky,
- zatřídění práce a normy času (kvalifikační třída pracovníka, jednotkový a dávkový čas aj.).

V sériové a hromadné výrobě, nebo u složitých montážních činnostech se zpracovávají montážní návody, které obsahují:

- podrobný popis montážních činností a jejich sled,
- technické parametry pro nářadí a pomůcky,
- náčrtek montážního uzlu,
- dílčí normy času.

Operační návody se s výhodou užívají zvláště u typových montážních operací (zde je nutné dále stanovit oblast a rozsah použití).

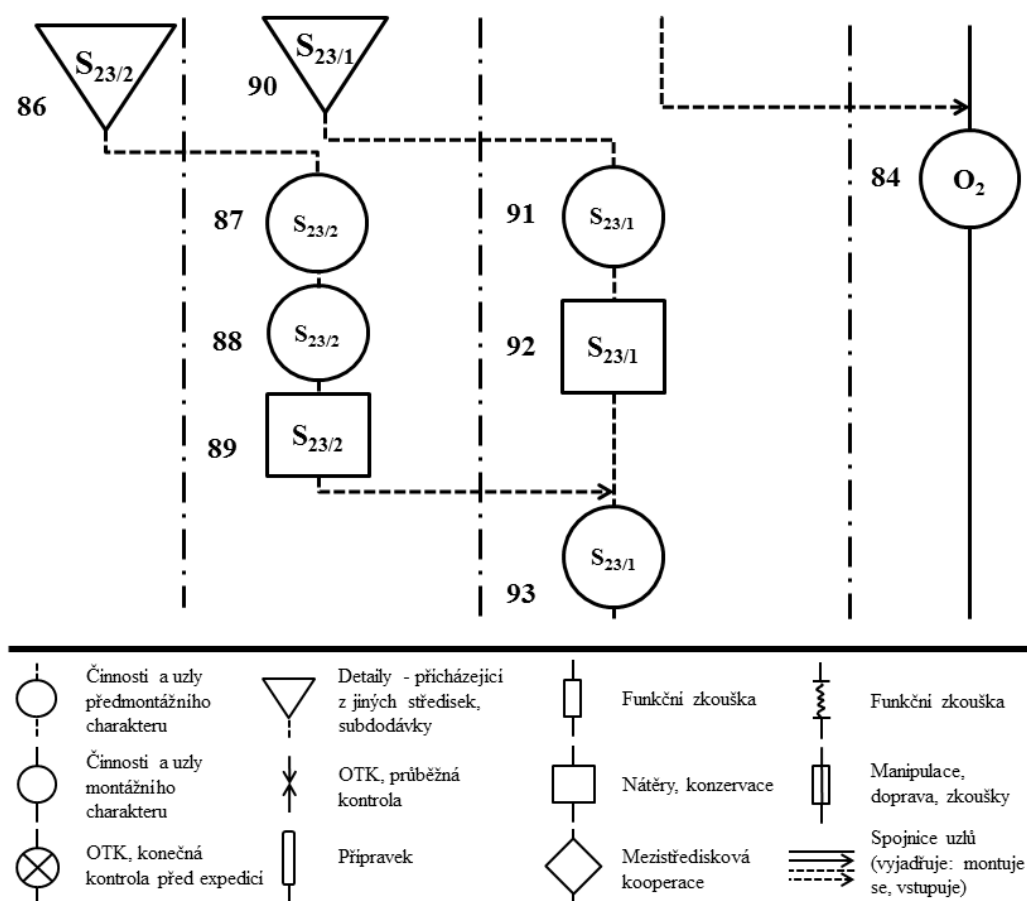
|                                  |                                                          |               |                  |                            |                            |                           |                |                  |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| <b>Montážní postup</b>           |                                                          |               |                  | <b>Typ stroje:</b>         |                            |                           |                |                  |
|                                  |                                                          |               |                  | <b>Sestava:</b>            | <b>Výrobní číslo:</b>      | <b>Pozice:</b>            |                |                  |
| <b>Závod:</b>                    |                                                          |               |                  | <b>Podsestava:</b>         | <b>Výrobní číslo:</b>      | <b>Pozice:</b>            |                |                  |
| <b>Vypracoval:</b>               |                                                          | <b>Datum:</b> |                  | <b>Třídící číslo:</b>      |                            |                           |                |                  |
| <b>Schválil:</b>                 |                                                          | <b>Datum:</b> |                  |                            |                            |                           |                |                  |
| <b>Pozice:</b>                   | <b>Výkres číslo:</b>                                     |               | <b>Název:</b>    |                            | <b>Počet ks:</b>           |                           |                |                  |
| 2206                             | 3 08 16 044                                              |               | Pastorek hřídele |                            | 1                          |                           |                |                  |
| 2209                             | ČSN 02 4336                                              |               | Ložisko 6205     |                            | 2                          |                           |                |                  |
| 2210                             | 4 08 16 045                                              |               | Ozubené kolo     |                            | 1                          |                           |                |                  |
| 2211                             | 4 08 16 046                                              |               | Ozubené kolo     |                            | 1                          |                           |                |                  |
| 2212                             | 4 08 16 046                                              |               | Pero             |                            | 2                          |                           |                |                  |
| <b>Úkon:</b>                     | <b>Popis práce:</b>                                      |               |                  | <b>Nástroje a pomůcky:</b> | <b>Čas přípravy [min]:</b> | <b>Čas kusový [min]::</b> |                |                  |
| 1                                | Příprava součástí na pracovišti                          |               |                  |                            | 0,5                        |                           |                |                  |
| 2                                | Montáž ložiska poz. 2209 na průměr levé strany poz. 2206 |               |                  | Pákový lis                 |                            | 1,6                       |                |                  |
| 3                                | Montáž pera poz. 2212 do drážky hřídele poz. 2206        |               |                  | Kladívko                   |                            | 0,3                       |                |                  |
| 4                                | Montáž poz. 2210 na průměr součástí poz. 2206            |               |                  | Přípravek                  |                            | 0,4                       |                |                  |
| 5                                | Montáž pera poz. 2212 do drážky hřídele poz. 2206        |               |                  | Kladívko                   |                            | 0,3                       |                |                  |
| 6                                | Montáž poz. 2211 na průměr poz. 2206 suvně               |               |                  |                            |                            | 0,4                       |                |                  |
| 7                                | Montáž poz. 2209 na průměr pravé strany poz. 2206        |               |                  | Pákový lis                 |                            | 1,6                       |                |                  |
| 8                                | Kontrola podsestavy                                      |               |                  |                            |                            | 0,4                       |                |                  |
| 9                                | Odložení smontované součásti                             |               |                  |                            |                            | 0,2                       |                |                  |
|                                  |                                                          |               |                  |                            |                            |                           |                |                  |
|                                  |                                                          |               |                  |                            |                            |                           |                |                  |
|                                  |                                                          |               |                  |                            |                            |                           |                |                  |
| Celkem                           |                                                          |               |                  |                            |                            | 5,2                       |                |                  |
| 10 % na technologickou přestávku |                                                          |               |                  |                            |                            | 0,52                      |                |                  |
| <b>Změna:</b>                    | <b>Číslo změny:</b>                                      | <b>Datum:</b> | <b>Podpis:</b>   | <b>Změna:</b>              | <b>Číslo změny:</b>        | <b>Datum:</b>             | <b>Podpis:</b> | <b>Poznámka:</b> |
|                                  |                                                          |               |                  |                            |                            |                           |                |                  |

**Obr. 18 Příklad technologického postupu montáže**



## Procesní list montáže

Využívání procesních listů v technické přípravě montáže zatím není příliš rozšířeno, a to i přesto, že se jedná o dokument, který kumuluje řadu výhod montážního postupu a montážního schématu. Procesní list se začíná kreslit v pravém horním rohu. Zde se zaznamená hlavní součást a pod ní se ve svislém směru znázorňují operace, které se na součásti provádějí. Ostatní části se znázorňují vlevo stejným způsobem, když se tyto části přiblíží k hlavní skupině, do které vstupují, znázorní se to spojením obou částí vodorovnou čarou.



Obr. 19 Ukázka části procesního listu montáže



## Shrnutí kapitoly

Technická příprava montáže (TPM), konstrukční přípravy montáže (KPM), technologické přípravy montáže (TgPM), montážní schéma, technologický postup montáže, procesní list montáže, montážní návodka.



## Kontrolní otázka

1. Co zahrnuje technická příprava montáže (TPM)?

2. Co je to konstrukční příprava montáže (KPM)?
3. Co znamená technologická příprava montáže (TgPM)?
4. Co je montážní schéma?
5. Co by měl obsahovat technologický postup montáže?
6. K čemu se využívá procesní list montáže?
7. Co je to montážní návodka?

## 5. MONTÁŽNÍ SPOJE A JEJICH KLASIFIKACE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Definovat montážní spojení.
- Klasifikovat montážní spoje.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Stanovit ovlivňující faktory na volbu druhu montážního spoje.

**Budete schopni**

Při montáži se součásti popř. montážní skupiny a podskupiny spojují různými způsoby a za použití četné řady spojovacích prvků. Tyto prvky lze charakterizovat z různých hledisek. V uvedené kapitole bude provedena klasifikace základních spojovacích prvků.

### 5.1. Montážní spoje



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat montážní spoje.

Popsat technologické, konstrukční a ekonomické faktory druhů montážních spojů.

Vliv kvality obrobení na spojování součástí.



**Výklad**

Montážní spoj je základem montážního procesu a je místem pohyblivého nebo nepohyblivého styku minimálně dvou součástí.

Všechny druhy spojů jsou charakterizovány různými technologickými, konstrukčními a ekonomickými i ekologickými faktory, mezi které zejména patří:

- volba tvaru spojového uzlu,
- stupeň vzájemného pohybu,
- silové poměry a vazby součástí,
- možnost rozebírání součástí,

- technologičnost montáže a demontáže,
- druh kontaktu ploch,
- nutné přídavné materiály na spojení (pájky, lepidla).
- pevnost, chemická stálost.

Při slícování jsou nejdůležitější styčné (slícované) plochy součástí. Tyto plochy mohou být rovinné nebo oblé (zakřivené). Kvalita obrobení dosedací (spojovací) plochy se řídí podle funkce součástí. Pro podřadné účely většinou postačuje hrubší obrobení, naproti tomu lícovací a vodící plochy, plochy ozubení nebo valivé plochy vyžadují zpravidla jemné opracování ploch. Před spojováním se hotové součásti překontrolují, zda vyhovují požadavkům kladeným na přesnost rozměrů, úchylky tvaru, polohy, jakož i na kvalitu povrchu.



## Shrnutí kapitoly

Montážní spoje.



## Kontrolní otázka

1. Co to znamená montážní spoj?
2. Co náleží mezi konstrukční faktory montážních spojů?
3. Co náleží mezi technologické faktory montážních spojů?
4. Co náleží mezi ekonomické faktory montážních spojů?
5. Co náleží mezi ekologické faktory montážních spojů?



## Úkol k řešení

1. Uveďte praktický příklad montážního spoje.
2. Uveďte praktický příklad konstrukčního faktoru montážních spojů.
3. Uveďte praktický příklad technologického faktoru montážních spojů.
4. Uveďte praktický příklad ekonomického faktoru montážních spojů.
5. Uveďte praktický příklad ekologického faktoru montážních spojů.

## 5.2. Základní klasifikace montážních spojů



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Klasifikovat montážní spoje z různých hledisek.  
Definovat rozebíratelné, podmíněně rozebíratelné a nerozebíratelné spojení.  
Definovat spojení s bezprostředním nebo zprostředkovaným kontaktem.  
Definovat spojení pohyblivá a nepohyblivá.



**Výklad**

Existuje řada klasifikací montážních spojů, například z hlediska konstrukčního, technologického, přístupnosti, ekonomičnosti aj.

Mezi základní klasifikace montážních spojů lze vyjmenovat klasifikace:

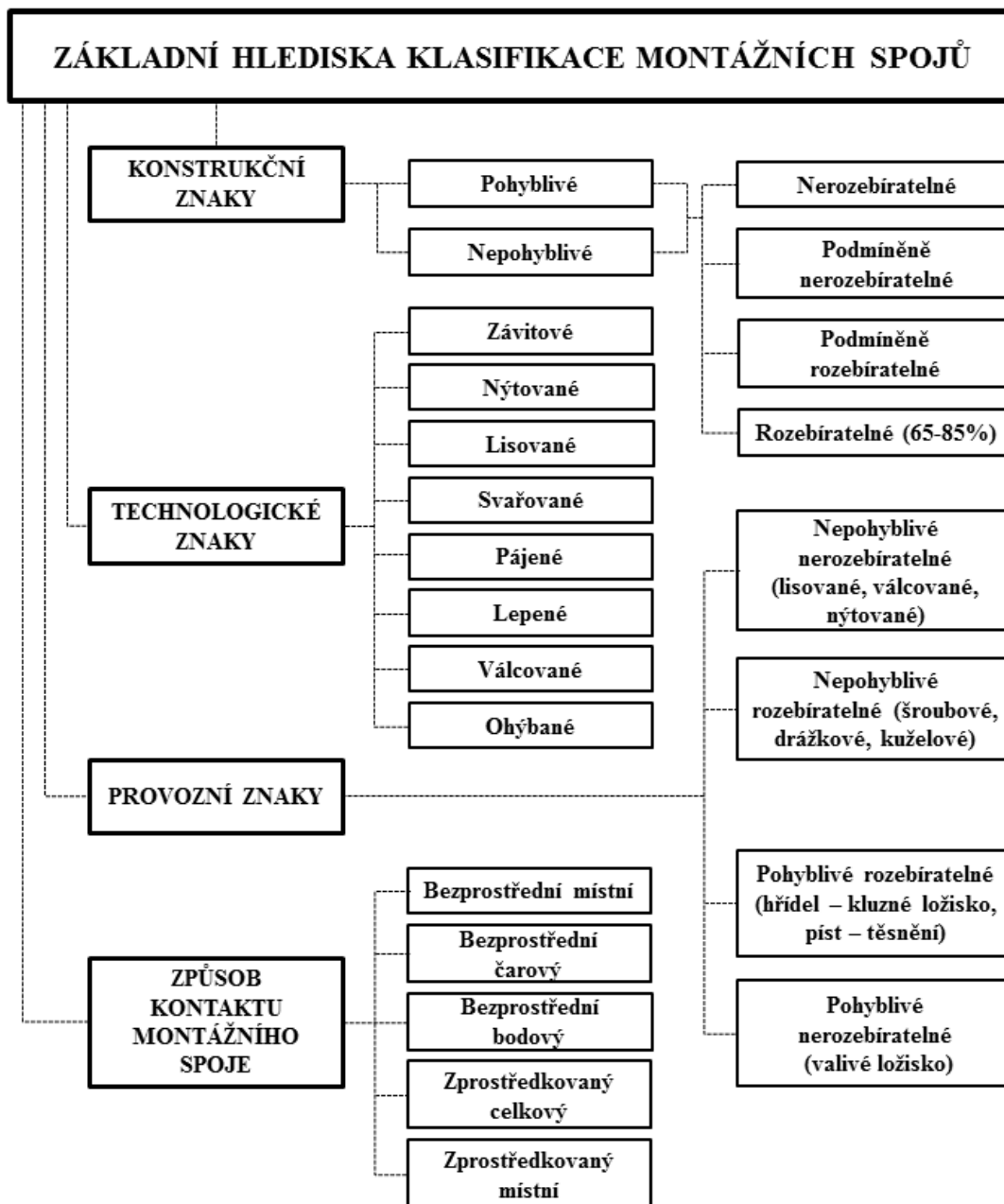
- spojení rozebíratelné, podmíněně rozebíratelné a nerozebíratelné bez poškození součástí;
- spojení s bezprostředním nebo zprostředkovaným kontaktem;
- spojení pohyblivá a nepohyblivá.

Rozebíratelnými spoji jsou například spoje zajišťované šrouby, kolíky, klíny, čepy, pery a mohou se snadno a bez poškození spojovaných i spojovacích součástí uvolnit a znovu spojit. U spojů nerozebíratelných se musí při uvolňování porušit spojovací prvek, např. ustříhnout hlava nýtu po operaci nýtování, náleží sem i operace svařování, lepení, nalisování, pájení, Podmíněně rozebíratelnými spoji rozumíme například spoje lisované.

Spojení s bezprostředním kontaktem jsou zajištěna např. ložisky, ozubenými převody, závitovými spojení, atd. Zprostředkovaný kontakt je realizován přes zprostředkující materiál např. svařování, pájení, lepení, atd.

Pohyblivá spojení můžeme realizovat přes hřídelové spojky, ložiska, pohybové šrouby aj. Nepohyblivá např. svařováním, pájením, lepením, nalisováním s přesahem aj.

Na montáži je možno také součásti spojovat přímo (bez zvláštních spojovacích prvků), například svařováním, nalisováním a lepením.



Obr. 20 Základní klasifikace montážních spojů



## Shrnutí kapitoly

Spojení rozebíratelné, spojení podmíněně rozebíratelné, spojení nerozebíratelné, spojení s bezprostředním kontaktem, spojení se zprostředkovaným kontaktem, spojení pohyblivá, spojení nepohyblivá.



## Kontrolní otázka

1. Co je spojení rozebíratelné?
2. Co je spojení podmíněně rozebíratelné?
3. Co je spojení nerozebíratelné?
4. Co je spojení s bezprostředním kontaktem?
5. Co je spojení se zprostředkovaným kontaktem?
6. Co jsou spojení pohyblivá?
7. Co jsou spojení nepohyblivá?



### Úkol k řešení

1. Uveďte praktický příklad rozebíratelného spojení.
2. Uveďte praktický příklad podmíněně rozebíratelného spojení.
3. Uveďte praktický příklad nerozebíratelné spojení.
4. Uveďte praktický příklad spojení s bezprostředním kontaktem.
5. Uveďte praktický příklad spojení se zprostředkovaným kontaktem.
6. Uveďte praktický příklad pohyblivého spojení.
7. Uveďte praktický příklad nepohyblivého spojení.

## 6. KONTROLA TVARU A VZÁJEMNÉ POLOHY SOUČÁSTÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Budete umět rozdělit a označit geometrické tolerance.
- Budete umět stanovit toleranci přímosti, rovinnosti, kruhovitosti, válcovitosti, toleranci profilu podélného řezu, souososti a soustřednosti, souměrnosti, umístění.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Budete schopni definovat základní druhy tolerancí tvaru a polohy.
- Schopni si vyhledat hodnoty všeobecných geometrických tolerancí pro danou třídu přesnosti a měřený rozsah.

**Budete schopni**

Všeobecně se ve strojírenské výrobě nelze obejít bez tolerování rozměrů. Čtenář bude v této kapitole seznámen se základními druhy geometrických tolerancí tvaru a polohy, které jsou využívány nejčastěji při hodnocení délkových rozměrů.

### 6.1. Rozdělení a značení geometrických tolerancí tvaru a polohy



**Čas ke studiu:** 4 hodina



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat normu popisující geometrické tolerance.  
Popsat předepisování geometrických tolerancí na výrobních výkresech.  
Zapsat geometrické tolerance.



**Výklad**

K přesným hodnotám délkových rozměrů, které definují geometrický tvar součásti, se předepisují hodnoty mezních úchylek. Tyto součásti ovšem nemají přesný geometrický tvar, stejně tak jako nemají absolutně přesné rozměry. Z tohoto důvodu je nutné tolerovat nejen délkové rozměry, ale i geometrický tvar a vzájemnou polohu součástí pomocí příslušných geometrických tolerancí.

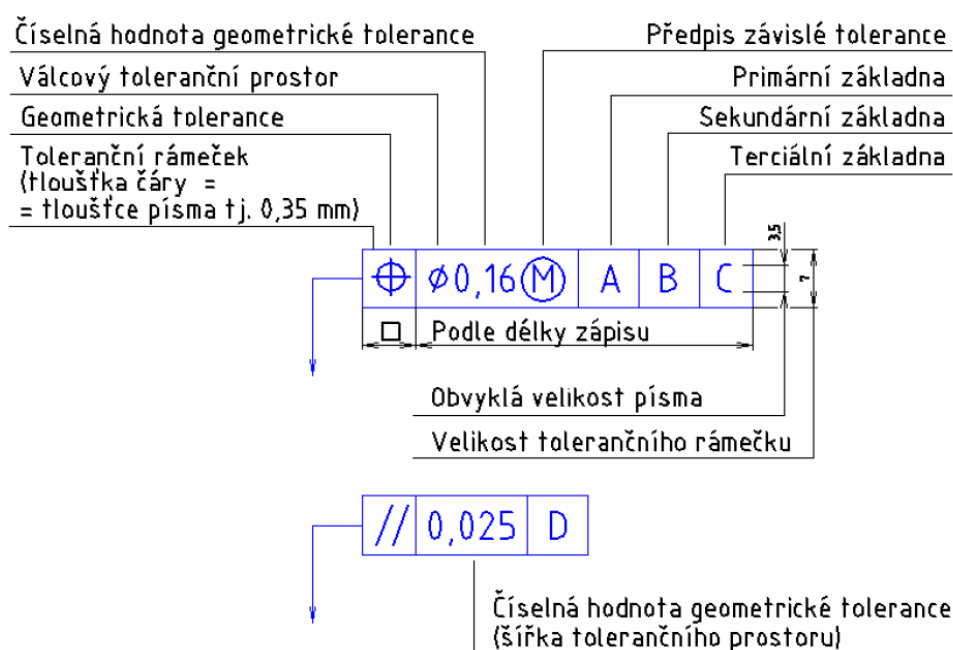


Geometrické tolerance zásadně ovlivňují montáž i funkci výsledného zařízení a jsou vždy vztaženy ke dvěma nebo více prvkům. Hodnoty všeobecných geometrických tolerancí pro danou třídu přesnosti a měřený rozsah udává norma ČSN ISO 2678-1.

|                                   |                                                                                           |                                                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| tolerance tvaru                   | tolerance přímosti                                                                        | –                                                                                     |
|                                   | tolerance rovinnosti                                                                      |    |
|                                   | tolerance kruhovitosti                                                                    |    |
|                                   | tolerance válcovitosti                                                                    |    |
|                                   | tolerance profilu podélného řezu                                                          | =                                                                                     |
| tolerance polohy                  | tolerance rovnoběžnosti                                                                   | //                                                                                    |
|                                   | tolerance kolmosti                                                                        |    |
|                                   | tolerance sklonu                                                                          |    |
|                                   | tolerance souososti                                                                       |    |
|                                   | tolerance souměrnosti                                                                     |    |
|                                   | tolerance jmenovité polohy prvku                                                          |    |
|                                   | tolerance různoběžnosti os                                                                | ×                                                                                     |
| souhrnné tolerance tvaru a polohy | tolerance obvodového házení<br>tolerance čelního házení<br>tolerance házení v daném směru |    |
|                                   | tolerance úplného obvodového házení<br>tolerance úplného čelního házení                   |   |
|                                   | tolerance tvaru daného profilu<br>tolerance tvaru dané plochy                             |  |
|                                   |                                                                                           |                                                                                       |
|                                   |                                                                                           |                                                                                       |
|                                   |                                                                                           |                                                                                       |

**Obr. 21 Rozdělení a značení geometrických tolerancí**

Pro předepisování na výrobních výkresech platí následující předepisování viz obrázek níže.



**Obr. 22 Správné zapsání geometrické tolerance na výkrese (viz lit. Svoboda, P. – Brandejs J.)**

## 6.2. Základní druhy geometrických tolerancí tvaru a polohy



**Čas ke studiu:** 4 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat tolerance tvaru a polohy.

Vysvětlit a prakticky znázornit tolerance tvaru a polohy.

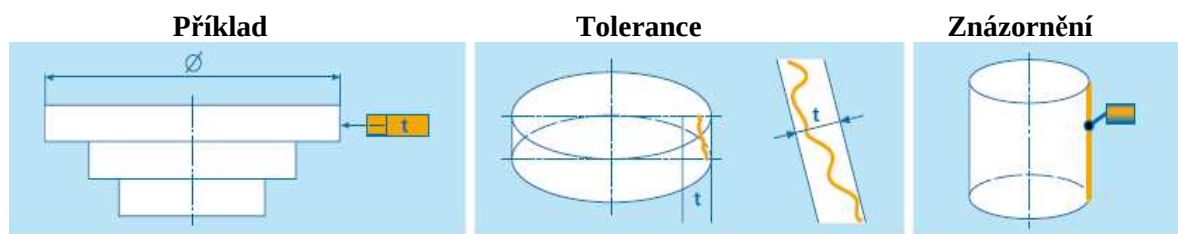


**Výklad**

### 6.2.1. Tolerance tvaru

#### Přímost

Toleranční pole tvoří dvě navzájem rovnoběžné přímky ve vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud její povrchová linie leží mezi těmito hraničními přímkami, nebo se jich nanejvýš dotýká. Vzdálenost „ $t$ “ – udává velikost tolerančního pole.



Obr. 23 Příklad znázornění přímosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

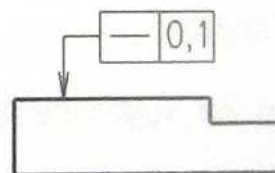
**Tolerance  
přímosti**



**Vysvětlení tolerance**



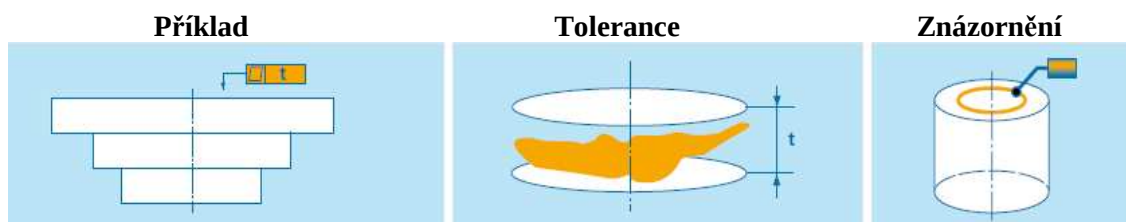
**Příklad předpisu**



Obr. 24 Vysvětlení a praktický příklad předpisu přímosti

## Rovinnost

Toleranční pole tvoří dvě navzájem rovnoběžné roviny ve vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud její plocha leží v tolerančním poli, které je definované těmito rovinami.



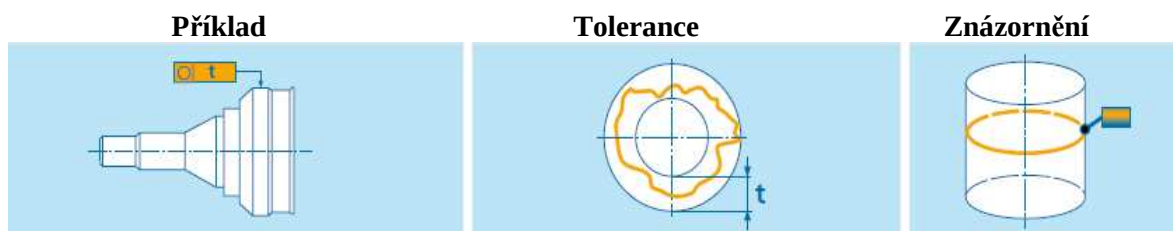
Obr. 25 Příklad znázornění rovinnosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)



Obr. 26 Vysvětlení a praktický příklad předpisu rovinnosti

## Kruhovitost

Toleranční pole tvoří dvě soustředné kružnice, ležící v radiální vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující pokud při libovolném radiálním řezu, leží její obvodové linie uvnitř tolerančního pole.

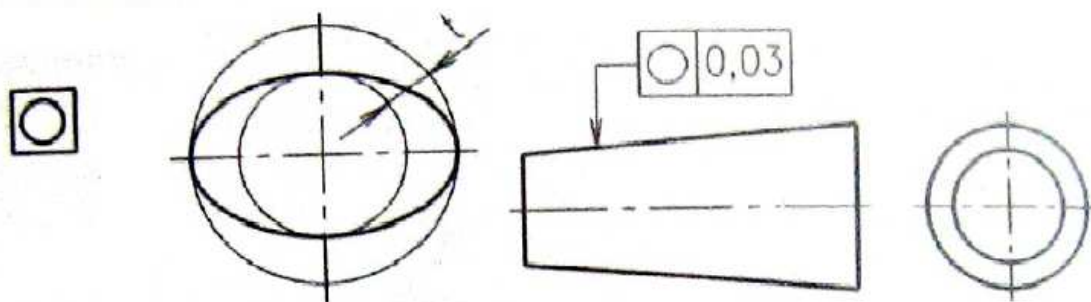


Obr. 27 Příklad znázornění kruhovitosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

### Tolerance kruhovitosti

### Vysvětlení tolerance

### Příklad předpisu



Obr. 28 Vysvětlení a praktický příklad předpisu kruhovitosti

### Válcovitost

Dálo by se říct, že válcovitost je prostorovou verzí kruhovitosti. Toleranční pole je tvořeno dvěma souosými válci se vzájemnou radiální vzdáleností  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud měřená osa nevybočuje z tolerančního pole.

### Příklad

### Tolerance

### Znázornění

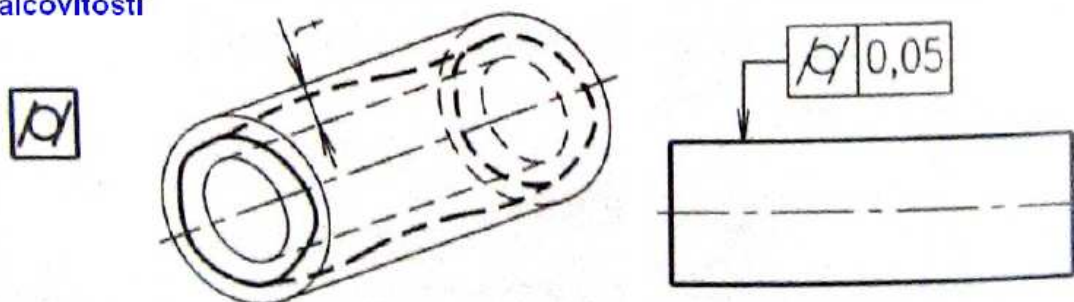


Obr. 29 Příklad znázornění válcovitosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

### Tolerance válcovitosti

### Vysvětlení tolerance

### Příklad předpisu



Obr. 30 Vysvětlení a praktický příklad předpisu válcovitosti

### Tolerance profilu podélného řezu

Toleranční pole tvoří dvě ekvidistantní křivky ve vzdálenosti  $t$ . Měřený profil je vyhovující, pokud nevybočuje z takto definovaného tolerančního pole.

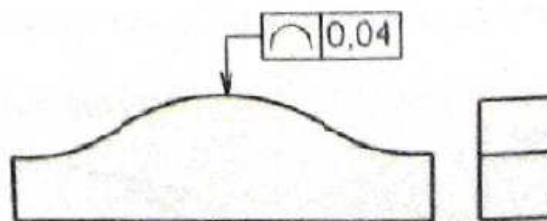
Tolerance  
tvaru profilu



Vysvětlení tolerance



Příklad předpisu

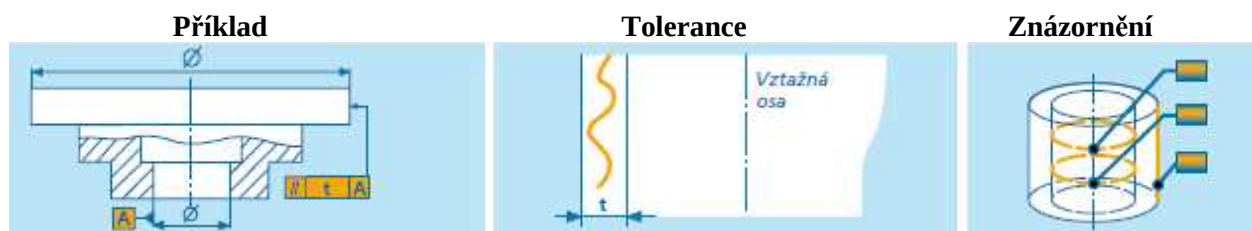


Obr. 31 Vysvětlení a praktický příklad předpisu tvaru profilu

## 6.2.2. Vybrané tolerance polohy

### Rovnoběžnost

Toleranční zóna, v níž musí ležet povrchové linie tolerovaného válce, je ohraničena 2 rovnoběžnými přímkami o vzdálenosti  $t$ , které jsou rovnoběžné se vztaznou osou.



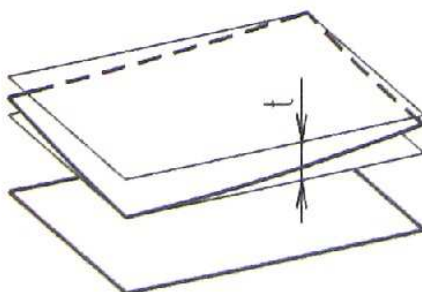
Obr. 32 Příklad znázornění rovnoběžnosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

Na níže uvedeném obrázku je příklad použití tolerance rovnoběžnosti. Tolerovaná rovina musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti  $t$  ( $t = 0,02 \text{ mm}$ ) a rovnoběžnými se základní rovinou (A).

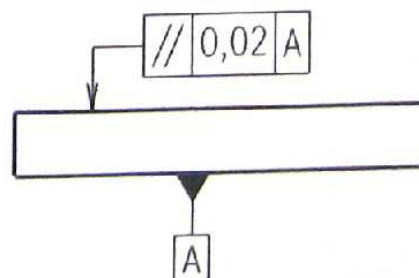
Tolerance  
rovnoběžnosti



Vysvětlení tolerance



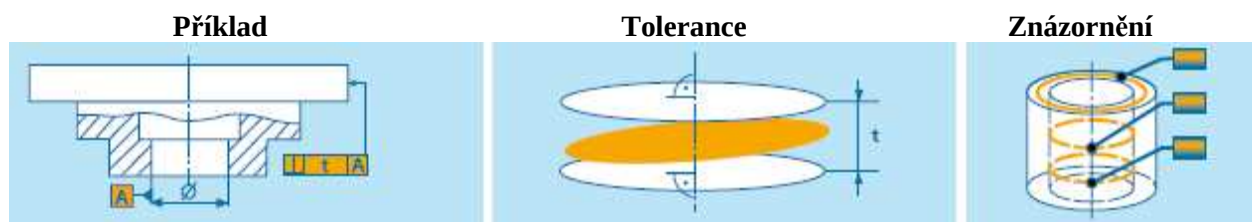
Příklad předpisu



Obr. 33 Vysvětlení a praktický příklad předpisu rovnoběžnosti

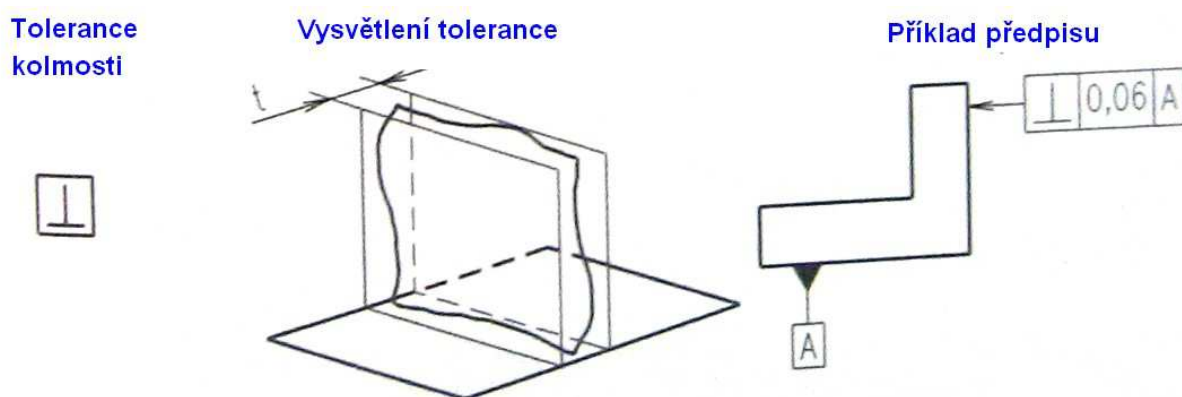
## Kolmost

Toleranční zóna je ohraničena 2 rovnoběžnými rovinami o vzdálenosti  $t$ , které jsou kolmé ke vztažné ose. Tolerované čelní plochy musí ležet mezi těmito rovinami.



Obr. 34 Příklad znázornění kolmosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

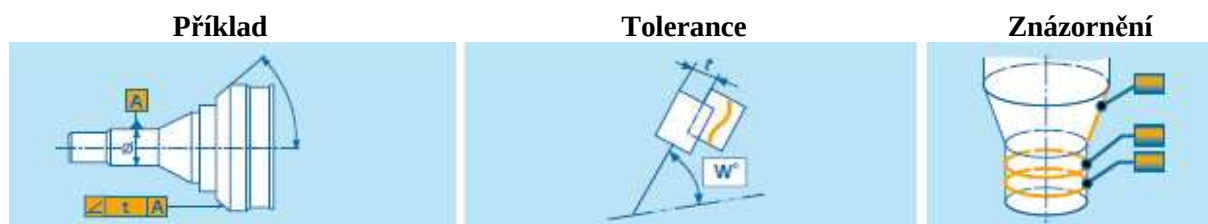
Na níže uvedeném obrázku je příklad použití tolerance kolmosti. Tolerovaná rovina musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance kolmosti  $t$  ( $t = 0,06 \text{ mm}$ ) a kolmými k základní rovině (A).



Obr. 35 Vysvětlení a praktický příklad předpisu kolmosti

## Sklon

Toleranční zóna je ohraničena 2 rovnoběžnými rovinami o vzdálenosti  $t$ , které jsou úhlově nakloněny ke vztažné ose. Tolerovaná plocha musí ležet mezi těmito rovinami.



Obr. 36 Příklad znázornění tolerance sklonu (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

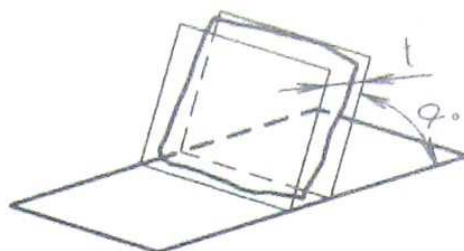
Na níže uvedeném obrázku je příklad použití tolerance sklonu. Tolerovaná rovina musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance  $t$  ( $t = 0,08 \text{ mm}$ ) a skloněnými od teoreticky přesného úhlu  $\alpha$  ( $\alpha = 35^\circ$ ) v základní rovině (A).



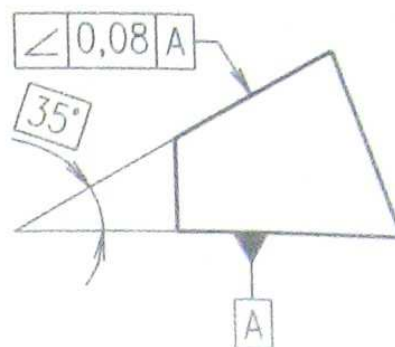
### Tolerance sklonu



### Vysvětlení tolerance



### Příklad předpisu

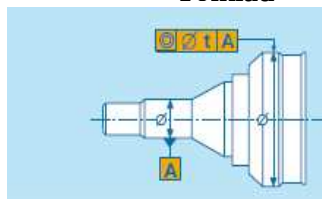


Obr. 37 Vysvětlení a praktický příklad předpisu sklonu

## Souosost a soustřednost

Toleranční pole je definováno válcem o průměru  $t$ , jehož osa se shoduje se základní osou. Měřená součást je vyhovující, pokud linii měřeného válce nevybočuje z tolerančního pole.

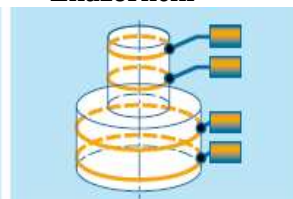
### Příklad



### Tolerance



### Znázornění

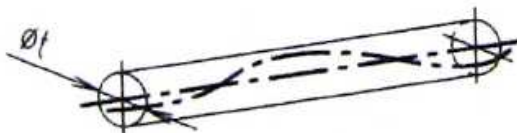


Obr. 38 Příklad znázornění souososti a soustřednosti (lit. společnosti HOMMEL CS s.r.o.)

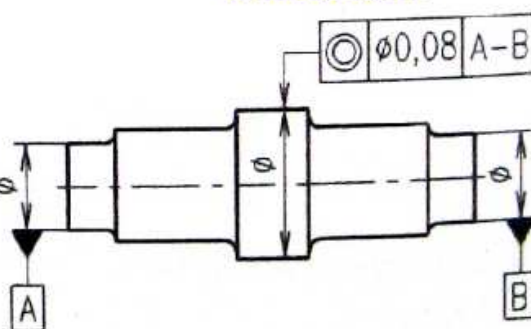
### Tolerance soustřednosti a souososti



### Vysvětlení tolerance



### Příklad předpisu



Obr. 39 Vysvětlení a praktický příklad předpisu souososti a soustřednosti

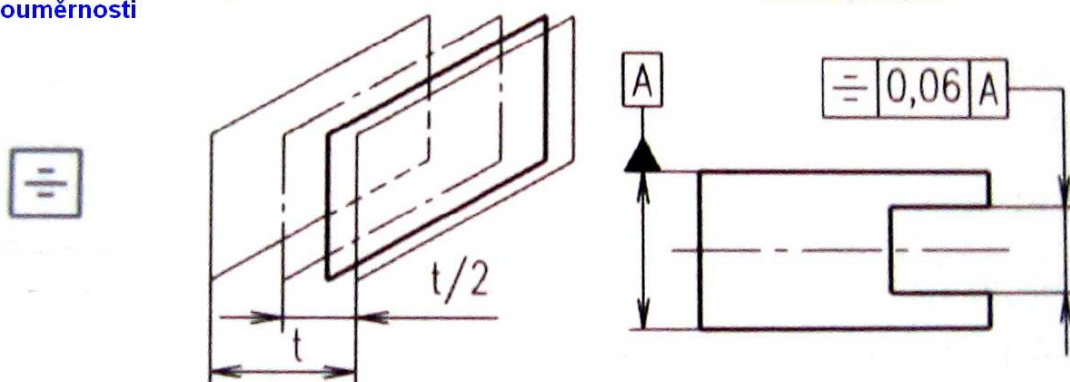
## Souměrnost

Toleranční pole definují dvě roviny v prostoru navzájem vzdáleny o hodnotu tolerance  $t$ , jejich osou je základní rovina souměrnosti. Na obrázku je předepsaná hodnota souměrnosti drážky vzhledem ke dvěma rovnoběžným bokům součásti.

#### Tolerance souměrnosti

#### Vysvětlení tolerance

#### Příklad předpisu



Obr. 40 Vysvětlení a praktický příklad předpisu tolerance souměrnosti

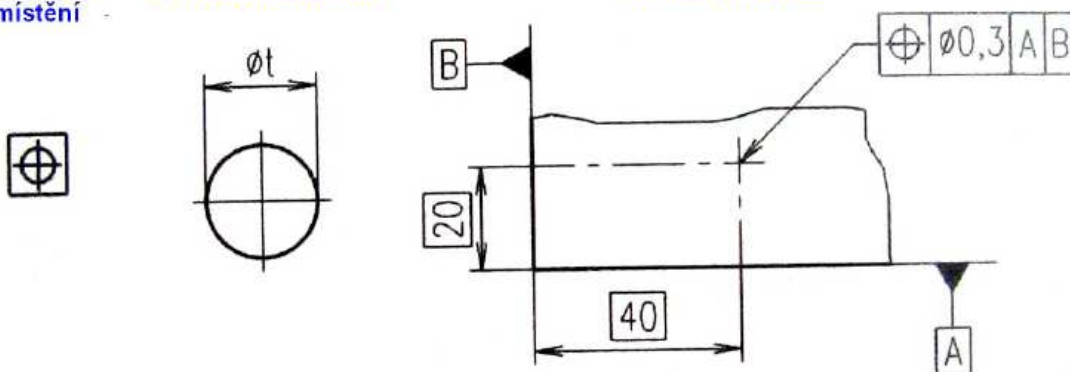
### Tolerance umístění - jmenovitá poloha prvku

Tato tolerance nám udává polohu prvku v rámci určitého tolerančního pole. Obrázek znázorňuje situaci, kdy osa tolerované díry musí ležet v kruhovém tolerančním poli o průměru t.

#### Tolerance umístění

#### Vysvětlení tolerance

#### Příklad předpisu



Obr. 41 Vysvětlení a praktický příklad předpisu tolerance umístění



### Shrnutí kapitoly

Tolerance tvaru, tolerance polohy, souhrnné tolerance tvaru a polohy, přímost, rovinnost, kruhovitost, válcovitost, profil podélného řezu, rovnoběžnost, kolmost, sklon, souosost, souměrnost, jednotlivé polohy prvku, různoběžnosti os.



### Kontrolní otázka

1. Jaké tolerance řadíme do tolerancí tvaru?
2. Jaké tolerance řadíme do tolerancí polohy?



3. Jaké tolerance řadíme do souhrnné tolerance tvaru a plohy?
4. Co nazýváme tolerancí přímosti?
5. Co nazýváme tolerancí rovinnosti?
6. Co nazýváme tolerancí kruhovitosti?
7. Co nazýváme tolerancí válcovitosti?
8. Co nazýváme tolerancí podélného řezu?
9. Co nazýváme tolerancí rovnoběžnosti?
10. Co nazýváme tolerancí kolmosti?
11. Co nazýváme tolerancí sklonu?
12. Co nazýváme tolerancí souosost?
13. Co nazýváme tolerancí souměrnosti?

## 7. MONTÁŽ ZÁKLADNÍCH SOUČÁSTÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Získáte přehled o problematice montáže základních součástí.
- Budete umět základy montáže čepů, kolíků, hřídelí, ozubených kol, ložisek.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Budete schopni definovat základní postup montáže základních strojírenských součástí.

**Budete schopni**

Montáží musí být zajištěn takový styk spojovaných součástí, který nejlépe vyhovuje požadavkům a podmínkám práce daného spojení. Vždy musíme uvažovat dosažení zadané přesnosti sledovaných parametrů a zvolit vhodný typ montáže, např. s úplnou vzájemnou zaměnitelností, neúplnou vzájemnou zaměnitelností, metodu selekce, použití pevných či stavitelných kompenzátorů aj.

### 7.1. Montáž typických strojních součástí



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat montáž typických strojních součástí.  
Zvolit vhodný typ montáže součástí.



**Výklad**

Výběr typu montáže vždy závisí na technicko-ekonomickém zhodnocení, protože každý z uvedených typů montáže má svá specifika s přednostmi a nedostatky.

#### 7.1.1. Montáž čepů

Strojní díl čep spojuje často dvě strojní součásti a zpravidla jim umožňuje vzájemně otáčivý pohyb. Prakticky se používají tedy k rozebíratelnému kloubovému spojení součástí nebo k pohyblivému uložení výkyvných součástí jako jsou páky, kliky, lanové kotouče, oběžná kola apod.

Rozlišujeme podle způsobu namáhání čepy:

- radiální – zatížení působí kolmo na osu čepu;
- axiální – zatížení působí ve směru osy čepu.

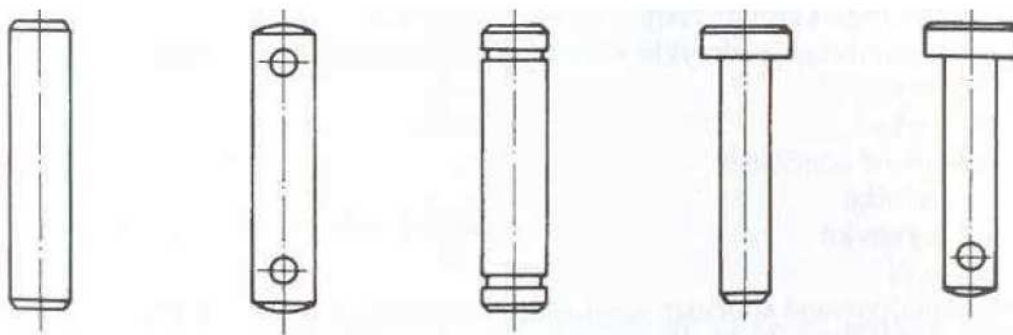
Při axiálním pohybu jsou čepy zajištěny buď pojistnými kroužky, závlačkami nebo maticemi. U vybraných spojů se rovněž požaduje zajištění proti otáčení.

Podle tvaru čepu mohou být:

- válcové;
- kuželové;
- kulové.

Čepy válcové rozdělujeme podle tvaru na:

- čep hladký – ČSN 02 2101, ČSN 02 2102;
- čep s otvory pro závlačky – ČSN 02 2106 až ČSN 02 2108;
- čep s drážkami – ČSN 02 2105;
- čep s hlavou – ČSN 02 2109;
- čep s hlavou a otvorem pro závlačku – ČSN 02 2111.



**Obr. 42 Možnosti čepů pro montáž**

Podle funkce rozeznáváme čepy:

- hřídelové a
- spojovací.

Čep je nutno axiálně spolehlivě zajistit. Zajištění musí být jednostranné, aby čep při tepelné dilataci nedeformoval protikus (např. píst). Proti otáčení se čep zajišťuje perem. Montuje-li se pístní čep pevně do ojnicního oka, používají se ke vzájemnému zajištění šrouby popřípadě pojistné kroužky.

Mazání čepu je umožněno dírami v oku ojnice, čepy jsou zpravidla mazány odstříkovaným olejem za provozu.

### **7.1.2. Montáž hřídelů**

Při montáži hřídelů je třeba stanovit, zda se jedná o hřídele nosné nebo pohybové. Nosné hřídele nesou jiné otáčející se součásti. Jakožto příklad lze uvést například nápravy automobilů, nosné hřídele pro kola vozidel aj. Tyto hřídele jsou namáhány na ohyb a počítají se obdobně jako nosníky.

Naopak pohybové hřídele přenášejí krouticí moment ze součásti (místa pohonu) na součást (místo pracovnímu). Namáhány jsou také ohybovým momentem a tíhou kol, řemenic spojek aj.

## **Montáž pohybových hřídelů**

Pohybové hřídele jsou namáhány především n krouticí moment, který hřídel přenáší, a dále ohybem vyvolaným tíhou kol, řemenic aj. Tyto součásti je proto třeba montovat co nejbližší k ložiskům s cílem snížení ohybového namáhání.

Hřídele je tedy nutno počítat jak na krut, tak na ohyb. Výsledné namáhání bude namáhání kombinované krut – ohyb, například podle Bachovy teorie redukovaného napětí.

## **Montáž dutých hřídelů**

Jádro hřídele je minimálně zatíženo, a proto jeho vynechání prakticky nesníží pevnost hřídele. Tímto způsobem lze snížit hmotnost hřídele. Otvor v hřídeli lze využít pro různé technologické účely. Zpravidla se používají k přenosu velkých krouticích momentů na poměrně velkou vzdálenost.

Příkladem mohou být třeba klikové hřídele motorů, kde jsou otvory pro mazání nebo hřídel Kaplanovy vodní turbíny, kde se volný prostor využívá pro vedení ovládání lopatek oběžného kola. Jsou však výrobně náročnější a dražší.

## **Montáž ohebných hřídelů**

Používá se často pro případy, kde hnací a hnaný hřídel neleží v jedné ose a během práce mění svoji polohu. Na středný přímý drát je navinuto 5 až 6 vrstev drátu postupně většího průměru. Každá následující vrstva má však opačný směr vinutí. Konstrukce těchto hřídelů je obdobná jako konstrukce ohebných kovových hadic.

Ohebné hřídele přenášejí výkon až do 11 kW. Hřídele je třeba opatřit ochrannou hadicí a z bezpečnostních důvodů je nepoužívat volně. Ochranná hadice navíc umožňuje naplnění prostoru hřídele mazivem, které snižuje tření a tím opotřebení jednotlivých částí hřídele.

Právě z důvodu velkého tření a menší pevnosti ohebných hřídelů se tyto hřídele v dnešní době příliš nepoužívají. Častěji se pro přenos rotačního pohybu používá hydraulický nebo elektrický převod. Stále se zmenšující rozměry hydraulických nebo elektrických motorů umožňují pohodlnější převod na flexibilní konec hřídele.

### **7.1.3. Montáž a demontáž ložisek**

Montáž ložisek s bodovým a čárovým stykem vyžaduje zručnost a udržování čistoty, aby byla zajištěna správná funkce ložiska a nedošlo k jeho předčasné havárii. Ložisko musí být správně namontováno, aby dosáhlo nejdelší možné provozní trvanlivosti. To je však často mnohem obtížnější, než by se mohlo zdát, především v případě velkorozměrových ložisek. Volba způsobu montáže závisí na typu a velikosti ložiska. Kroužky ložisek, klece, valivá tělesa a těsnění nesmějí být poškozeny přímými údery kladiva a montážní síla nesmí být přenášena valivými tělesy.

Způsoby montáže:

- mechanicky;
- hydraulicky;
- ohřevem.

Ložiska by měla být montována v suchém a bezprašném prostředí. Je tedy důležité zvolit správný způsob montáže a vhodné montážní nářadí. V zásadě je vhodné používat rukavice a zdvihací zařízení, která byla speciálně navržena pro montáž a demontáž ložisek. Ložiska je třeba ponechat v původním obalu až do okamžiku montáže, aby nedošlo k jejich možnému znečištění. Pokud mají být ložiska montována v nechráněném prostředí, jak tomu často bývá v případě velkých ložisek, je nutno provést taková opatření, aby ložisko i místo montáže byly chráněny proti znečištění prachem, částicemi nečistot a vlhkostí, dokud není montáž dokončena. V normálních případech konzervační prostředek, jímž jsou nová ložiska ošetřena ve výrobním závodě, nemusí být odstraněn. Stačí jen setřít ho z vnějšího povrchu a díry ložiska. Jestliže však ložisko by se mělo namazat plastickým mazivem a mělo pracovat při velmi vysokých nebo velmi nízkých teplotách anebo pokud plastické mazivo není slučitelné s konzervačním prostředkem, je třeba ložisko vymýt a pečlivě osušit.

Před montáží je třeba si připravit všechny potřebné díly, nástroje, zařízení a údaje. Dále je vhodné prostudovat výkresy či jiné návody, které určují správné pořadí, v němž mají být jednotlivé součásti namontovány. Rovněž je třeba zkontrolovat čistotu těles, hřídelí, těsnění a dalších dílů uložení, především závitové díry, vedení a drážky, v nichž se mohou nahromadit třísky z předchozích výrobních operací. Dále je třeba zkontrolovat rozměrovou a tvarovou přesnost všech dílů souvisejících s ložiskem.

Po demontáži mají-li být demontovaná ložiska znovu používána, nesmí demontážní síla v žádném případě působit na valivá tělesa. U rozebiratelného ložiska lze kroužek s valivými tělesy a klecí demontovat zvlášť. U nerozebiratelných ložisek by se měl demontovat nejprve kroužek s volnějším uložením. Při demontáži ložiskového kroužku namontovaného s přesahem může být používáno déle popisované nářadí, jehož volba závisí na typu a velikosti ložiska a dále na přesahu uložení.

V některých případech je vhodné označit polohu ložiska vůči souvisejícím dílům, čímž se zjednoduší opětovná montáž. To je důležité, např. u velkých ložisek s čárovým stykem, kdy se kroužek, který byl vystaven působení bodového zatížení, při opětovné montáži ložiska běžně otočí o část otáčky, aby byla zatěžována jiná část oběžné dráhy. Tím se dokonale využije trvanlivost ložiska.

### **Montáž ložisek s válcovou dírou**

U nerozebiratelných ložisek se zpravidla nejdříve montuje kroužek s přesahem. Před montáží by se měly úložné plochy lehce naolejovat řídkým olejem. Ložiska se do úložných celků montují buď zastudena, nebo zatepla. Rozměrově menší ložiska se ve většině případů montují za studena. Síla potřebná na montáž se dosahuje údery kladiva nebo lépe pomocí lisu. Údery by mely dopadat rovnoměrně po obvodu ložiskového kroužku, aby nedošlo k šikmému naražení ložiska. V obou případech se použijí montážní přípravky, které zajistí osově působení montážní síly.

Při montáži je nepřípustné, aby se montážní síla přenášela přes valivá tělesa. Proto musí být během působení montážní síly přípravek opřen o ten kroužek, který se montuje, případně o oba kroužky. V takovém případě musí montážní působit rovnoměrně na oba kroužky, přičemž dotykové plochy montážního nástroje musí ležet v jedné rovině. Montáž za tepla se používá u větších ložisek, jejichž kroužky bývají uloženy s větším přesahem, z toho důvodu se ložiska, vnitřní kroužky nebo tělesa před montáží ohřívají. Rozdíl mezi teplotou ložiskového kroužku a hřídele nebo tělesa závisí na velikosti přesahu a na průměru hřídele nebo díry tělesa. Při ohřevu ložisek nesmí dojít k místnímu přehřátí. Rovnoměrné prohřátí ložiska zajišťují elektrické indukční ohřívací přístroje. Pokud je používána ohřívací plotna, ložisko je třeba několikrát otočit. Ohřívací plotny by neměly být používány pro ohřev ložisek s těsněním.

### **Montáž ložisek s kuželovou dírou**

Ložiska s kuželovou dírou se upevňují na hřídeli pomocí upínacích nebo stahovacích pouzder, případně přímo na kuželový čep. Vnitřní kroužky ložisek s kuželovou dírou jsou na čepu vždy uloženy s přesahem. Stupeň přesahu závisí na axiálním posunutí na kuželovém čepu či upínacím nebo stahovacím pouzdru. Spolehlivé upevnění se dosáhne buď nalisováním vnitřního kroužku pomocí matice, nebo dostatečným vsunutím pouzdra. V obou případech se vnitřní kroužek roztáhne, přičemž dojde ke snížení radiální vůle v ložisku. Při montáži ložiska na kuželovou úložnou plochu se při axiálním posunutí radiální vnitřní vůle ložiska zmenšuje. Na základě měření zmenšení radiální vůle lze určit velikost přesahu a správné uložení.

Při montáži dvouřadých kuličkových naklápacích ložisek se může matice upínacího pouzdra přitáhnout do takové míry, aby se dal vnější kroužek lehce otáčet a vykláčet. Dvouřadé soudečkové ložisko se upevňuje s větším přesahem. Spolehlivost upevnění se kontroluje podle zmenšení radiální vůle pomocí spároměrek nebo měřením axiálního posunutí vnitřního kroužku na čepu či kuželovém pouzdře. Počáteční poloha na měření tohoto posunutí se dosáhne, když stykové plochy (kroužku, pouzdra, hřídele) dosedají na sebe po celé úložné ploše.

## **7.1.4. Montáž převodovky**

### **Uložení hřídelí**

Hřídele převodovky jsou uloženy ve valivých ložiskách tak, aby vznikl staticky určitý nosník s jednou pevnou a druhou posuvnou podpěrou. Posuvnou podpěru umístíme na stranu, kde působí menší síla.

Vnitřní kroužky obou ložisek s obvodovým zatížením jsou na hřídeli uloženy s přesahem. Mohou být opřeny o osazení hřídele nebo o rozpěrná pouzdra. Vnější kroužky s obvodovým zatížením ukládáme na jednu stranu pevně a na druhou posuvně. Opíráme je o víka převodové skříně nebo o osazení pouzder. Z výrobních důvodů se snažíme vyrábět průměr otvoru pro ložiska stejný jako na obvodových stranách skříně.

### **Montáž hřídelí a ozubených kol**

Při montáži hřídelí do skříně převodovky se postupuje tak, že se na hřídel upevní pero do drážky. Na pero se nasadí ozubené kolo a vymezovací pouzdro (distanční kroužek). Po té se

na hřídel nalisují valivá ložiska. Smontovaná hřídel se usadí do skříně převodovky, namontují se velká ložiska a nastaví se záběrový obrazec. Na konec se zkontroluje zubová vůle a montážní vůle ložisek.

### Montáž hřídelí a ozubených kol

Nastavení záběru se kontroluje vyhotovením otlaku spolu zabírajících boků ozubených kol. Boky několika zubů se natírají speciální barvou. Otáčením kol ozubených kol vzniknou na bocích zubů záběrové obrazce. Ty se hodnotí z hlediska pravidelnosti tvaru, velikosti a polohy v rámci boku zubů.

Kontrola boční vůle se provádí číselníkovým úchylkoměrem. Úchylkoměr je umístěný na držáku, který je upevněný na skříně převodovky. Kontakt úchylkoměru se umístí kolmo na plochu boku zubu ozubeného kola, kterým se otáčí. Úchylkoměr se vynuluje. První kolo je fixní a druhým se natáčí v rámci zubové vůle. Na číselníku úchylkoměru se odečítá hodnota odchylky.

Z důvodu tepelné dilatace je nutné předepsat montážní vůli ložisek. Ta se určuje pro rozdíl teplot  $\Delta t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nastavením montážní vůle v ložiskách se eliminuje možnost vzniku tepelného zatížení ložisek vlivem tepelné dilatace. K nastavení montážní vůle valivých ložisek se provádí tenkými podložkami. Ty se vyrábějí z plechu, které zaručují minimální odchylku tvarové přesnosti.



### Shrnutí kapitoly

Montáž čepů, montáž kolíků, montáž hřídelů, montáž ozubených kol.



### Kontrolní otázka

1. Jaké znáte způsoby namáhání čepů?
2. Jak se kontroluje nastavení záběru ozubených kol?

## 8. MONTÁŽNÍ LINKY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Definovat různé typy montážních linek.
- Charakterizovat výhody a nevýhody uspořádání montážních linek.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Zhodnotit zapojení člověka při montáži na montážních linkách.

**Budete schopni**

Kapitola se zabývá klasifikací jednotlivých typů montážních linek podle různých hledisek. Při návrhu montážní linky je vždy třeba uvažovat ne pouze ekonomická kritéria, ale zhodnotit také ergonomii práce člověka a zvážit tak nevýhody pro zapojení člověka do montáže.

### 8.1. Typy montážních linek



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat pojem montážní linky.
- Seznámit se jednotlivými typy montážních linek.
- Popsat a porozumět využití jednotlivých typů montážních linek.



**Výklad**

**Montážní linku** lze charakterizovat jako souhrn pracovišť rozmístěných podle technologického postupu, který je spojený mezioperační dopravou a určený k provádění stanovených operací při montáži celého výrobku nebo jeho částí. Nejčastěji jsou montážní linky děleny podle hledisek:

- **využití mechanizace a zapojení člověka do montáže:**
  - o ruční linky;
  - o poloautomatizované (mechanizované) linky;
  - o automatizované linky;
- **způsobu pohybu montovaného výrobku:**



- stacionární linky;
  - linky s pohybujícím se výrobkem;
    - výrobek se pohybuje až po ukončení operace;
    - výrobek se pohybuje soustavně;
- **způsobu provádění montážních prací:**
  - přímo na dopravníku;
  - mimo dopravník;
- **způsobu prostorového uspořádání:**
  - jednoduché linky;
  - rozvětvené linky;
- **stupně synchronizace:**
  - synchronizované linky (nepřetržité);
  - nesynchronizované linky (přerušované);
- **montážního taktu:**
  - linky s pevným (vázaným) montážním taktem;
  - linky s volným (nevázaným) montážním taktem;
- **počtu montovaných druhů na lince:**
  - jednopředmětové linky (stálé);
  - víceřadové linky (střídavé).

Začátkem 20. století byla manipulace při montáži a vlastní montáž výhradně ruční záležitostí. Později vznikaly velkosériové a hromadné výroby, zejména v automobilovém průmyslu a s tím i montážní linky. Nejprve s ruční montáží, kdy dělníci vykonávali jednoduché montážní úkony s monotónním opakováním, poté částečně mechanizované. Produktivita byla dobrá, ale podmínky pro dělníky byly nevyhovující díky jednotvárné práci. Nahrazení této monotónní práce jednoduchými montážními automaty byla revoluční.

První pohyblivý montážní pás byl použit v roce 1913 v automobilové továrně v Detroitu, jehož stvořitelem byl Henry Ford. Sloužil pro spojení jednotlivých montážních pracovišť, kdy dělníci byli rozděleni podél pásu a v určeném pořadí vykonávali montážní operace. Nebyla zde nutná vysoká kvalifikace.

Charakter výroby Henryho Forda:

- zjednodušení (Simplifikation);
- specializace (Specialization);
- standardizace (Standardization).



Obr. 43 Montážní pohyblivý pás ve Fordových závodech



## Shrnutí kapitoly

Montážní linka.



## Kontrolní otázka

1. Co je to montážní linka?

## 8.2. Příklady prostorového uspořádání montážních linek



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat a porozumět příkladům prostorového uspořádání montážních linek.



## Výklad

Základní prostorové uspořádání montážních linek jednoduchých a rozvětvených lze dále doplnit o další členění. Montážní linky z hlediska prostorového uspořádání lze dále rozdělit podle:

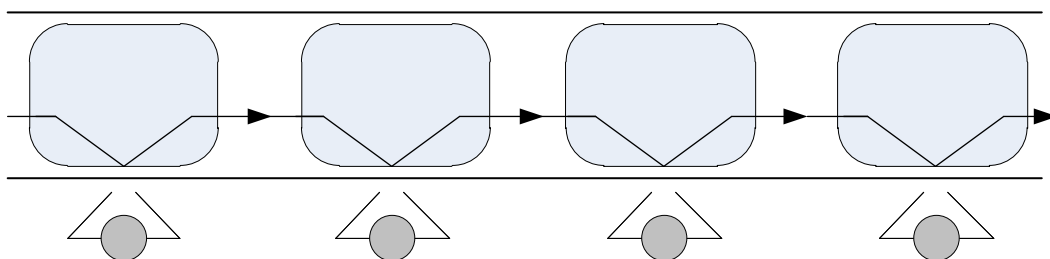
- obsazení stran montážní linky:

- o jednostranné linky;
- o oboustranné linky;
- **směru pohybu linky:**
  - o jednosměrné linky;
  - o obousměrné linky;
- **postavení montážních pracovišť k lince:**
  - o boční postavení;
  - o čelní postavení.

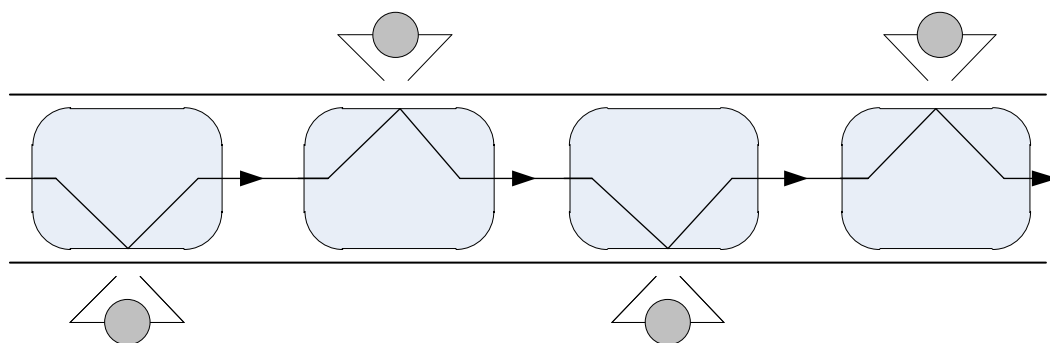
Montážní linky s bočním postavením pracovišť nabízejí lepší možnosti využití montážních strojů a rozměrných přípravků při montáži. Každý pracovník má při tomto uspořádání ohraničené a přehledné pracoviště.

Montážní linky s čelním postavením pracovišť mají zpravidla nižší nároky na pracovní prostor a umožňují manipulovat s předmětem oběma rukama. Nevýhodou je, že na pracovištích lze užít jen malé přípravky a ručně ovládané pracovní prostředky.

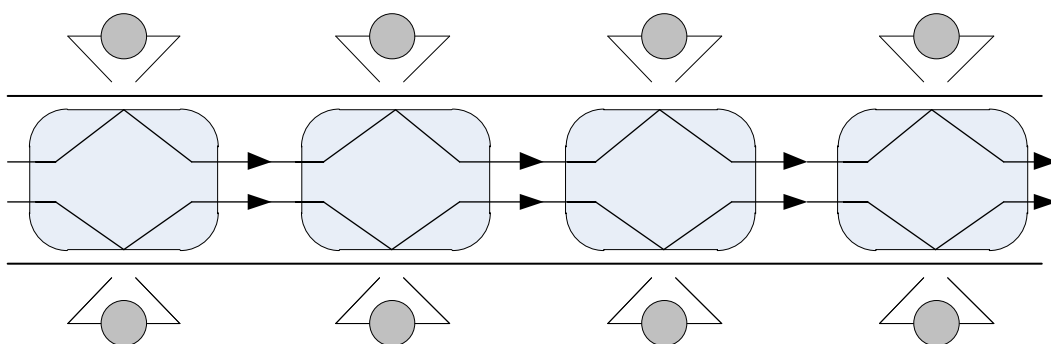
Oboustranné uspořádání montážní linky výrazně šetří prostor, naopak u jednoduchého (jednostranného) uspořádání vznikají větší nároky na prostor, často jsou realizovány dlouhými dráhami dopravníků.



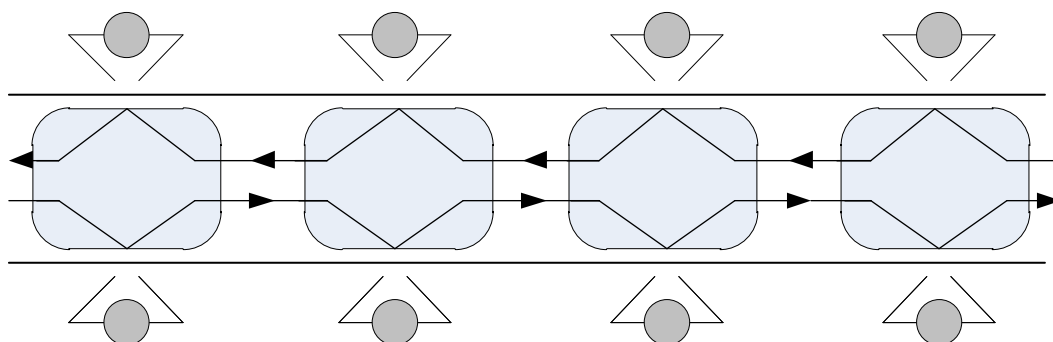
**Obr. 44 Schéma jednostranné jednosměrné montážní linky**



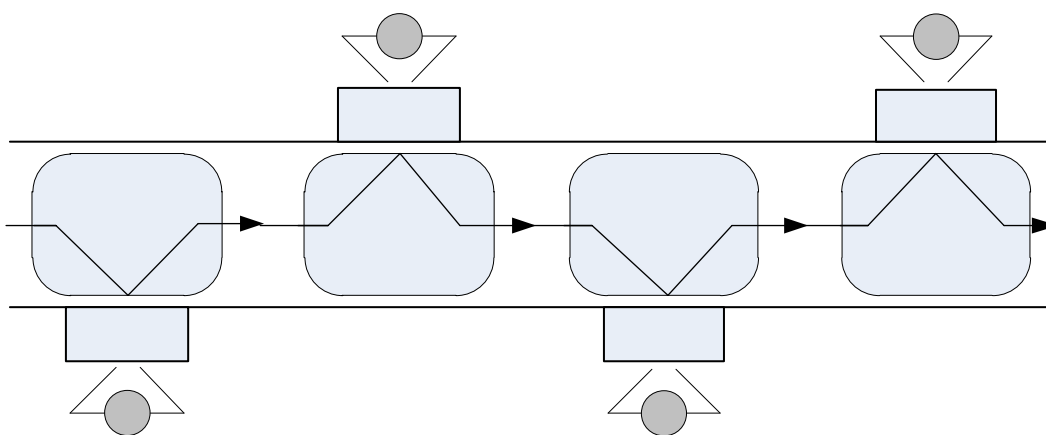
**Obr. 45 Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky**



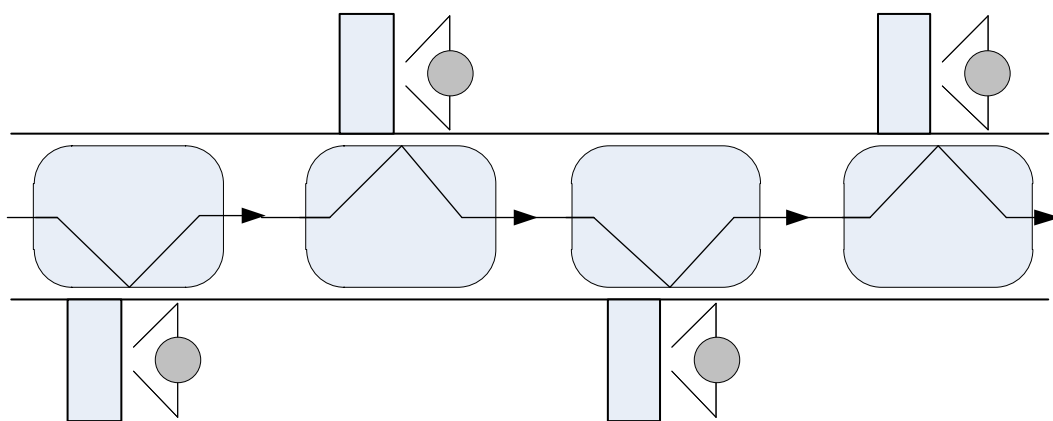
**Obr. 46 Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky**



**Obr. 47 Schéma oboustranné obousměrné montážní linky**

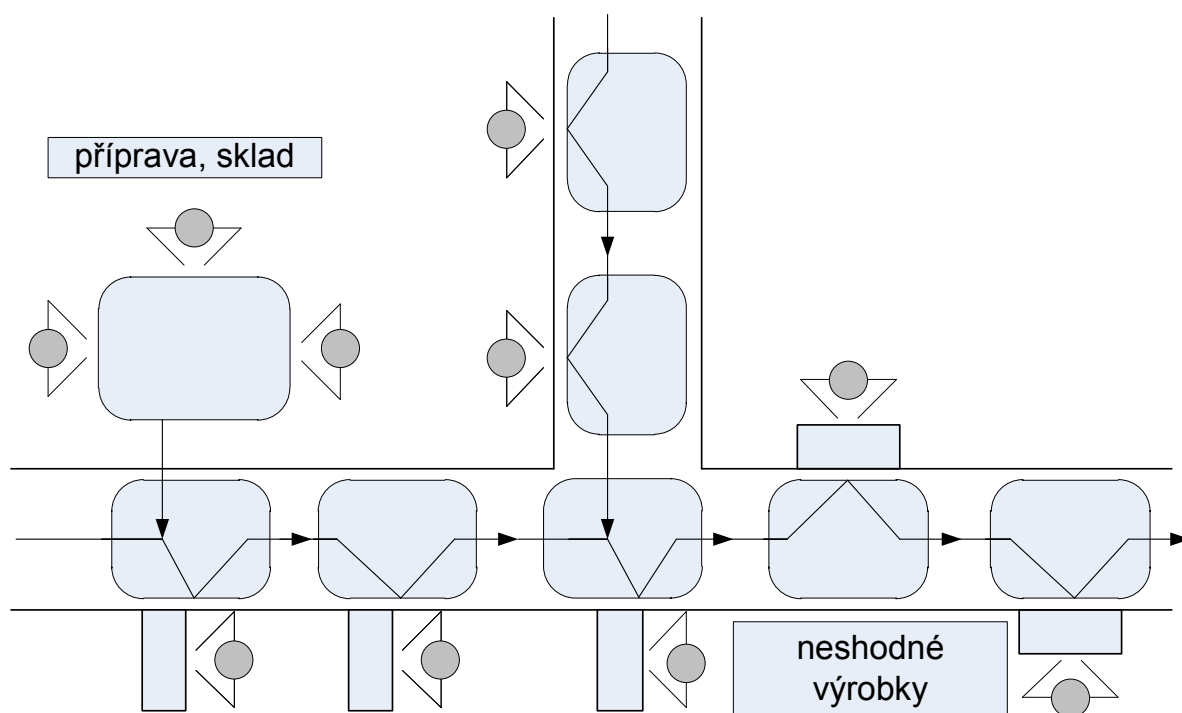


**Obr. 48 Schéma montážní linky s čelními montážními pracovišti**



**Obr. 49 Schéma montážní linky s bočními montážními pracovišti**

Uspořádání rozvětvených linek je velmi obtížné zejména z prostorových důvodů. Tyto linky jsou velmi citlivé na poruchy a těžko se přizpůsobují změnám výrobního programu. Z uvedených důvodů jsou zaváděny pouze v hromadné výrobě, kdy se jedná o jeden druh výrobku s vysokým ročním objemem výroby. Naopak vícepředmětové linky jsou více přizpůsobivé pro náhlé změny výrobního programu.



**Obr. 50 Schéma rozvětvené montážní linky**

Synchronizované montážní linky jsou charakteristické definovanou pevnou vazbou mezi jednotlivými pracovišti, pravidelným rytmem střídání činnosti jednotlivých montážních pracovišť a dopravního systému. Takt linky synchronizované linky je odvozován od ukončení cyklu montážního pracoviště s nejdelší dobou montážní operace.

Nesynchronizované montážní linky jsou příznačné volnou vazbou mezi jednotlivými montážními pracovišti, takt linky je částečně volný a u ručních pracovišť je rytmus práce určován operátorem. Nevýhodné je, že obvykle je nutno vytvořit mezioperační zásobu montovaných výrobků. Naopak tyto linky vynikají vysokou mírou pružnosti při změně montovaného výrobku a relativně vysokým výkonem při vysoké úrovni humanizace práce.

Taktem montáže nazýváme časový interval mezi smontováním dvou hotových výrobků. Tento takt se reguluje rychlostí pohybu dopravníku a zachovává pomocí zvukové a světelné signalizace.

Montážní takt  $T_m$  v minutách lze vypočítat podle vzorce:

$$T_m = \frac{60F_{sk}}{N} \text{ [min]}, \text{ kde}$$

$F_{sk}$  je skutečný hodinový časový fond montáže [h],

$N$  je roční produkce smontovaných výrobků v kusech [ks].



## Shrnutí kapitoly

Jednostranná linka, oboustranná linka, jednosměrná linka, obousměrná linka, synchronizovaná linka, nesynchronizovaná linka.



## Kontrolní otázka

3. Co je to jednostranná montážní linka?
4. Co je to jednosměrná montážní linka?
5. Co je to synchronizovaná montážní linka?
6. Co je to nesynchronizovaná montážní linka?



## Úkol k řešení

1. Uveďte praktický příklad zavedení jednoduché jednosměrné montážní linky?
2. Uveďte praktický příklad zavedení rozvětvené montážní linky?
3. Uveďte praktický příklad zavedení synchronizované montážní linky?

## 9. ORIENTAČNÍ MECHANISMY V MONTÁŽNÍM PROCESU

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Rozčlenit mechanismy pro orientaci součástí.
- Stanovit obecné podmínky pro orientaci součástí.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Pochopit klasifikaci způsobů automatického vyhledávání.
- Uvést příklady orientace metodou automatického vyhledávání.
- Uvést příklady orientace bez kontroly vzájemné polohy.

**Budete schopni**

Na úvod této kapitoly si vysvětleme pojmy „orientace součástí“ a „orientační zařízení“. Dále se seznámíme s obecným členěním mechanismů pro orientaci dané součásti.



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat orientaci součástí.  
Členit mechanismy pro orientaci součástí.



**Výklad**

Orientace součásti znamená její převedení z volné neuspořádané polohy v prostoru (pomocí orientačních zařízení) do požadované polohy, určené podmínkami zásobování a montáže.

Orientační zařízení tedy odděluje součásti z celkové masy, dává jim potřebnou polohu a zachovává ji v podmínkách přemístění nebo spojování. Každá součást v prostoru má 6 stupňů volnosti. Tím, že součást dostane požadovanou polohu, jsou jí odebrány některé stupně volnosti. Pak jí zůstanou jen ty, které jsou potřebné pro další přemísťování a spojování.

Členění mechanismů pro orientaci součástí:

1. Na principu metody automatického vyhledávání
2. Bez kontroly vzájemné polohy
  - pomocí zkosených hran

- **pomocí ultrazvuku** (ultrazvukové kmity působí ve směru osy jedné ze spojovaných součástí a mezi součástmi je mechanický i akustický kontakt)
- **pomocí vodicích prvků** (součásti se orientují díky pomocnému členu, který je umístěn mezi součástmi)

### 3. Se sledováním vzájemné polohy

- **proporcionální** (Regulační a řídicí účinek působí nepřetržitě během orientace, síla a rychlost orientace je tím menší, čím menší je posun součásti. To má za následek nutnost velkého zesílení snímačů při velmi malých posunech.)
  - pneumatické (pístové, membránové a vlnovcové jednotky)
  - elektromagnetické (odpružené jádro)
  - elektrodynamické (jádro s řízenou polohou)
- **reléové** (Proti proporcionálním má posouvající síla buď maximální = zapnuto, nebo nulovou = vypnuto, hodnotu. Výhodou je jednoduchost, nízká cena a vysoká citlivost.)
- **impulzní** (působení síly má diskrétní charakter a probíhá periodicky v určitých časových intervalech, které jsou odděleny pauzami)
  - se změnou amplitudy impulzů
  - se změnou délky impulzů
  - se změnou znaménka hodnoty impulzu

### 4. Se samočinným nastavováním

Například podle extrémní hodnoty určitého parametru. Vyhledávají samočinně požadovanou polohu sledováním daného parametru, než je dosaženo jeho extrému.



## Shrnutí kapitoly

Orientační mechanismy, orientační zařízení, členění mechanismu pro orientaci součástí.



## Kontrolní otázka

1. Jak je definována orientace součástí?
2. Jaké způsoby členění mechanismy pro orientaci součástí bez kontroly vzájemné polohy?
3. Jak působí regulační a řídicí účinek při sledování vzájemné polohy?

### 9.1. Stanovení obecných podmínek



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Stanovit podmínky ztotožnění montážních ploch.



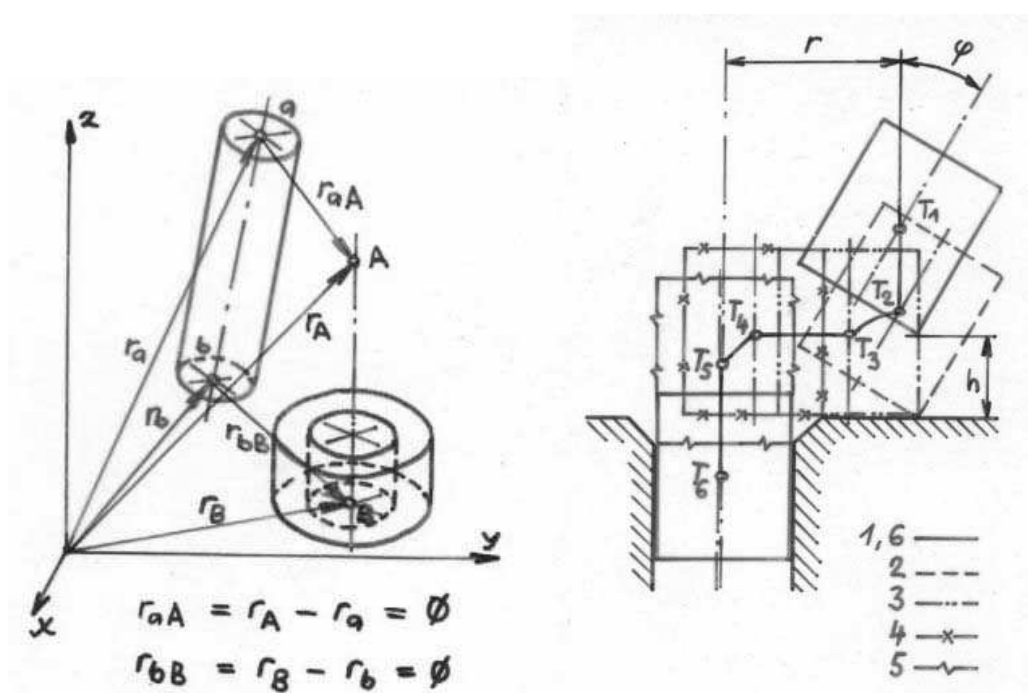


## Výklad

V reálných případech jsou bohužel osy orientovaných objektů (součástí) posunuté a vzájemně různoběžné. Z tohoto důvodu musíme stanovit podmínky ztotožnění jejich montážních ploch. Příklad relativní dráhy pohybu montovaných objektů si uvedeme na následujícím schématu.

Dráha čepu z výchozí polohy (1) do konečné polohy (6) je vytvořena těmito úkony:

- 1 → 2, svislý pohyb o hodnotu  $h$  (dotek s čelem pouzdra),
- 2 → 3, otočení kolem bodu doteku o úhel  $\phi$ ,
- 3 → 4, pohyb v horizontální rovině (tj. ve dvou osách  $x$  a  $y$ ) na hranu sražení pouzdra,
- 4 → 5, pohyb podél sražení pouzdra,
- 5 → 6, osové zasunutí (spojení).



Obr. 51 Montáž součásti kruhového průřezu

Pořadí úkonů lze měnit. Pozor však na rotačně nesymetrické objekty. U nich je navíc potřebné pootočení kolem svislé osy.

Postup montáže je pak následující:

- zajistit rovnoběžnost os;
- ztotožnit osy (přesun os  $x$ ;  $y$ );
- ztotožnit body  $b$ ;  $B$  (přesun „ $z$ “).



## Shrnutí kapitoly

Stanovení obecných podmínek, relativní dráha pohybu montovaných objektů, dráha čepu z výchozí polohy, dráha čepu do konečné polohy.



## Kontrolní otázka

1. Vysvětlíte postup montáže součásti kruhového průřezu.

## 9.2. Orientace metodou automatického vyhledávání



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Stanovit orientaci metodou automatického vyhledávání.



### Výklad

Metody vyhledávání a jejich uplatnění v montážním procesu jsou charakterizovány tehdy, jestliže se v montážním procesu vyskytuje pouze ústrojí výkonné a chybí zde ústrojí pro identifikaci a kontrolu polohy.

Při automatickém vyhledávání je obvykle jedna ze spojovaných součástí ustavena nehybně a ta druhá se pohybuje podle určitého zákona a trajektorie. To znamená, že existují uspořádání, při kterých se pohybují obě součásti a jsou k sobě přitlačovány určitou silou. V okamžiku dosažení požadované polohy se součásti spojí (jako příklad můžeme uvést hřídel a pouzdro). Výchozí poloha součástí (v rozmezí dané zóny) není určena, a proto má celý proces orientace náhodný charakter.

Klasifikace způsobů automatického vyhledávání:

- 1) **trajektorie pohybu** - nejčastěji je používáno *vyhledávání v rovině*
  - a) **čára** – přímka x křivka; uzavřená x neuzavřená
  - b) **rovina** – soubor přímek x soubor křivek x kombinovaný soubor
  - c) **prostor** – s modulací x bez modulace
- 2) **způsob pohybu** - nejčastěji *podle dvou souřadnic* (oscilační pohyb = speciální případ)
  - posuvný x rotační
  - podle jedné souřadnice x podle dvou souřadnic x podle tří souřadnic
  - s jednou nebo více pohybujícími součástmi
- 3) **zákonitosti pohybu**
  - rovnoměrný x nerovnoměrný
  - souběžný x následný
  - uspořádaný x neuspořádaný
  - chaotický

Při automatickém vyhledávání je důležitá také délka jeho trvání. **Doba vyhledávání** závisí na počtu pohybů (u vodorovného či svislého pohybu), počtu zdvihů nebo kmitů (u oscilačního pohybu) součásti a na celkové dráze, kterou součást urazí.



## Shrnutí kapitoly

Orientace součásti, automatické vyhledávání.



## Kontrolní otázka

1. Co je doba vyhledávání?
2. Jak se klasifikuje způsob automatického vyhledávání?
3. Jak je klasifikován způsob automatického vyhledávání podle způsobu pohybu?

### 9.3. Orientace bez kontroly vzájemné polohy



Čas ke studiu: 2 hodiny



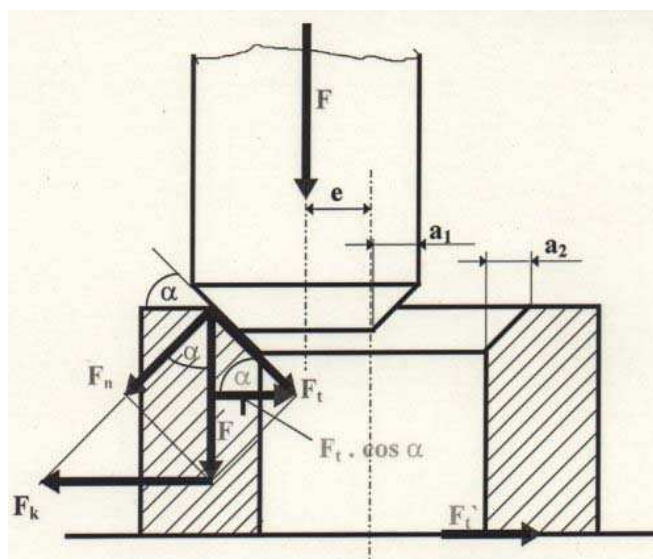
**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Orientovat vzájemnou polohu pomocí zkosené hrany a ultrazvuku.



## Výklad

1. Princip orientace pomocí zkosené hrany:



Obr. 52 Orientace pomocí zkosené hrany

F ...síla, kterou působí hřídel na pouzdro;

$F_k = F \cdot \operatorname{tg} \alpha$  ... síla, která posouvá pouzdro doleva;

$F_t = F_n \cdot f = F \cdot \cos \alpha \cdot f$  ... třecí síla na styku hřídele s pouzdem (koeficient tření  $f$ );

$F_t' = F \cdot f'$  - třecí síla na styku pouzdra s podložkou (koeficient tření  $f'$ ).

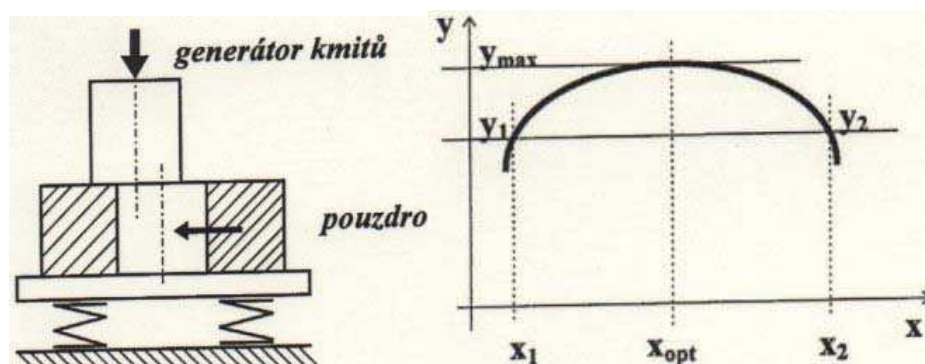
Volně ustavený objekt (pouzdro) se pohne doleva pouze v případě, když  $F_k \geq F_t \cdot \cos \alpha + F_t'$ ; po dosažení:

$$F \cdot \operatorname{tg} \alpha \geq F \cdot \cos \alpha \cdot f \cdot \cos \alpha + F \cdot f'$$

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \cos \alpha \cdot f + f' \quad \dots (\text{vztah platí pouze za podmínky } e \leq a_1 + a_2).$$

## 2. Orientace vzájemné polohy pomocí ultrazvuku:

Je založena na principu činnosti mechanismu se samočinným nastavováním s regulací podle extrémní hodnoty:



Obr. 53 Princip orientace vzájemné polohy pomocí ultrazvuku

Funkce  $y=f(x)$  má extrém ( $y_{\max}$ ), není jednoznačná ( $y=y_1$  pro  $x=x_1$  i  $x=x_2$ ) a nelze v určitém časovém okamžiku určit změnu vstupní veličiny (pomocí vstupní a výstupní veličiny), která by vedla k dosažení extrémní hodnoty výstupní veličiny.

Extrémní hodnota  $y_{\max}$  se vyhledává zapojením mechanismu se měnící hodnotou vstupní veličiny  $x$ , a to v libovolně zvoleném směru. Pokud její změna vyvolá zvětšování hodnoty  $y$ , jde o správný směr vyhledávání. Následně v procesu pokračujeme až do dosažení maxima. Jestliže změna vstupní veličiny  $x$  vyvolá zmenšení velikosti  $y$ , potom musíme pro dosažení její extrémní hodnoty působit na vstup v opačném smyslu.



## Shrnutí kapitoly

Orientace bez kontroly vzájemné polohy, třecí síla, zkosené hrany, ultrazvuk.



## Kontrolní otázka

1. Jak je definována síla, která posouvá pouzdro doleva?
2. Ovlivňuje tření třecí sílu na styku hřídele s pouzdem?
3. Jaký princip má orientace pomocí zkosené hrany?
4. Na jakém principu pracuje orientace vzájemné polohy pomocí ultrazvuku?

## 10. MONTÁŽNÍ ROBOTY A MANIPULÁTORY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Získáte přehled o využití průmyslových robotů a manipulátorů pro praktické aplikace.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Budete umět popsat vývoj robotů a manipulátorů.
- Uvést rozdělení průmyslových robotů.

**Budete schopni**

Montážní roboty a manipulátory nám umožňují zvýšit produktivitu práce a zavádí nové možnosti pro využití pracovního fondu společnosti ve prospěch intelektuálního uplatnění lidí v tvůrčí práci na místo jejich vytížení monotónní prací s často se značnou fyzickou námahou. Robotizace průmyslových procesů nachází uplatnění nejen v hromadných výroбах, jak se původně předpokládalo, ale i ve výroбах malosériových a kusových.

### 10.1. Vývoj a rozdělení montážních robotů a manipulátorů



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat montážní roboty a manipulátory.  
Popsat vývoj robotů a manipulátorů.  
Znát rozdělení robotů a manipulátorů z různých hledisek.



**Výklad**

Jedny z prvních průmyslově využitelných prototypů robotů vznikaly v období let 1959 – 1961. Zaznamenaly však natolik rychlý rozvoj, že již v 80. letech začaly být běžně nasazovány ve strojírenské výrobě jako zcela funkční zařízení.

Známý Websterův slovník uvádí: „robot je antropomorfní mechanická bytost postavená k rutinní manuální práci pro lidské bytosti“.

Robotics Institute of America zavádí specifitější definici „robot je reprogramovatelný multifunkční manipulátor navržený pro přenášení materiálu, součástí, nástrojů, nebo specializovaných zařízení, pomocí variabilně programovaných pohybů k provádění různých úkolů“.

Podle Australian Robotics and Automation Association sice neexistuje standardní definice, ale lze vyjádřit tři podstatné charakteristiky robotu:

- umožňuje nějakou formu mobility,
- může být naprogramován k velmi variabilním úkolům,
- po naprogramování již pracuje v automatickém režimu.

Historicky poprvé bylo slovo „robot“ použito v roce 1920 ve hře Karla Čapka R.U.R - Rossum's Universal Robots. Karel Čapek však užíval slovo „robot“ v životném tvaru, přičemž jeho roboti byli organického původu (pozn. skloňování podle vzoru pán). Na rozdíl od technické terminologie, která odpovídá neživotnému tvaru – „ty roboty“ – skloňování podle vzoru hrad.

International Organisation for Standardisation (ISO) zavedla definici (ISO 8373 Manipulační průmyslové roboty – Slovník) pro roboty činné ve výrobě. Definuje pojem průmyslový robot (PR) následovně, což je podle definice automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci. Je zde také vymezeno, že definici splňuje pouze zařízení, které má nejméně tři neprogramovatelné pohybové osy.

Manipulátory jsou konstrukčně jednodušší než roboty, přičemž mají zpravidla menší pracovní možnosti, nižší univerzálnost, jednodušší způsob řízení apod.

### 10.1.1. Generace robotů a manipulátorů

V současnosti je na trhu řada výrobců, kteří mají dominantní postavení na trhu a dodávají roboty velkoobjemově. Mezi tyto například patří společnosti Kuka, Reis, ABB, Kawasaki, Fanuc a mnoho dalších. Na trhu nalezneme i střední a menší firmy, které se na trhu uplatní s podstatně menšími sériemi robotů, protože se zaměřují jen na aplikace pro určité technologie, které mají svá specifika.

Průmyslové roboty lze rozdělit do pěti generací:

- **0. generace** – zde jsou zařazeny manipulátory a roboty zpravidla bez zpětné vazby, kdy veškeré poruchy či změny ve sledované oblasti (signalizované čidly) vedou k nedovolení dalšího kroku a centrálního odpojení systému od přívodu energie, tj. zastavení systému (tzv. "central stop") a přivolání údržbáře nebo seřizovače;
- **1. generace** – sem řadíme roboty s jednoduchou zpětnou vazbou, schopné přepínání několika podprogramů (předem vytvořených člověkem) a práce podle nich;
- **2. generace** - jsou roboty se schopností optimalizace, tj. schopností vybírat z předem zadaných programů ten optimální, podle zadaného kritéria optimalizace;
- **3. generace** - jsou roboty schopné samostatné tvorby programu, neboť se dokáží učit z nabytých zkušeností. Zde se předem zadává pouze cíl činnosti (úkol), přičemž způsob jeho splnění je ponechán na inteligenci řídicího systému, který si sám vytvoří program;

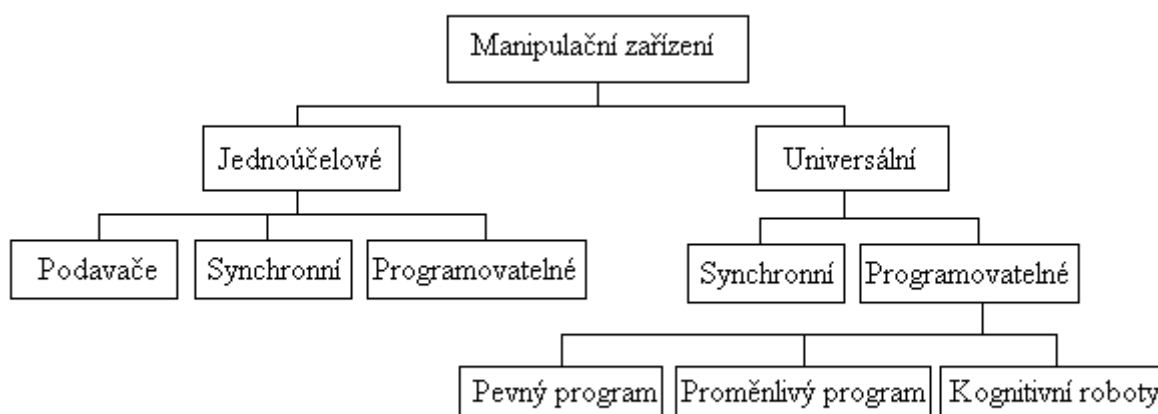
- **4. generace** - reprezentována autonomními roboty se sociálním chováním, které se chovají podobně jako člověk, tedy samostatně si volí i cíl práce.

### 10.1.2. Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)

Průmyslové roboty a manipulátory jsou charakterizovány jako automatizační prostředky, sloužící k přenosu pohybu a sil, k transformaci jednoho druhu mechanického pohybu na jiný, nebo k vedení objektů po určitých, předem definovaných drahách.

Obecně lze průmyslové roboty a manipulátory rozdělit podle:

- funkce,
- provedení,
- aplikačních možností,
- míry autonomie,
- úrovně řízení.



**Obr. 54 Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů**

Podle konstrukčního provedení lze provést rozdělení průmyslové roboty a manipulátory na:

- stavebnicové – modulární;
- nestavebnicové – nemodulární.

Stavebnicové provedení se skládá ze samostatných funkčních celků-modulů. Modulově je uspořádána mechanická i řídicí část robotu. Funkčně náročnější manipulační mechanismy vzniknou skladbou z jednotlivých základních funkčních celků.

Z hlediska aplikačního lze rozdělit průmyslové roboty a manipulátory do následujících hlavních skupin:

- manipulační – zajišťují operace manipulační tzn. změny polohy objektů, orientace a polohování, ustavení a upnutí;



- technologické – zajišťují operace výrobních a montážních operací;
- univerzální – snoubí výrobní, montážní i manipulační operace;
- speciální – jsou určeny pro speciální operace např. pod mořskou hladinou, v kosmu nebo například manipulace s velkorozměnými či miniaturními objekty.

Podle způsobu řízení rozdělujeme průmyslové roboty a manipulátory na:

- ruční manipulátory – často usnadňují fyzickou námahu pracovníka;
- automatické manipulátory – využívány v sériové či velkosériové výrobě;
- pružně programovatelné roboty – umožňují pružně reagovat na výrobní změny;
- adaptivní roboty – na základě vyhodnocení naměřených dat umožňují adaptivní přizpůsobení dalších funkcí.

Aplikační možnosti montážních robotů jsou odvozeny zejména z jejich základních technických údajů, mezi něž patří:

- počet stupňů volnosti, který charakterizuje počet pohybových os ramene a zápěstí,
- druh pracovního prostoru vymezený pohybem ramene,
- nosnost, kterou je vyjádřeno zatížení koncového členu,
- přesnost polohování,
- druh pohonu mechanismů,
- maximální a minimální rychlosti pohybu ramene v jednotlivých pohybových osách,
- typ řídicího systému (použité prvky a způsob zpracování informací),
- řízení pohybu v prostoru:
  - o bod po bodu (PTP - point to point) - pohyb pracovního orgánu je určen pouze koncovými body, bez kontroly dráhy pohybu mezi těmito body,
  - o spojitá dráha (CP - continuous path) - pohyb pracovního orgánu po zadané dráze danou rychlostí,
  - o řízená dráha (CCP - control continuous path) - pohyb pracovního orgánu po optimalizované dráze,
- kapacita paměti,
- způsob programování.

## 10.2. Praktické ukázky využití robotů a manipulátorů v praxi



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat využití robotů a manipulátorů v praxi.

Vyřešit možnosti uplatnění robotů a manipulátorů v praxi.



**Výklad**

V následující části budou představeny aplikace robotů do praktických činností ve výrobě a montáži strojů a zařízení.

### 10.2.1. Roboty KUKA

V automobilovém průmyslu provádějí roboty KUKA nejrůznější úkoly. Může se zde jednat i o komplexní požadavky, např. robot ze třídy nízké mezní zátěže se používá k přišroubování přední části karoserie nového vozu k úhelníkovým držákům.



**Obr. 55** Montáž části automobilu za pomoci robota KUKA (viz lit. KUKA průmyslové roboty)

Roboty jsou využívány i v oblasti demontáže, např. v podnicích pro recyklaci odpadu. Konstrukční celky, které byly smontovány roboty, lze totiž pomocí robotů i rychle demontovat. Na základě enormní flexibility a volnosti pohybu urychlují roboty rozebírání výrobků, zvyšují produktivitu a snižují tak náklady.



**Obr. 56 Demontáž za pomoci robota KUKA (viz lit. KUKA průmyslové roboty)**

### **10.2.2. Roboty SCARA**

Základna pro instalaci robota RP-1AH má rozměry 200 x 160 mm, dosah 236 mm a může osazovat součástky s přesností 0,005 mm. Díky těmto parametrům má tento robot skvělé uplatnění v tzv. mikromontážích. Tyto Roboty jsou nesrovnatelně flexibilnější než tradiční montážní a osazovací automaty, což se rozhodující měrou projeví ve zvýšení výkonnosti a větší produktivitě.



**Obr. 57 Robot SCARA typu RP-1AH vhodný pro osazování součástek a jejich montáž (viz lit. časopis Automatizace)**

### **10.2.3. Nasazení robota při montáži velmi malých součástí**

Kartézský robot ACCUSEMBLER TM SEIKO-EPSON je určený na montáž mikroelektronických souborů, náramkových hodinek apod. Má rychlost 2,9 m/s, přesnost  $\pm 0,02$  mm, DC servopohony, programovací jazyk SPEL, paměť C-MOS RAM a program vlastního testování. Celkově jde o rodinu 7 robotů série SSR-H s nosností od 1,5 do 6 kg.



**Obr. 58 Montážní kartézský robot ACCUSEMBLER TM japonské firmy SEIKO-EPSON**



### **Shrnutí kapitoly**

Průmyslové roboty, manipulátory.



### **Kontrolní otázka**

1. Co představují průmyslové roboty?
2. Co nazýváme manipulátory?
3. Jak jsou rozdělovány průmyslové roboty a manipulátory z hlediska aplikačního?
4. Jak jsou rozdělovány průmyslové roboty a manipulátory z hlediska řízení?

## 11. PROJEKTOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Budete umět stanovit výhody a nevýhody pohyblivé a nepohyblivé montáže.
- Budete umět popsat jednoduché montážní systémy.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Budete schopni stanovit vhodný druh montáže z hlediska organizace.

**Budete schopni**

Kapitola se zabývá jednotlivými druhy montáže z hlediska organizace. Samotná organizace montáže je závislá na typu a rozsahu výroby, pracnosti vlastní montáže a jiných činitelích. Čtenář bude v kapitole seznámen s dvěma hlavními způsoby montáže, a to stacionární a nestacionární montáží.

### 11.1. Rozdělení druhů montáže z hlediska organizace



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat pojmem stacionární a nestacionární montáže.  
Popsat jednotlivé druhy montáže z hlediska organizace.  
Seznámit se s praktickými příklady druhů montáže.



**Výklad**

Plánování organizace montáže je závislé na rozměrech, hmotnosti, tvarové složitosti součástí a výrobků. Nezanedbatelný má vliv i sériovost montáže. Základní rozdělení montáže je možno provést podle stupně zapojení člověka a mechanizace do procesu montáže na:

- **ruční montáž;**
- **poloautomatizovaná (mechanizovaná) montáž;**
- **automatizovaná montáž.**

Ruční montáž má výhodu ve velké přizpůsobivosti podmínkám montáže, nízkých požadavcích na investice do montážních prostředků. Zaměstnává však více pracovníků s nízkou produktivitou práce. Mohou se vyskytovat ergonomické problémy, jsou špatně využívány pracovní prostory apod. Řešení a zavádění automatizace ručních montáží vyžaduje vysoké náklady, značné úsilí pro přípravu od konstrukční úpravy součástí a výrobků.

Automatizovaná či poloautomatizovaná montáž má význam při určité sériovosti výroby, je závislá na ekonomických podmínkách dané výroby. Provádění automatizované montáže je řešeno účelově řešenými stroji, anebo účelově navrženým montážním zařízením. Podle složitosti montáže jsou využívány montážní buňky, speciální montážní stroje případně i montážní linky a montážní roboti.

Při menší sériovosti lze zvolit vyšší technologicko-organizační formu montáže s využitím technologické standardizace a slučovat montážní celky se stejnými nebo obdobným průběhem montáže, tzv. podle konstrukčně technologické podobnosti, nebo montážní činnost stejného charakteru pro realizaci "typových" montážních pracovišť.

Zavedení automatizace do montáže umožňuje:

- plynulý průběh montáže bez meziskladů součástí na pracovišti;
- menší rozpracovanost montáže;
- zkrácení průběžné doby montáže;
- zavedení specializace pracovišť a pracovníků;
- zvýšit přehled o pohybu montážních celků na montáži;
- slučovat montážní celky se stejnými nebo obdobným průběhem montáže;
- slučovat montážní činnost stejného charakteru pro realizaci "typových" montážních pracovišť;
- zvýšit časové a výkonové využití pracovních prostředků;
- dosažení vysoké produktivity práce při nižších nárocích na kvalifikaci pracovníků, aj.

Způsob a organizace montáže závisí především na typu výroby, rozsahu výroby, na pracnosti montáže, na způsobech dodávek apod. Rozlišujeme dvě základní formy montáže:

- **interní montáž;**
- **externí montáž.**

Interní montáž se provádí v rámci daného výrobního závodu a výrobek opouští výrobní proces obvykle ve stavu způsobilém k přímému použití (např. automobily, spotřební zboží). Naopak externí montáž je realizována mimo výrobní závod, při níž se v předepsaném sledu montují jednotlivé části zařízení, které byly předem interně smontovány ve výrobních závodech (např. montáž značně rozměrných a objemných strojů a zařízení, mostů a konstrukcí, vzduchotechniky, potrubí, armatur). Zpravidla se jedná o stacionární montáž.

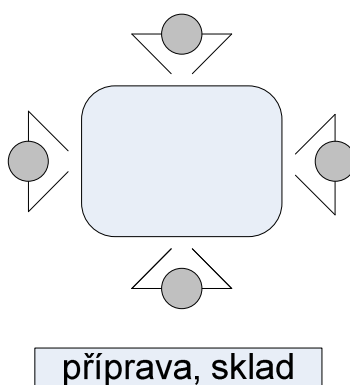
Podle pohybu součástí při montáži, stupně členitosti a charakteristických zvláštností montovaného výrobku rozeznáváme dvě organizační formy interní montáže:

- **nepohyblivou neboli stacionární montáž** (předpokládá soustředění montážních prací na stálém pracovišti):
  - *soustředěná,*
  - *rozčleněná,*
  - *proudová,*
- **pohyblivou neboli nestacionární montáž** (probíhá současně v několika montážních operacích nebo ve skupinách pracujících dělníky):
  - *předmětná,*
  - *linková.*

Stacionární montáž je typická pro kusovou a malosériovou výrobu. Nestacionární montáž je vhodné zavést pro malosériovou, velkosériovou a hromadnou výrobu, kde přecházení montážních pracovníků kolem výrobku je minimální.

#### 11.1.1. Soustředná montáž

Soustředěná montáž se provádí spojováním jednotlivých součástí na **jednom stacionárním pracovišti** a vykonává ji obvykle jedna skupina pracovníků. Využívána je při montáži těžkých či rozměrných součástí, které jsou montovány podle rámcových montážních postupů bez podrobného časového rozboru činností.



Obr. 59 Schéma soustředěné montáže

**Použití v praxi:** kusová či malosériová výroba, např. (např. montáž velkostrojů – rypadla, zakladače aj.).

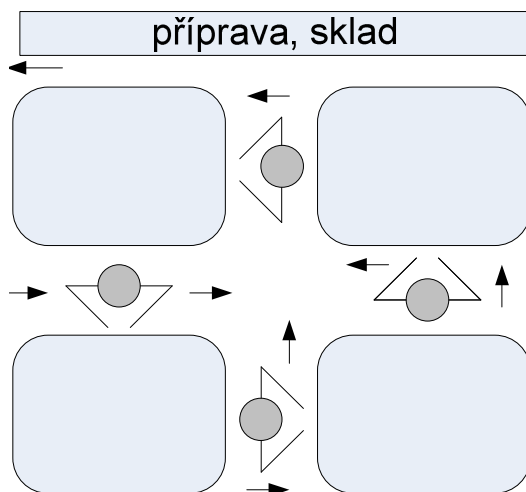
Mezi nevýhody soustředěné montáže patří vysoké nároky na kvalifikaci pracovníků, montážní plochy, dlouhá průběžná doba montáže, nepravidelný průběh montáže, přibližně stanovené normy času apod.

#### 11.1.2. Rozčleněná montáž

Rozčleněná montáž postupuje podle principu dělení operací. Výrobek se montuje na **několika stacionárních montážních pracovištích současně**. Předpokladem tohoto typu interní montáže je možnost rozčlenění výrobku na jednotlivé díly, podsestavy a sestavy v souladu

s montážním schématem a přihlédnutím k objemu práce v dané montážní operaci. Časová norma je zpracována pro celé montážní celky.

Výhodou uplatnění rozčleněné montáže je uskutečnitelnost souběžné předmontáže jednotlivých celků, např. montuje-li se více výrobku (např. obráběcích strojů) v jedné montážní hale, skupiny montážních pracovníků postupně přecházejí od jednoho celku ke druhému a montáž probíhá v jednotlivých fázích. Celková montáž pak představuje spojení dílů, podsestav a sestav v hotový výrobek. Využívá se pro malosériovou výrobu.

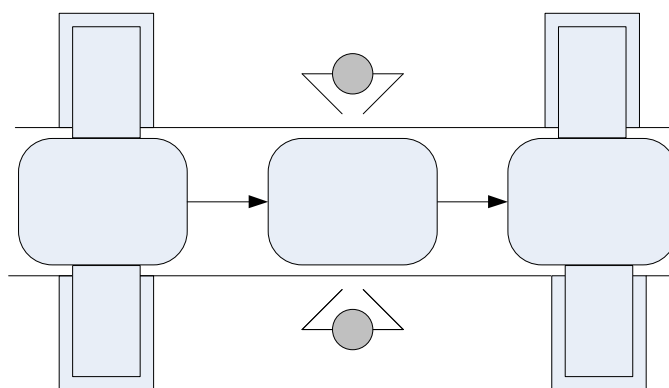


**Obr. 60 Schéma rozčleněné montáže**

**Použití v praxi:** malosériová výroba, např. (např. frézky, soustruhy aj.).

### 11.1.3. Proudová montáž

Proudová montáž probíhá na **stacionárních montážních pracovištích**, kde specializované skupiny pracovníků provádí určitou část montáže. Specializované skupiny pracovníků mají vymezen jen určitý rozsah prací a přecházejí z jednoho pracoviště na druhé. Schéma proudové montáže znázorňuje obrázek níže. Montážní práce jsou rozčleněny až na operace nebo úkony. Tento typ montáže je právě díky pevnému synchronizovanému taktu dopravy součástí vhodný k automatizaci montážního procesu.



**Obr. 61 Schéma proudové montáže**

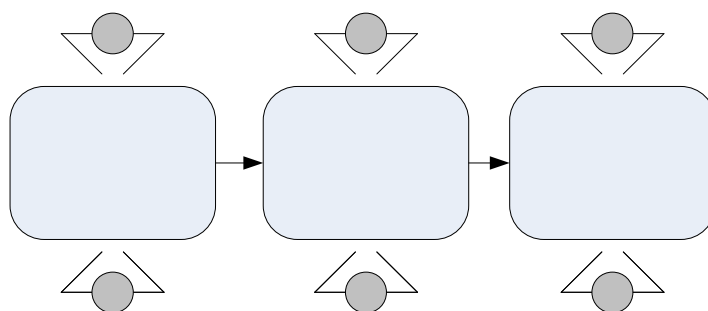


**Použití v praxi:** velkosériová výroba, např. (např. při výrobě valivých ložisek, měřidel, motorů, převodovek, elektrických spínačů aj.).

Výhodou této organizace montáže je synchronizace jednotlivých pracovišť z hlediska objemu montážních činností.

#### 11.1.4. Předmětná montáž

Předmětná montáž se vyznačuje **volným pohybem montovaného předmětu**, který prochází jednotlivými pracovišti viz obrázky níže. Pracovníci vykonávají jen určitou opakující se operaci s volným taktem přesouvání součástí mezi stacionárními pracovišti. Pracoviště montérů jsou pro montáž vždy příslušně vybavena. Typ montáže je určen pro malosériovou až velkosériovou výrobu.

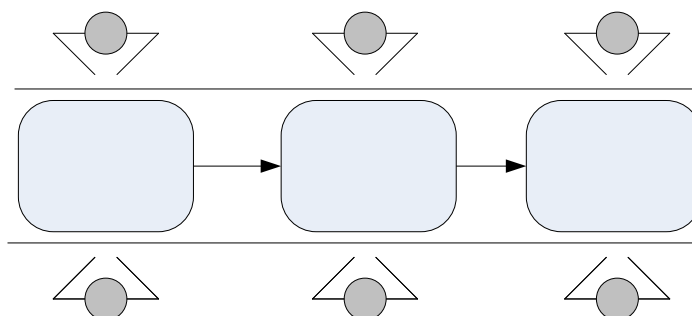


Obr. 62 Schéma předmětné montáže

**Použití v praxi:** malosériová až velkosériová výroba, např. (např. obráběcí stroje, stavební stroje, lokomotivy, elektrické motory aj.).

#### 11.1.5. Linková montáž

Linková montáž je charakteristická **nuceným pohybem montovaného předmětu**, který je dán taktem montážní linky, přičemž je nutno dodržet sled operací. Někdy je nazývána také jako plynulá montáž viz níže. Montáž organizovaná v lince je dle způsobu odběru výrobku uskutečňována jako synchronizovaná či nesynchronizovaná.



Obr. 63 Schéma linkové montáže

**Použití v praxi:** velkosériová výroba, např. čerpadla.

Pohyblivá montáž může být s periodickým taktem s nepřetržitým pohybem.



Interní montáž, externí montáž, stacionární montáž, nestacionární montáž, soustředná montáž, rozčleněná montáž, proudová montáž, předmětná montáž, linková montáž.



### **Kontrolní otázka**

1. Uveďte praktický příklad použití soustředné montáže?
2. Uveďte praktický příklad použití rozčleněné montáže?
3. Uveďte praktický příklad použití proudové montáže?
4. Uveďte praktický příklad použití předmětné montáže?
5. Uveďte praktický příklad použití linkové montáže?

## 12. ERGONOMIE V MONTÁŽNÍM PROCESU

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Definovat pojem ergonomie.
- Definovat pojem ergatiky.
- Porozumět cílům ergonomie.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Navrhnout Demingův cyklus pro ergonomii v praxi.

**Budete schopni**

Ergonomii na pracovištích je nutné věnovat potřebnou zvýšenou pozornost, protože péče o tuto oblast v konečném důsledku přináší dlouhodobé výhody nejen pro výrobní podniky, ale především pro pracovníky, kterým tyto aktivity mohou výrazným způsobem zlepšovat fyzickou i duševní pohodu při výkonu jejich práce.

### 12.1. Charakteristika pojmu ergonomie a ergatiky



**Čas ke studiu:** 3 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Charakterizovat pojem ergonomie podle oficiální definice ČSN.  
Popsat cíle ergonomie.  
Charakterizovat pojem ergatiky.



**Výklad**

**Ergonomie** je interdisciplinární vědní obor, který integruje a využívá poznatky věd humanitních (zejména psychologie práce, fyziologie práce, hygieny práce, antropometrie, biomechaniky) a věd technických (např. vědy o řízení, robototechniky, normování aj.).

Pojem ergonomie je převzat z anglického „ergonomics“, který vznikl spojením řeckých slov „ergon“ - práce, pracovní síla a „nomos“ - řád, pořádek, zákon.

Ergonomie komplexně řeší činnost člověka (v rámci pracovního systému), jeho vazby (člověk a stroje v pracovním procesu) s pracovním vybavením (v užším slova smyslu se strojem) a pracovním prostředím (fyzikálním, chemickým, biologickým, organizačním a sociálním).

Oficiální definici ergonomie lze nalézt v normě **ČSN EN 614–1: 2006 (83 3501)**. Tato definice zní:

Ergonomie (studium lidských činitelů) se zabývá studiem vzájemných vztahů (interakcí) mezi lidmi a dalšími prvky systému. Ergonomie aplikuje teoretické poznatky, zásady, empirická data a metody pro navrhování zaměřené na optimalizaci pohody osob a celkovou výkonnost systému.

Předmětem vědního oboru ergonomie je studium vlivů a dopadů součinnosti mezi člověkem, pracovním prostředkem a pracovním prostředím a aplikace poznatků tohoto studia uplatněním limitů výkonnosti člověka (mentální, senzorické, antropometrické, biomechanické) při projektování, konstruování strojů a technických zařízení, při inovačních a racionalizačních záměrech, při plánování technického rozvoje apod.

Během osmdesátých let byl formulován princip „ergatického pojetí“, který chápe systém Člověk – Technika – Prostředí nejen z hlediska ergonomie, ale i bezpečnosti a hygieny práce a vychází z definice ergatiky. **Ergatika** je vědní obor, který optimalizuje systém ČLOVĚK – TECHNIKA – PROSTŘEDÍ s cílem zajistit pohodu člověka a zabránit ohrožení jeho zdraví úrazem či nemocí, při optimalizaci výkonnosti systému.

### **12.1.1. Cíle a praktické využití ergonomických poznatků**

Cílem ergonomicky řešeného pracovního místa je vytvořit takové pracovní podmínky, aby nedocházelo k nepřiměřené pracovní zátěži. Veškeré vzdálenosti, výšky a úhly musí být nastaveny tak, aby odpovídaly antropometrickým, biomechanickým požadavkům a fyziognoimii příslušného uživatele. Pracovní místo je nutno přizpůsobit člověku, nikoliv naopak.

Cíle ergonomických řešení jsou:

- humanizace techniky,
- racionalizace pracovních podmínek,
- zvyšování efektivnosti a spolehlivosti člověka při práci,
- chránit zdraví člověka (odstranit anebo v co největší míře minimalizovat působení negativních vlivů na člověka při pracovní činnosti),
- navrhování pracovních předmětů, pomůcek, nástrojů, zařízení a strojů (aby svým tvarem, resp. funkčními vlastnostmi co nejvíce odpovídaly rozměrům lidského těla, resp. kapacitám fyzického, mentálního a psychického výkonu člověka, coby jejich uživatele).

Praktické využití ergonomických poznatků je soustředěno převážně:

- na analýzu a hodnocení pracovních podmínek a jejich působení na člověka, eventuálně ovlivňování hranic jeho výkonnosti,
- na řešení regulace pracovní zátěže z hlediska omezené výkonnosti člověka a řešení pracovních postupů a režimů,
- na návrhy úprav a konstrukčního řešení strojů z hlediska optimalizace jejich obsluhy člověkem,
- na úpravy pracovního prostředí člověka,

- na řešení vývoje a zdokonalování pracovních systémů (strojů) z hlediska zvýšení pracovní a duševní pohody člověka, což úzce souvisí s jeho výkonností.

Velké výrobní společnosti dnes disponují týmem ergonomů, které mají za úkol řešit celou řadu projektů zaměřených na odstranění zdravotních rizik. Ale tento požadavek bude v budoucnu kladen i na malé a střední firmy, zejména z pohledu BOZP.

Tato opatření mohou přinést následující pozitivní účinky v oblastech:

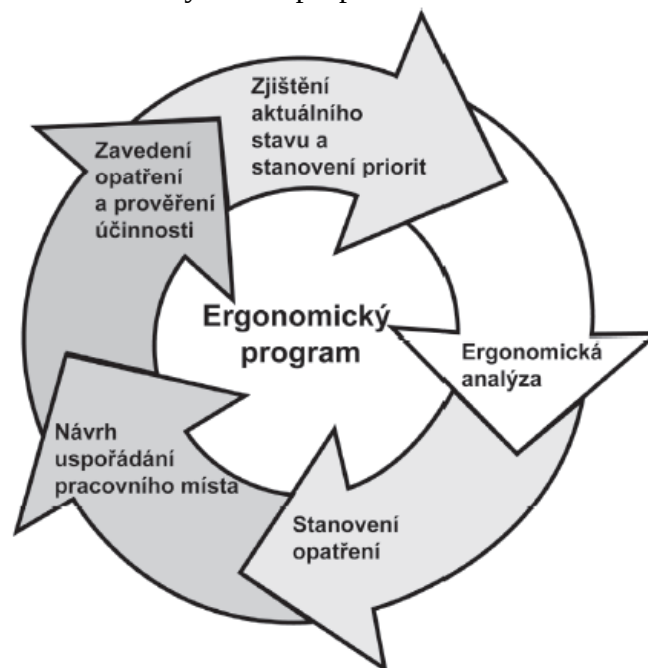
- zlepšení pracovních podmínek;
- zvýšení spokojenosti a motivace zaměstnanců, pokles fluktuace;
- pokles nemocných z důvodů nemocí z povolání;
- zvýšení úrovně kvality výrobků;
- zlepšení celkové úrovně firemní kultury.

### 12.1.2. Neustálé zlepšování ergonomie na pracovištích

Demingův cyklus neboli cyklus PDCA byl navržen profesorem ekonomie W. E. Demingem. Původně byl určen především pro efektivní řešení a zlepšování výrobních aktivit, procesů a systému, ale dnes se využívá také v bezpečnosti práce. Filozofie tohoto procesu vychází z původní teorie vědeckého řízení navržené H. Fayolem v roce 1916 a jeho princip se skládá ze čtyř po sobě následujících kroků:

- **P – Plan - Plánuj;**
- **D – Do -Dělej;**
- **C – Check - Kontroluj;**
- **A – Act - Jednej.**

Princip Demingova cyklu je jednoduchý. Jakmile proces od „P“ postupně dojde až k „A“, začne nový cyklus, tj. znovu dojde k novému plánování zaměřeného na zlepšení již vylepšeného (P). Soustavným opakováním pak dochází k postupnému zvyšování kvality a tedy i úrovně bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.



Obr. 64 Demingův cyklus upravený pro uplatnění v ergonomii



## Shrnutí kapitoly

Ergonomie, ergatika, demingův cyklus pro uplatnění v ergonomii.



## Kontrolní otázka

1. Co je to pojem ergonomie?
2. Co je to vědní disciplína ergatika?
3. Co je cílem ergonomie?
4. Co obsahuje Demingův cyklus upravený pro ergonomii?

## 12.2. Ergonomické projektování a simulování



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Charakterizovat pojem ergonomie podle oficiální definice ČSN.  
Popsat cíle ergonomie.  
Charakterizovat pojem ergatiky.



## Výklad

Ergonomické projektování a simulace ergonomických požadavků je dnes možné za pomoci celé škály specializovaných nástrojů, které simulují člověka při práci. Po namodelování situace je následně zřejmé, zda je pracovní úkol proveditelný z hlediska lidských možností a je lépe představitelné, v případě dodržení ergonomických aspektů, jakým způsobem dochází ke zlepšení a optimalizaci pracovního místa vzhledem k prováděné činnosti.

Velmi výhodnou a v poslední době stále více užívanou metodou je počítačová simulace pracoviště a pracovního procesu v digitálním prostředí. Nejúčinnějším příkladem řešení případných studií ergonomických problémů v praxi se v současné době stávají simulační nástroje nejmodernějších počítačových softwarů. Ty umožňují vizualizaci ve 3D a jedním z nich je například Delmia V5.

Je softwarem, který v dnešní době nabízí široké rozpětí způsobu řešení pro oblast řízení životního cyklu produktů (PLM). Specializuje se na plánování a simulaci výrobních postupů složitých výrobků. Jedním z modulů je tzv. PE modul (Process Engineering) s jádrem PPR (Produkt – Process – Ressource). V tomto jádru se integrují data, která následně slouží například pro simulaci konkrétního pracovního místa a celého pracoviště až do konečné fáze.

V té představují příkladně vizualizaci dané montážní linky v celkovém uspořádání výrobní haly. Včetně simulace pohybu osob a toku materiálu.

### 12.2.1. Ergonomické analýzy

Softwary využívají pro své ergonomické studie digitální modely člověka - pracovníka. Tyto modely jsou trojrozměrná modelová zobrazení skutečného člověka. Od roku 1960 bylo postupně vyvinuto mnoho modelů. Některé se z části přestaly používat, některé byly sloučeny nebo integrovány do jiných modelů. Tímto způsobem vznikly historicky významná softwarová řešení s modely jako jsou:

- Anthropos,
- ErgoMAX,
- BoeMan,
- CombiMan,
- CrewChief,
- CyberMan,
- Ergo,
- ERGOMan,
- Franky,
- Safework,
- TEMPUS aj.

Občas se objevovala některá speciální řešení, avšak vlastní modely člověka byly stále rozmanitější ve svých možnostech. Tato skutečnost vedla k tomu, že se počet modelů začal snižovat, protože náklady na jejich nový vývoj byly značné. V letech 1990 se softwarový trh ustálil. V současné době jsou nejznámější právě digitální modely člověka obsažené v softwarech Delmia, Tecnomatix a Ramsis.



Obr. 65 Nejvyžívanější digitální modely člověka v současnosti

## Ergonomické softwarové produkty

### Delmia V5 Human

Ergonomický modul Human je součástí platformy V5, jejíž prostředí využívá také 3D grafický systém Catia. Tato platforma je mnohem obsáhlejší než Delmia Process Engineer a také složitější. Modul V5 Human se skládá z následujících 5 oblastí.

- **Human Builder** - umožňuje intuitivní vytváření a manipulaci s digitálním modelem člověka. Pomocí jednoduchých menu jsme schopni nadefinovat, zda náš pracovník má být muž či žena, percentil postavy anebo konkrétní rozměry jednotlivých částí těla. Další výhodou je možnost využít několika odlišných antropometrických databází. Designéři nebo ergonomové tak mohou používat různé populace jako například Američany, Evropany, Asiaty, ke svým analýzám. Tyto databáze je možno doplňovat o další modely, a takto upravené modely pracovníků si může uživatel uložit, čím si pro příště značně ulehčí práci.
- **Human Measurements Editor** - umožňuje tvorbu pokročilejších, uživatelsky definovaných modelů člověka. Je zde možnost měnit proporce jednotlivých segmentů modelu. Pomocí matematického algoritmu se při změně jedné části změní proporcionálně i ostatní, tak aby model stále vyhovoval antropometrickým měřítkům dané populace.
- **Human Activity Analysis** - umožňuje maximalizovat pohodlí pracovníka, jeho bezpečnost a výkon pomocí velkého množství pokročilejších ergonomických analýz, které globálně vyhodnocují všechny vazby vzájemného ovlivňování pracovníka s pracovištěm.
- **Human Posture Analysis** - umožňuje uživateli kvantitativně a kvalitativně analyzovat všechny aspekty pracovníkova postoje. Celé tělo a různé postoje jsou zde zkoumány a vyhodnocovány za účelem zajištění pracovníkova komfortu a výkonnosti při manipulaci s předměty. Ve spojení s oblastí Activity Analysis je možno zjišťovat zatížení člověka v různých polohách během pracovního úkolu.
- **Human Task Simulation** – slouží k simulaci jednotlivých aktivit digitálního modelu člověka. Provádí se zde operace jako například chůze (dopředu, zpět), změna postoje v závislosti na změně polohy předmětu, zvedání a umisťování předmětů a několik dalších:

### Tecnomatix Jack

Tecnomatix Jack je software zaměřený na ergonomii a lidský faktor. Software vznikl za podpory NASA na Department of Computer and Information Science na University of Pennsylvania během 80. let. Tento software umožňuje uživateli umístit do virtuálního prostředí přesný biomechanický model člověka, přiřadit mu úkoly a sledovat jeho výkonnost. Jack nebo Jill, jak je nazýván model ženského pohlaví, odpovídají na klasické otázky, co vidí, kam dosáhnou, jestli se cítí pohodlně nebo jestli nejsou přetěžováni. Tento produkt tedy obsahuje moduly pro:

- **Dimenzování pracovníka** - lze vytvořit postavu libovolných rozměrů a proporcí. Populační data jsou sebrána z antropometrického průzkumu



personálu armády spojených států z roku 1988 (ANSUR 88 - Anthropometric Survey of U. S. Army). Na základě těchto údajů se snadno dají vygenerovat rozměry postav na základě výšky, váhy nebo percentilu populace. Biomechanický model člověka má celkem 69 segmentů a 68 kloubů. Nejdetailněji je tvořena páteř (17 segmentů) a ruce (16 segmentů). S těmito segmenty můžeme manipulovat ve 2-3 osách. Máme tudíž možnost manipulovat celkem až se 135 stupni volnosti.

- **Polohování** - umožňuje manipulovat s jednotlivými segmenty, které jsou spojeny pomocí kloubů, jejichž úhly a rozsahy jsou převzaty ze studií NASA. Když pohybuje s jednotlivými segmenty virtuálního modelu člověka, software využije inverzní kinematiky a určí automaticky polohu i ostatních propojených segmentů.
- **Analýzy** - možnost provádět několik základních typů vyhodnocování výkonu našeho virtuálního člověka. Klasikou je zobrazení zorného pole. Další charakteristikou je vyhodnocování dosahových vzdáleností, díky kterým jsme schopni říct, zda náš model dosáhne na určité předměty nebo jaká je vzdálenost k tomuto objektu. Velice užitečnou záležitostí je testování kolizí v reálném čase mezi postavou člověka a ostatními objekty

Pro více složité analýzy je nutné použít doplňkových modulů Occupant Packaging Toolkit a Task Analysis Toolkit.

### **Task analysis toolkit (TAT)**

Tyto analýzy zhodnotí riziko potenciálního zdravotního ohrožení založeného na postoji, využití svalů, zátěži, délce činnosti, frekvenci a zprostředkovávají návrhy jak toto riziko snížit. TAT analýzy ukazují, kolik může pracovník zvednout, položit, přenést nebo tlačit při vykonávání jeho práce.

- Low Back Spinal Force Analysis – analýza síly působící na páteř a bederní část zad virtuálního modelu při různých postojích a pod různým zatížením.
- Static Strength Prediction – analýza zatížení pracovníka od statických sil.
- NIOSH Lifting Analysis – analýza pro vyhodnocení zvedacích úkolů, vypočítává doporučený hmotnostní limit v zadaných postojích.
- Predetermined Time Analysis – kalkulace času potřebného na provedení operací dle metody MTM-1.
- Rapid Upper Limb Assessment – analýza zaměřená na hodnocení pracovního postoje.
- Metabolic Energy Expenditure – odhad metabolického energetického výdeje pracovníka při určité práci vzhledem k jeho charakteristickým rysům.
- Manual Handling Limits – analýza pro vyhodnocování a navrhování operací týkajících se ruční manipulace zahrnující zdvihání, tlačení, táhnutí a přenášení.
- Fatigue/Recovery Analysis – analýza vypočítává na základě zadaného pracovního úkolu čas potřebný k odpočinku, který pak následně porovná s požadovaným časem oddechu.
- Working Posture – analýza OWAS slouží rychlou kontrolu pracovního postoje. Vyhodnocuje relativní diskomfort pracovní pozice založený na pozici zad, rukou a nohou a míře zatížení.

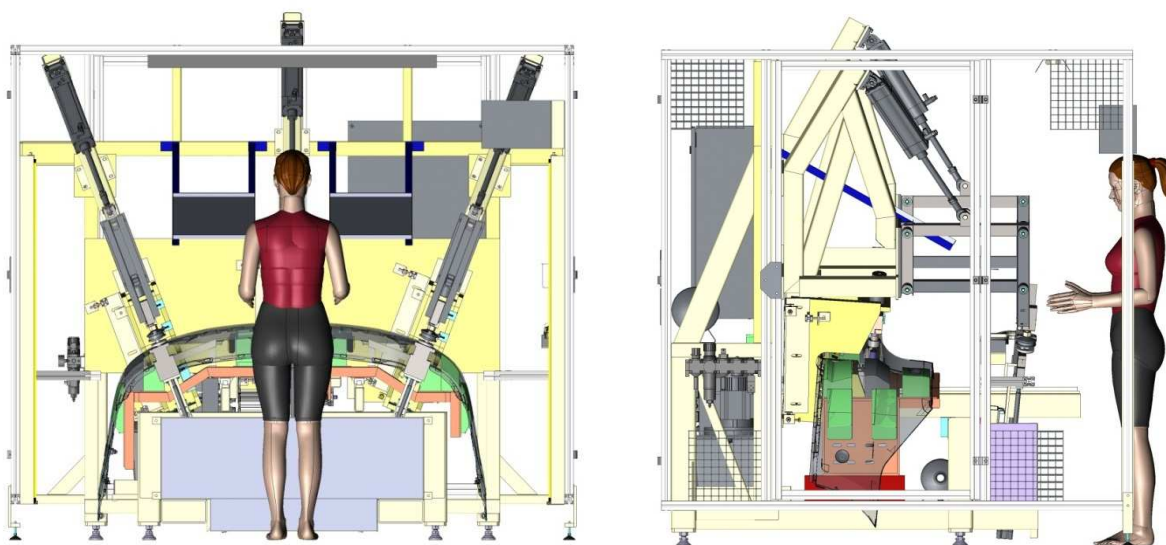
## Occupant packaging toolkit (OPT)

Tento balíček dodatkových analýz je používán zejména při návrhu vnitřních prostorů aut, nákladních automobilů, letadel apod. Designéři jsou s pomocí tohoto nástroje schopni hodnotit komfort a výkonnost pasažérů různých dopravních prostředků. Hlavním přínosem při využívání tohoto nástroje je značná finanční úspora, neboť již není nutné využívat fyzických figurín. OPT se skládá z dalších šesti konkrétních analýz.

- SAE packaging guidelines – 28 doporučených SAE směrnic, které obsahují informace o rozmístění důležitých ovládacích prvků v autě.
- Posture prediction – slouží převážně k simulaci polohy sedících pasažérů v autě.
- Comfort assesment – pomáhá určit, zda jsme umístili model člověka do komfortní sedící polohy.
- Advanced Reach Analysis, Advanced Anthropometry – analýzy jsou nadstavbou klasických analýz ze základní nabídky programu, které jsou nepatrně upraveny pro návrhy automobilů.
- Vision analysis - analýza zorného pole pracovníka.

### 12.2.1. Simulace montážního pracoviště

Po definování operací, zdrojů, produktů a jejich simulování se testují jednotlivá pracoviště v různých softwarových ergonomických nástrojích. Podle výsledků z jednotlivých analýz je třeba přizpůsobit pracoviště danému pracovníkovi a opět upravit časy operací. Tento koloběh se opakuje, dokud nedosáhneme nejlepších výsledků.



Obr. 66 Příklad simulace montážního pracoviště s využitím ergonomických aspektů



## Shrnutí kapitoly

Digitální model člověka.



## Kontrolní otázka

1. Jaké digitální modely člověka znáte?
2. Jaké jsou nejvyžívanější digitální modely člověka v současnosti?
3. Jaké softvérové ergonomické produkty znáte?
4. K čemu se využívá softvér Technomatik Jack?
5. Jaký produkt například byste využili pro simulaci montážních prací?
6. Co znamená TAT?
7. Co znamená OPT?

## 13. VÝVOJOVÉ SMĚRY V INOVACÍCH VÝROBY A MONTÁŽE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Určit hlavní směry vývoje ve výrobě a montáži z hlediska počítačové podpory výroby.
- Definovat výrobu světové úrovně a systémy podpory výroby.

**Budete umět**

### Budete schopni:

- Popsat vývoj řízení výroby v důsledku aplikací nových informačních technologií.

**Budete schopni**

### 13.1. Vývoj řízení výroby



**Čas ke studiu:** 1 hodinu



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat WCM.  
Vysvětlit vývoj řízení výroby.



**Výklad**

Současnou výrobu a montáž značně ovlivňuje přechod od průmyslové ekonomiky ke znalostní společnosti. V „průmyslové ekonomice“ (industrial economy) byly klíčové přírodní zdroje jako uhlí, železná ruda a práce. „Znalostní ekonomika“ (knowledge economy) je oproti tomu založena na využívání znalostí.

Prioritní jsou znalosti uplatněné na nové originální produkty, progresivní technologie, speciální řešení a postupy aj. Podle Kováče, J.; Svobody, M.; Líška, O. se očekává, že přechod od průmyslové ke znalostní společnosti zasáhne široké systémové okolí a způsobí změny v oblastech:

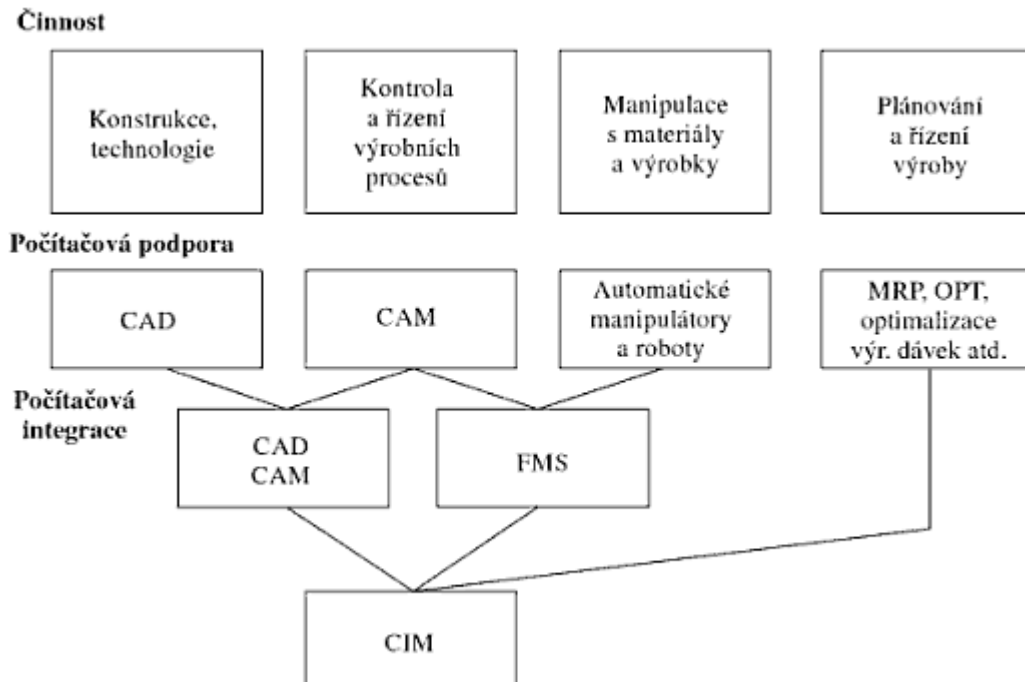
- přechod od vynutěných k vyspělým technologiím výroby;
- přechod ke světové výrobě;
- přechod od centralizace od decentralizace;

- změny ve výchovném a vzdělávacím procesu;
- posilování inovačního myšlení a jednání;
- přechod k outsourcingu činností;
- zvýšení pružnosti ve výrobě a montáži aj.

Srovnávacím vzorem inovací produktivity a kvality výroby jsou výrobní společnosti začleňující tzv. World Class Manufacturing. Dovednosti získané v důsledku zavádění World Class Manufacturing (dále jen WCM) umožní neustálé zdokonalování výrobních postupů a procesů uvnitř společnosti. Tento název znamená v překladu „výroba světové úrovně“.

Ve světě se tak obecně nazývají programy, které mají za cíl zdokonalit systém výroby a přispět tak k vyrovnání se a předstížení konkurence na trhu za pomoci vypracování strategií v oblastech (viz KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vydání. Praha: C.H.Beck, 2001. s. 137. ISBN 978-80-7400-119-2):

- samotného zvolení produkce dodávané na trh;
- uspořádání výrobního procesu a materiálových toků;
- rozmístění výroby;
- zásobování;
- řízení lidských zdrojů v oblasti výroby;
- plánování výroby;
- přístupu k řízení zásob;
- přístupu k řízení kvality;
- řízení údržby.



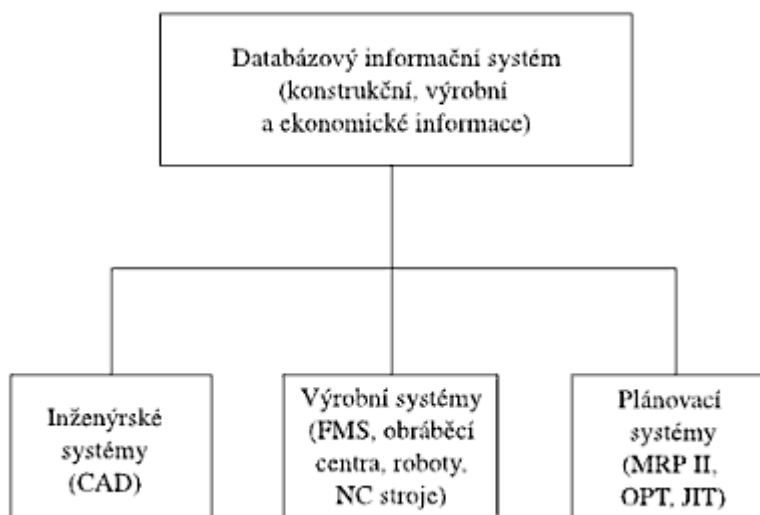
**Obr. 67 Vývoj řízení výroby v důsledku aplikací nových informačních technologií**  
 (lit. KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vydání. Praha: C.H.Beck, 2001. s. 137. ISBN 978-80-7400-119-2)

Adaptace výroby na podmínky znalostní společnosti znamená zapojit do výroby nové strategie výroby, např.:

- synchronizovaná výroba (Just-In-Time);
- skupinová technologie (Group Technology);
- buňková výroby (Cellular Manufacturing);
- bezskladová výroby (Stock-Less-Production);
- logistická výroby (Logistic Production);
- bezporuchová výroba (Zero Defect Production);
- robotizovaná výroba (Robot Production);
- integrovaná výroba (CIM).

### 13.1.1. CIM

CIM (Computer Integrated Manufacturing) neboli počítačově integrovaná výroba je nejvyšším stupněm integrace řízení výroby a využití informačních technologií. Struktura CIM je schématicky znázorněna na obrázku níže. Základem jsou inženýrské systémy CAD (Computer Aided Design), dále výrobní systému FMS (Flexible Manufacturing System) a plánovací systémy.



**Obr. 68 Základní skladba CIM**

(lit. KERŤKOVSKÝ, M. Moderní přístupy k řízení výroby. 2. vydání. Praha: C.H.Beck, 2001. s. 137. ISBN 978-80-7400-119-2)

Integrací uvedených komponent je dosahováno zkvalitnění výroby a uspokojení zákazníka. Do budoucna se předpokládá vývoj směrem k CIE (Computer Integrated Enterprise) neboli rozšíření počítačové integrace CIM o další oblasti zaměřená například na rozšíření o informace o dodavatelích a odběratelích s využitím interaktivních opor.



## Shrnutí kapitoly

CIM, CAD, FMS, CIE.



## Kontrolní otázka

1. Co znamená pojem CIM?
2. Co znamená pojem CAM?
3. Co znamená pojem FMS?
4. Co znamená pojem CIE?
5. Co znamená pojem Just-In-Time?
6. Co znamená pojem Group Technology?
7. Co znamená pojem Cellular Manufacturing?
8. Co znamená pojem Stock-Less-Production?
9. Co znamená pojem Logistic Production?
10. Co znamená pojem Zero Defect Production?
11. Co znamená pojem Robot Production?



## Další zdroje

Seznam použité a další literatury, www odkazů apod., pro zájemce o dobrovolné rozšíření znalostí popisované problematiky.

BILÍK, O. 2002. *Obrábění 1 – 2. díl*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TUO, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.

BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava : Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2009-1-8]. Scripta electronica. s. 251. Dostupné na WWW:<<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/>>. ISBN 978-80-248-1505-3.

BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. 2008. *Technologie II – 1. díl*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TUO, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1822-1.

BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. 2009. *Návody do praktických cvičení z Technologie II*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, s. 88. ISBN 978-80-248-2147-4.

BUREŠ, M.; ČERNÝ, Z.; ROUBAL, J.: *Využití softwarového produktu Delmia při plánování výroby*. ZČU v Plzni, 2006.

DILLINGER, J. A KOL. 2007. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha : Europa-Sobotáles cz. s. r. o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.

DUŠÁK, K. 2005. *Technologie montáže. Základy*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2005. 116 s. ISBN 80-7083-906-6.

DUŠÁK, K. 2006. *Metodika řešení rozměrových řetězců*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2006. 160 s. ISBN 80-7372-053-1.

DUŠÁK, K. 2003. *Technologie montáže - terminologie*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. 24 s. ISBN 80-7083-731-4.

HANÁKOVÁ, E. *Práce a zdraví, rizikové faktory pracovního prostředí*. Praha : VÚBP, v.v.i. 2008. 108 s. edice Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-07-4.

HAVRILA, M. 1997. *Automatizovaná montáž*. Prešov : FVT Prešov, 1997.

HRUBÝ, J. A KOL. 1988. *Technologie obrábění a montáže*. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, Fakulta strojní a elektrotechnická, 1988. 289 s.

HOFMANN, P. 1997. *Technologie montáže*. 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.

JANEK, J. 2000. *Modernizácia rozhraní montážních systémov*. Košice : KDP Sjf TU Košice, 2000.



- KOCMAN, K.; PROKOP, J. 2003. *Speciální technologie - Obrábění . Řešené příklady*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní, 2003.
- KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vydání. Praha: C.H.Beck, 2001. s. 137. ISBN 978-80-7400-119-2.
- KOVÁČ, M.; KOVÁČ, J. 1990. *Integrovaná výroba*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita, 1990.
- KOVÁČ, J.; SVOBODA, M.; LÍŠKA, O. 2000. *Automatizovaná a pružná montáž*. 1. vyd. Košice : Technická univerzita, 2000. 208 s. ISBN 80-7099-504-1.
- MÁDL, J. 1990. *Technologie obrábění a montáže : návody ke cvičení*. 2. vyd. Praha : České vysoké učení technické, 1990. 162 s.
- MÁDL, J.; JERSÁK, J.; HOLEŠOVSKÝ, F.; KOUTNÝ, V.; RÁZEK, V. 2003. *Jakost obráběných povrchů*. 1. vyd. Ústí n. Labem: UJEP, 2003. 179 s. ISBN 80-7044-539-4.
- MAREK, J.; SKŘEHOT, P. *Základy aplikované ergonomie BEZPEČNÝ PODNIK* [online]. 2009, poslední revize 11.3.2009 [cit. 2010-10-17]
- MATOUŠEK, O. Bezpečnost práce při manipulaci s břemeny. Praha : VÚBP, v.v.i, 2006. 36 s. Edice Bezpečný podnik. ISBN 80-86973-06-9.
- NOVÁK-MARCINČIN, J.; KURIC, I.; MIKAC, T.; BARIŠIĆ, B. 2009. *Computer Support for Improvement of Engineering and Manufacturing Activities*. 1. vyd. Rijeka: University of Rijeka, Croatia, 2009. 241 s. ISBN 978-953-6326-63-1.
- RUBÍNOVÁ, D. *Ergonomie - Učební texty pro průmyslový design ve strojírenství*. Brno, 2000. <http://www.vubp.cz/ces/soubory/zaklady-aplikovane-ergonomie-publikace.pdf>.
- RUDY, V. 2000. *Modernizácia výrobnjej základne pre zákaznícku výrobu*. Košice : KDP SjF TU Košice, 2000.
- SANDERSKÁ, K. 2000. *Inovačné metódy pre projektovanie zákazníckej montáže*. Košice : KDP SjF TU Košice, 2000.
- SCHRÖCK, J. 1965. *Montáž, lícování a měření*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury – Redakce strojírenské literatury, 1965. 306 s. 04-290-64.
- SLANEC, K. 1996. *Základy konstruování. Geometrická přesnost*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 1996. 156 s. ISBN 80-01-01494-0.
- SLANEC, K. 2001. *Základy konstruování. Geometrická přesnost - příklady*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2001. 160 s. ISBN 80-01-01494-0.
- SHAW, MILTON C. 2005. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.
- STANTON, Neville. *Handbook of human factors and ergonomics methods*. Boca Raton : CRC Press, 2005. ISBN 0-415-28700-6.

- TALÁCKO, J. 1996. *Projektování automatizovaných systémů*. Praha : ČVUT Praha, 1996.
- VASILKO, K.; HRUBÝ, J.; LIPTÁK, J. 1991. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava : Alfa Bratislava, 1991. 496 s. ISBN 80-05-00807-4.
- VLACH, B. A KOL. 1990. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 472 s. 04-203-90.
- VALENTOVIČ, E. 1999. *Technológia montáže*. Bratislava : STU Bratislava, 1999. 96 s.
- VALENTOVIČ, E. A KOL. 1972. *Montáž v strojárstve, I. díl Racionalizácia montáže*. Nové Mesto nad Váhom : VUMA Nové Mesto nad Váhom, 1972.
- VALENTOVIČ, E. A KOL. 1972. *Montáž v strojárstve, II. díl Technologicnosť konštrukcie výrobku z hľadiska montáže*. Nové Mesto nad Váhom : VUMA Nové Mesto nad Váhom, 1972.
- VALENTOVIČ, E. A KOL. 1972. *Montáž v strojárstve, III. díl Montážna technika*. Nové Mesto nad Váhom : VUMA Nové Mesto nad Váhom, 1972.
- WHITNEY, DANIEL E. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*.
- ČSN EN 614–1. *Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady navrhování – část 1: Terminologie a všeobecné zásady*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 15s.
- Ergonomie [online]. 2010 [cit. 2010-12-10]. *Ergonomie*. Dostupné z WWW: <http://ergonomie.name/>.
- Automatizace [online]. 2004 [cit. 2010-12-02]. *Průmyslové robotické systémy Mitsubishi MELFA*. Dostupné z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=685>.
- Předepisování tolerancí [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z WWW: <https://akela.mendelu.cz/~xmichali/TEPR/a/6P.pdf>.
- KUKA průmyslové roboty [online]. [cit. 2010-12-02]. *Ostatní montáž, demontáž*. Dostupné z WWW: [http://www.kuka-robotics.com/cms/templates/solutions/applications\\_detail.aspx?NRMODE=Published&NRNODEGUID=%7BEFD5FDBC-0B16-4B91-B42C-4728CC8532B7%7D&NRORIGINALURL=%2Fcs%2Fsolutions%2Fbranches%2Fceramic\\_stone%2Fapplications%2FB\\_Stone\\_Assembly\\_Disassembly.htm&NRCACHEHINT=NoModifyGuest](http://www.kuka-robotics.com/cms/templates/solutions/applications_detail.aspx?NRMODE=Published&NRNODEGUID=%7BEFD5FDBC-0B16-4B91-B42C-4728CC8532B7%7D&NRORIGINALURL=%2Fcs%2Fsolutions%2Fbranches%2Fceramic_stone%2Fapplications%2FB_Stone_Assembly_Disassembly.htm&NRCACHEHINT=NoModifyGuest).
- Základní tabulka s typy tolerancí [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z WWW: <http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-oot/fbi/040/cs/sys/resource/PDF/presnost.pdf>.



## CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu.



## Klíč k řešení

- O 1.1.1 Montáž lze charakterizovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů, přičemž vykonáváním činností ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek.
- O 1.1.2 Montáž zastává úlohu spojování dvou či více součástek do montážních podskupin, skupin a do vyšších celků. Kromě vlastního spojování přísluší do montáže obvykle i další činnosti jako je kontrola, mytí, zaběhávání, konzervace, přeprava součástí na pracovišti montáže a další.
- O 1.1.3 Význam montáže je možno posoudit na základě ukazatele podílu montážních prací ve struktuře pracnosti strojírenských výrobků, nebo ukazatele podílu celkového počtu pracovníků pracujících ve výrobě a montáži.
- O 1.1.4 Ano, kvalitní montáží je možno odstranit nedostatky výroby v oblasti rozměrové.
- O 1.1.5 Ano, kvalitní montáží je možno odstranit nedostatky výroby v oblasti tvarové.
- O 1.2.1 Montážní proces je podsystém výrobního systému, jehož cílem je montáž výrobků. Montážní proces lze posuzovat z hlediska jeho začlenění do výrobního procesu, jeho funkce a regulačních vlastností.
- O 1.2.2 Montážní operace je ukončená část montážního procesu, která je realizovaná při montáži celku nebo výrobku jedním nebo skupinou dělníků na jednom pracovišti zpravidla bez přestavení montážního zařízení.
- O 1.2.3 Montážní úsek je část operace, která je vykonávána na jednom spoji jedním nástrojem za přibližně stejných technologických podmínek (např. úprava rozměrů na místě na hrubo a úprava rozměrů součástí na místě na čisto).
- O 1.2.4 Montážní úkon je ucelená jednoduchá pracovní činnost dělníka v montážním procesu nebo přípravě výrobku k montáži v rámci úseku (např. upínání součástí do montážního přípravku, zapnutí stroje, apod.).
- O 1.2.5 Montážní pohyb je nejmenší část pracovní činnosti v montážním procese. Jsou dopodrobna popisované zejména v hromadné výrobě (např. uchopit klíč, nasadit klíč, otočit klíčem apod.).
- O 1.2.6 Pod pojmem technologický postup montáže je myšlen souhrn operací související se spojováním hotových součástí, (pod)sestav ve výrobek pomocí přípravků, zařízení a náradí, které odpovídá požadavkům výkresů a technickým podmínkám.

- O 1.2.7 Montážní základna je soubor ploch a prvků součástí, které určují její polohu vzhledem ke druhým dříve sestaveným součástem nebo základním plochám.
- O 1.2.8 Montážní pracovní poloha je část operace provádění při stejné poloze přípravku a montážního prvku.
- O 1.2.9 Montážní operace jsou bezesporu velmi pracné a nákladné. V praxi často zabírají až 50 % nákladů.
- O 1.2.10 Technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu konstrukčního řešení je ovlivněna konstrukcí a navrženou složitostí jednotlivých součástí, funkčních skupin i celých výrobků.
- O 1.2.11 Technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu technologie a organizace je ovlivněna z hlediska použitých montážních činností, pracovních a mechanizačních prostředků, organizace a průběhu montáže apod.
- O 1.2.12 Technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu kvality pracovních sil je ovlivněna kvalifikačními předpoklady pracovníků, zručností apod.
- O 1.2.13 Technicko-organizační úroveň montáže v podniku z pohledu pracovních podmínek a prostředí je ovlivněna například teplotou, vlhkostí na pracovišti.
- O 2.1.1 Montážní schéma je výchozím podkladem pro zpracování technologického postupu montáže. Montážní schéma dává přehled o vzájemném spojení součástí. Dále by z montážního schématu mělo být patrné jaké součásti a v jakém pořadí mají být vzájemně spojovány, rozmístění součástí pro správnou organizaci montáže.
- O 2.1.2 Technologičností konstrukce rozumíme takové konstrukční provedení součástí či výrobků, které zaručuje optimální výrobu při splnění všech jejich funkcí.
- O 2.1.3 Pod pojmem technologičnost konstrukce výrobku z hlediska montáže je zahrnuta taková úprava rozměrů, tvarů, materiálů a dalších parametrů, která vytváří nejnižší pracnost montáže a zhotovení výrobku při zachování, případně zlepšení stávajících jeho funkcí v rámci daných možností výroby.
- O 2.2.1 Problematika technologičnosti konstrukce je řešena s cílem zjednodušení montážního procesu, eliminovat ruční pracoviště a uplatnit mechanizaci a automatizaci apod.
- O 2.2.2 Za možnosti zvyšování technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži lze považovat řešení konstrukčního, technologického a provozního charakteru.
- O 3.1.1 Rozměrový řetězec je uzavřený řetězec vzájemně vázaných rozměrů, které jsou v určité posloupnosti, rozhodující pro vzájemnou polohu ploch či os jedné nebo více součástí.
- O 3.1.2 Schéma rozměrového řetězce je grafické zobrazení rozměrového řetězce a je vždy uzavřenou křivkou.

- O 3.1.3 Uzavírací člen  $A_U$  je člen rozměrového obvodu, jehož hodnota je výchozí veličinou při zadání řešené úlohy anebo je konečnou hledanou veličinou při řešení rozměrového obvodu. Uzavírací člen je výsledný rozměr, který se na výkrese kótuje jako informativní, nebo je to montážní výsledný rozměr, který vychází jako součet rozměrů jednotlivých součástí, nebo je to vůle, přesah, geometrická tolerance apod.
- O 3.1.4 Kompenzační člen  $A_{K1}$  je člen rozměrového obvodu, jehož změnou se dosáhne požadovaná přesnost uzavírajícího členu  $A_U$ .
- O 3.1.5 Ne.
- O 3.2.1 Paralelní přímkový obvod demonstruje vzájemné vazby mezi řetězcí a jejich spojovací členy v závislosti od čela součásti.
- O 3.2.2 Sériový obvod demonstruje vznik vzájemné vazby společnou základnou 1 anebo společnou základnou 2.
- O 3.2.3 Rozměrový obvod s kombinovanou vazbou demonstruje rozměrové obvody s kombinovanou vazbou, kde lze nalézt paralelní i sériové vazby.
- O 3.3.1 Praktickým příkladem použití metody úplné vyměnitelnosti součástí v praxi jsou například kola automobilů.
- O 3.3.2 Praktickým příkladem použití metody částečné vyměnitelnosti součástí v praxi je výroba pístů.
- O 3.3.3 Praktickým příkladem použití metody výběrové v praxi mohou být valivá ložiska, písty a čerpadla.
- O 3.3.4 Praktickým příkladem použití metody kompenzační v praxi jsou distanční kroužky, vložky aj.
- O 3.3.5 Praktickým příkladem použití metody regulační v praxi je pohyblivý či stavitelný kompenzátor.
- O 4.1.1 Praktickým příkladem použití metody lícovací v praxi je dolícování na místě při montáži obráběcích strojů.
- O 4.1.2 Technická příprava montáže (TPM) zahrnuje konstrukční přípravu montáže (KPM) a technologickou přípravu montáže (TgPM).
- O 4.1.3 Konstrukční příprava montáže (KPM) je určena výkresem sestav, podsestav, součástí a příslušným kusovníkem obsahující konstrukční charakteristiky montážní jednotky.
- O 4.1.4 Technologická příprava montáže (TgPM) vychází z konstrukčních podkladů (výkresy sestav, podsestav, součástí; kusovníky). Podle složitosti a členění výrobku obsahuje technologická dokumentace obvykle: montážní schéma, technologický postup montáže, procesní list montáže.
- O 4.1.5 Viz například obr. 17. Montážní schéma pneumatického válce.

- O 4.1.6 Technologický postup montáže by zpravidla měl obsahovat pořadí jednotlivých operací, popis postupu práce v jednotlivých operacích, nářadí, přípravky, pomůcky, zatřídění práce a normy času (kvalifikační třída pracovníka, jednotkový a dávkový čas aj.).
- O 4.1.7 Procesní list montáže znázorňuje postup montáže od hlavní součásti a pod ní ve svislém směru operace, které se na ní provádějí.
- O 4.1.8 Návodka je dokument, který obsahuje podrobný popis montážních činností a jejich sled, technické parametry pro nářadí a pomůcky, náčrtek montážního uzlu, dílčí normy času.
- O 5.1.1 Montážní spoj je základem montážního procesu a je místem pohyblivého nebo nepohyblivého styku minimálně dvou součástí.
- O 5.1.2 Mezi konstrukční faktory montážních spojů náleží například volba tvaru spojového uzlu.
- O 5.1.3 Mezi technologické faktory montážních spojů například náleží volba přídavných materiálů pro spojování.
- O 5.1.4 Mezi ekonomické faktory montážních spojů například patří cena konečné montáže spoje.
- O 5.1.5 Mezi ekologické faktory montážních spojů například náleží nezávadnost použitých lepidel při lepení spojů.
- O 5.2.1 Rozebíratelnými spoji jsou například spoje zajišťované šrouby, kolíky, klíny, čepy, pery a mohou se snadno a bez poškození spojovaných i spojovacích součástí uvolnit a znovu spojit.
- O 5.2.2 Podmíněně rozebíratelnými spoji rozumíme například spoje lisované.
- O 5.2.3 Spojení nerozebíratelné jsou spojení, které nelze demontovat bez poškození.
- O 5.2.4 Spojení s bezprostředním kontaktem jsou zajištěna např. ložisky, ozubenými převody, závitovými spojení, atd.
- O 5.2.5 Zprostředkovaný kontakt je realizován přes zprostředkující materiál např. svařování, pájení, lepení, atd.
- O 5.2.6 Pohyblivá spojení můžeme realizovat přes hřídelové spojky, ložiska, pohybové šrouby aj.
- O 5.2.7 Nepohyblivá např. svařováním, pájením, lepením, nalisováním s přesahem aj.
- O 6.1.1 Do tolerancí tvaru řadíme tolerance přímosti, rovinnosti, kruhovitosti, válcovitosti, profilu podélného řezu.
- O 6.1.2 Do tolerancí polohy řadíme tolerance rovnoběžnosti, kolmosti, sklonu, souososti, souměrnosti, jmenovité polohy prvku, tolerance různoběžnosti os.

- O 6.1.3 Do souhrnné tolerance tvaru a polohy řadíme tolerance obvodového házení, čelního házení, házení v daném směru, úplného obvodového házení, úplného čelního házení, tvaru daného profilu, tvaru dané plochy.
- O 6.1.4 Toleranční pole tvoří dvě navzájem rovnoběžné přímky ve vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud její povrchová linie leží mezi těmito hraničními přímkami, nebo se jich nanejvýš dotýká. Vzdálenost „ $t$ “ – udává velikost tolerančního pole.
- O 6.1.5 Toleranční pole tvoří dvě navzájem rovnoběžné roviny ve vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud její plocha leží v tolerančním poli, které je definované těmito rovinami.
- O 6.1.6 Toleranční pole tvoří dvě soustředné kružnice, ležící v radiální vzdálenosti  $t$ . Měřená součást je vyhovující pokud při libovolném radiálním řezu, leží její obvodové linie uvnitř tolerančního pole.
- O 6.1.7 Dálo by se říct, že válcovitost je prostorovou verzí kruhovitosti. Toleranční pole je tvořeno dvěma souosými válci se vzájemnou radiální vzdáleností  $t$ . Měřená součást je vyhovující, pokud měřená osa nevybočuje z tolerančního pole.
- O 6.1.8 Toleranční pole tvoří dvě ekvidistantní křivky ve vzdálenosti  $t$ . Měřený profil je vyhovující, pokud nevybočuje z takto definovaného tolerančního pole.
- O 6.1.9 Toleranční zóna, v níž musí ležet povrchové linie tolerovaného válce, je ohraničena dvěma rovnoběžnými přímkami o vzdálenosti  $t$ , které jsou rovnoběžné se vztažnou osou.
- O 6.1.10 Toleranční zóna je ohraničena dvěma rovnoběžnými rovinami o vzdálenosti  $t$ , které jsou kolmé ke vztažné ose. Tolerovaná čelní plochy musí ležet mezi těmito rovinami.
- O 6.1.11 Toleranční zóna je ohraničena 2 rovnoběžnými rovinami o vzdálenosti  $t$ , které jsou úhlově nakloněny ke vztažné ose. Tolerovaná plocha musí ležet mezi těmito rovinami.
- O 6.1.12 Toleranční pole je definováno válcem o průměru  $t$ , jehož osa se shoduje se základní osou. Měřená součást je vyhovující, pokud linii měřeného válce nevybočuje z tolerančního pole.
- O 6.1.13 Toleranční pole definují dvě roviny v prostoru navzájem vzdáleny o hodnotu tolerance  $t$ , jejich osou je základní rovina souměrnosti. Na obrázku je předepsaná hodnota souměrnosti drážky vzhledem ke dvěma rovnoběžným bokům součásti.
- O 7.1.1 Rozlišujeme podle způsobu namáhání čepu, a to radiální – zatížení působí kolmo na osu čepu; axiální – zatížení působí ve směru osy čepu.
- O 7.1.2 Nastavení záběru se kontroluje vyhotovením otlaku spolu zabírajících boků ozubených kol. Boky několika zubů se natírají speciální barvou. Otáčením kol ozubených kol vzniknou na bocích zubů záběrové obrazce.

- O 8.1.1 Montážní linku lze charakterizovat jako souhrn pracovišť rozmístěných podle technologického postupu, který je spojený mezioperační dopravou a určený k provádění stanovených operací při montáži celého výrobku nebo jeho částí.
- O 8.2.1 Obsazení linky je jen na jedné straně.
- O 8.2.2 Pohyb linky jde jen jedním směrem.
- O 8.2.3 Synchronizované montážní linky jsou charakteristické definovanou pevnou vazbou mezi jednotlivými pracovišti, pravidelným rytmem střídání činnosti jednotlivých montážních pracovišť a dopravního systému.
- O 8.2.4 Nesynchronizované montážní linky jsou příznačné volnou vazbou mezi jednotlivými montážními pracovišti, takt linky je částečně volný a u ručních pracovišť je rytmus práce určován operátorem.
- O 9.1 Orientace součásti znamená její převedení z volné neuspořádané polohy v prostoru (pomocí orientačních zařízení) do požadované polohy, určené podmínkami zásobování a montáže.
- O 9.2 Pro orientaci součástí bez kontroly vzájemné polohy se využívá vedení pomocí zkosených hran, pomocí ultrazvuku, pomocí vodicích prvků.
- O 9.3 Regulační a řídicí účinek působí nepřetržitě během orientace, síla a rychlost orientace je tím menší, čím menší je posun součásti.
- O 9.1.1. Postup montáže součásti kruhového průřezu je znázorněn na obr. 51.
- O 9.2.1. Doba vyhledávání závisí na počtu pohybů (u vodorovného či svislého pohybu), počtu zdvihů nebo kmitů (u oscilačního pohybu) součásti a na celkové dráze, kterou součást urazí.
- O 9.2.2. Způsob automatického vyhledávání se klasifikuje podle trajektorie pohybu, způsobu pohybu, zákonitosti pohybu.
- O 9.2.3. Způsob automatického vyhledávání podle způsobu pohybu je klasifikován na posuvný x rotační, podle jedné souřadnice x podle dvou souřadnic x podle tří souřadnic, s jednou nebo více pohyblivými součástmi.
- O 9.3.1. Síla, která posouvá pouzdro doleva je definována jako  $F_k = F \cdot \tan \alpha$
- O 9.3.2. Ano.
- O 9.3.3. Princip je znázorněn na obr. 52.
- O 9.3.4. Orientace vzájemné polohy pomocí ultrazvuku pracuje na principu činnosti mechanismu se samočinným nastavováním s regulací podle extrémní hodnoty.
- O 10.2.1. Průmyslové roboty a manipulátory jsou charakterizovány jako automatizační prostředky, sloužící k přenosu pohybu a sil, k transformaci jednoho druhu mechanického pohybu na jiný, nebo k vedení objektů po určitých, předem definovaných drahách.
- O 10.2.2. Manipulátory jsou konstrukčně jednodušší než roboty, přičemž mají zpravidla menší pracovní možnosti, nižší univerzálnost, jednodušší způsob řízení apod.
- O 10.2.3. Průmyslové roboty a manipulátory jsou rozdělovány z hlediska aplikačního na manipulační, technologické, univerzální, speciální.



- O 10.2.4. Průmyslové roboty a manipulátory jsou rozdělovány z hlediska řízení na ruční, automatické, pružně programovatelné, adaptivní roboty.
- O 11.1.1. Soustředná montáž je využívána při montáži těžkých či rozměrných součástí, které jsou montovány podle rámcových montážních postupů bez podrobného časového rozboru činností.
- O 11.1.2. Praktický příklad použití rozčleněné montáže je například montáž obráběcích strojů.
- O 11.1.3. Praktický příklad použití proudové montáže je montáž převodovek.
- O 11.1.4. Praktický příklad použití předmětné montáže je elektrických strojů.
- O 11.1.5. Praktický příklad použití linkové montáže je montáž automobilů.
- O 12.1.1. Co je to pojem ergonomie? Ergonomie je interdisciplinární vědní obor, který integruje a využívá poznatky věd humanitních (zejména psychologie práce, fyziologie práce, hygieny práce, antropometrie, biomechaniky) a věd technických (např. vědy o řízení, robototechniky, normování aj.).
- O 12.1.2. Ergatika je vědní obor, který optimalizuje systém ČLOVĚK – TECHNIKA – PROSTŘEDÍ s cílem zajistit pohodu člověka a zabránit ohrožení jeho zdraví úrazem či nemocí, při optimalizaci výkonnosti systému.
- O 12.1.3. Cílem ergonomicky řešeného pracovního místa je vytvořit takové pracovní podmínky, aby nedocházelo k nepřiměřené pracovní zátěži.
- O 12.1.4. Upravený Demingův cyklus pro ergonomii obsahuje začlenění ergonomického programu viz 64.
- O 12.2.1. Využívané digitální modely člověka známe Anthropos, ErgoMAX, BoeMan, CombiMan, CrewChief, CyberMan, Ergo, ERGOMan, Franky, Safework, TEMPUS aj.
- O 12.2.2. Nejvyužívanější digitální modely člověka v současnosti jsou Delmia V5 Human, Tecnomatix Jack, Ramsis.
- O 12.2.3. Softvérové ergonomické produkty jsou běžně známy Delmia, Tecnomatix Jack, Task analysis toolkit (TAT), Occupant packaging toolkit (OPT).
- O 12.2.4. Tecnomatix Jack je software zaměřený na ergonomii a lidský faktor.
- O 12.2.5. Produkt pro simulaci montážních prací je například Delmia.
- O 12.2.6. TAT je task analysis toolkit.
- O 12.2.7. OPT je occupant packaging toolkit.
- O 13.1.1. CIM je Computer Integrated Manufacturing.
- O 13.1.2. CAM je Computer Aided Manufacturing.
- O 13.1.3. FMS je Flexible Manufacturing Systém.
- O 13.1.4. CIE je Computer Integrated Enterprise.
- O 13.1.5. Just-In-Time je synchronizovaná výroba.
- O 13.1.6. Group Technology je skupinová technologie.
- O 13.1.7. Cellular Manufacturing je buňková výroba.

- O 13.1.8. Stock-Less-Production je strategie bezskladové výroby.
- O 13.1.9. Logistic Production je strategie logistické výroby.
- O 13.1.10. Zero Defect Production je strategie bezporuchové výroby.
- O 13.1.11. Robot Production je robotizovaná výroba.

- Ú 1.2.1 Pájení je montážní operace.
- Ú 1.2.2 Zakládání součásti do montážního přípravku je montážní úsek.
- Ú 1.2.3 Příčné nalisování součástí s kombinovaným ohřevem a chlazením je montážní operace.
- Ú 1.2.4 Nasazení klíče na šroub není montážní operací ani úsekem. Jedná se o montážní pohyb.
- Ú 1.2.5 Dotažení šroubu momentovým klíče je montážním pohybem.
- Ú 1.2.6 V případě „zapnutí montážního stroje“ se jedná o montážní úsek.
- Ú 1.2.7 V případě „vypnutí montážního stroje“ se jedná o montážní úsek.
- Ú 1.2.8 Příklad montážní operace je lisování.
- Ú 1.2.9 Příklad montážního úseku je úprava rozměrů součástí na místě.
- Ú 1.2.10 Příklad montážního úkonu je upínání součástí do montážního přípravku.
- Ú 1.2.11 Příklad montážního pohybu je otočení momentového klíče.
- Ú 2.1.1 Základny mimo montážní jsou známy například konstrukční, technologické, metrologické aj.
- Ú 2.2.1 Čtyři nejdůležitější úkoly řešené při návrhu konstrukce jsou: zabezpečení správné funkce mechanismů stroje; vyřešení nejvhodnějších tvarů detailů a skupin stroje; výběr vhodných materiálů a tvarů polotovarů; určení ekonomického způsobu výroby a montáže částí, skupin a celku.
- Ú 2.2.2 Příkladem konstrukční možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je minimalizaci počtu součástí pro montážní sestavu výrobků.
- Ú 2.2.3 Příkladem technologické možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je zkrácení úseku přípravy výroby i doby jejího zavedení.
- Ú 3.2.1 Příkladem provozní možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je hodnocení provozní spolehlivosti, životnosti výrobků.
- Ú 3.2.2 Vypočtete jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavírajícího členu rozměrového obvodu  $A_U$ . Obrázek 9 znázorňuje schéma přímého rozměrového obvodu, přičemž tabulka níže uvádí rozměry a mezní úchytky dílčích členů rozměrového řetězce.

Tabulka 1 - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu.

| Číslo zadání | Zadané rozměry členů řetězce |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Rozměr uzavíracího členu |                 |                 |
|--------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
|              | A <sub>1</sub>               | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | I <sub>A1</sub> | S <sub>A1</sub> | I <sub>A2</sub> | S <sub>A2</sub> | I <sub>A3</sub> | S <sub>A3</sub> | I <sub>A4</sub> | S <sub>A4</sub> | A <sub>U</sub>           | I <sub>AU</sub> | S <sub>AU</sub> |
| 1            | 20                           | 31             | 28             | 65             | -0,25           | 0               | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,15            | -0,15           | 0,2             | 14                       | -0,650          | 0,400           |
| 2            | 22                           | 34             | 30             | 67             | -0,25           | 0               | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,15            | -0,15           | 0,2             | 19                       | -0,650          | 0,400           |
| 3            | 24                           | 37             | 32             | 69             | -0,2            | 0               | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,15            | -0,15           | 0,2             | 24                       | -0,600          | 0,400           |
| 4            | 26                           | 40             | 34             | 71             | -0,2            | 0               | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,15            | -0,15           | 0,2             | 29                       | -0,600          | 0,400           |
| 5            | 28                           | 43             | 36             | 73             | -0,2            | 0               | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,15            | -0,15           | 0,2             | 34                       | -0,600          | 0,400           |
| 6            | 30                           | 46             | 38             | 75             | -0,1            | 0               | -0,15           | 0,15            | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,2             | 39                       | -0,550          | 0,350           |
| 7            | 32                           | 49             | 40             | 77             | -0,1            | 0               | -0,02           | 0,15            | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,2             | 44                       | -0,420          | 0,350           |
| 8            | 34                           | 52             | 42             | 79             | -0,1            | 0               | -0,02           | 0,15            | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,2             | 49                       | -0,420          | 0,350           |
| 9            | 36                           | 55             | 44             | 81             | -0,1            | 0               | -0,02           | 0,15            | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,2             | 54                       | -0,420          | 0,350           |
| 10           | 38                           | 58             | 46             | 83             | -0,1            | 0               | -0,02           | 0,15            | -0,1            | 0,1             | -0,1            | 0,2             | 59                       | -0,420          | 0,350           |

- Ú 5.1.1 Šroubový spoj.
- Ú 5.1.2 Tvar spojovaných ploch spoje.
- Ú 5.1.3 Výběr přídatného materiálu pro svařování.
- Ú 5.1.4 Cena přídatného materiálu pro spojování.
- Ú 5.1.5 Ekologická nezávadnost lepiva.
- Ú 5.2.1 Šroubový spoj.
- Ú 5.2.2 Lisovaný spoj.
- Ú 5.2.3 Svarový spoj.
- Ú 5.2.4 Ložiska.
- Ú 5.2.5 Pájení.
- Ú 5.2.6 Ložiska.
- Ú 5.2.7 Svarový spoj.
- Ú 8.2.1 Například montáž motorů.
- Ú 8.2.2 Například montáž elektrických strojů.
- Ú 8.2.3 Například montáž převodovek.