



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



TÝMOVÁ CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU MONTÁŽNÍ PRÁCE A AUTOMATIZACE MONTÁŽNÍCH PRACÍ

Studijní opora „Montážní práce a automatizace montážních prací“

Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Týmová cvičení z předmětu montážní práce a automatizace montážních prací
Autoři: Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D., doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.
Vydání: první, 2011
Počet stran: 85
Náklad: 25

Studijní materiály pro studijní obor Strojírenské technologie Fakulty strojní VŠB-TUO
Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Jana PETRŮ, Robert ČEP

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2707-0

POKYNY KE STUDIU

Týmová cvičení z předmětu montážní práce a automatizace montážních prací

Pro studium problematiky strojní montáže jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu.

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa střední školy strojního nebo příbuzného zaměření.

Cílem učební opory

Cílem je porozumět základním pojmům z oblasti montážních prací a automatizace montážních prací. Po prostudování modulu by měl student být schopen charakterizovat základní pojmy montáže a automatizace montážních prací. Student bude dále seznámen s teoretickými základy montážních technologií se vzájemným vztahem otázek konstrukce, výroby a montáže strojů se základními výpočty rozměrových obvodů.

Modul je zařazen do magisterského studia oboru Strojírenské technologie studijního programu Strojírenské technologie, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části a kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

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 pojmů

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.



Otázky

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



Úlohy k řešení

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



Klíč k řešení

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

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

Jana PETRŮ a Robert ČEP

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
1.1	Montáž a její význam ve strojírenství	8
1.2	Základní pojmy z oblasti montáže	9
1.3	Montážní činnosti a jejich rozdělení.....	12
1.3.1	Vymezení pojmu montážní činnosti.....	12
1.3.2	Rozdělení montážních činností	12
1.3.3	Třídník montážních činností	13
2	MONTÁŽNÍ PRVKY A SESTAVY.....	17
2.1	Charakteristika montážních prvků	17
2.2	Montážní skupiny a podskupiny	22
3	TECHNOLOGIČNOST KOSTRUKCE Z HLEDISKA MONTÁŽE	25
3.1	Pojem technologičnosti konstrukce	25
3.1.1	Technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži.....	25
3.2	Vliv konstrukčně-technologické koncepce výrobku na montážní proces	26
3.3	Ukazatele technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži	29
4	ANALÝZA ROZMĚROVÝCH ŘETĚZCŮ.....	32
4.1	Základní pojmy rozměrových řetězců.....	32
4.1.1	Rozdělení rozměrových řetězců	33
4.1.2	Členy rozměrových řetězců	33
4.1.3	Vybrané typy rozměrových řetězců.....	35
5	ŘEŠENÍ ROZMĚROVÝCH ŘETEZCŮ	37
5.1	Základní vzorce pro výpočet přímkových rozměrových řetězců.....	37
5.1.1	Paralelní přímkové rozměrové obvody.....	38
5.1.2	Sériové rozměrové obvody.....	38
5.1.3	Rozměrové obvody s kombinovanou vazbou	38
5.2	Základní vzorce pro výpočet rovinných rozměrových řetězců	49
6	METODY MONTÁŽE	57
6.1	Rozdělení metod montáže	57
6.1.1	Metoda úplné vyměnitelnosti součástí	57
6.1.2	Metoda částečné vyměnitelnosti součástí	59
6.1.3	Metoda výběrová (selektivní)	65

6.1.4	Metoda lícování (úprava na místě).....	69
6.1.5	Metoda kompenzační (pevný člen).....	71
6.1.6	Metoda regulační (pohyblivý člen).....	72
6.2	Přesnost výroby a její vliv na náklady montáže	74

1 ÚVOD

Úvodní kapitola se zabývá významem montáže a automatizace montážních prací ve strojírenské výrobě. Nedílným obsahem kapitoly je charakteristika pojmu montáže, montážního procesu, montážní operace a montážní činnosti včetně uvedení jejich praktických příkladů.

1.1 Montáž a její význam ve strojírenství



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

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.

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.

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 pojmů 1.1.

Montáž. Význam montáže.



Otázky 1.1.

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 Základní pojmy 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 náradí, 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.



Shrnutí pojmů 1.2.

Montážní proces, Montážní operace, Montážní úsek, Montážní úkon, Montážní pohyb, Technologický postup montáže, Montážní základna, Montážní pracovní poloha.



Otázky 1.2.

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?



Úlohy k řešení 1.2.

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 klíčem“ 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.

1.3 Montážní činnosti a jejich rozdělení



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Definovat pojem montážní činnosti.
- + Rozdělit montážní činnosti.
- + Uvést konkrétní příklady montážních činností.



Výklad

Montáž nelze chápat jako pouhé sestavování (např. ustavování, seřizování polohy, vyvažování apod.) a spojování součástí v montážní celek, ale jako soubor celé řady montážních činností.

1.3.1 Vymezení pojmu montážní činnosti

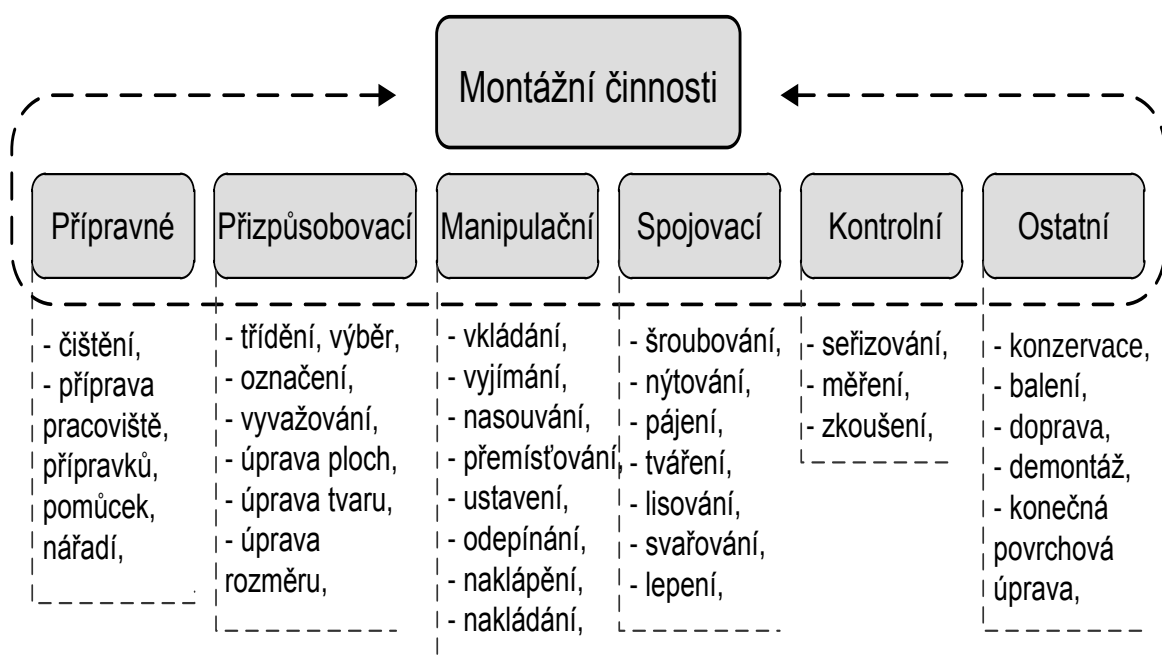
Montážní činnosti jsou myšleny jednotlivé činnosti, které jsou prováděny při montáži (např. čištění, ustavování, šroubování, seřizování, měření, balení, expedice aj.). Při montáži se provádí řada montážních činností, které lze rozdělit do šesti základních skupin, a to následujících:

- přípravné činnosti;
- přizpůsobovací činnosti;
- manipulační činnosti;
- spojovací činnosti;
- kontrolní činnosti;
- ostatní činnosti.

Tyto činnosti ve vzájemných vazbách musí plně respektovat nejen požadavky kladené na kvalitu, spolehlivost a životnost výrobků, ale také splňovat technologické, organizační a ekonomické požadavky samotného montážního procesu.

1.3.2 Rozdělení montážních činností

Obrázek 1.1 znázorňuje rozdělení montážních činností s praktickými příklady činností zařazených do jednotlivých skupin činností.



Obrázek 1.1 – Rozdělení montážních činností.

Vzájemný podíl jednotlivých montážních činností se liší v závislosti na realizovaném druhu výroby, na sériovosti a opakovatelnosti výroby, složitosti montážních celků, dostupném stupni technologičnosti konstrukce, zavedeném stupni mechanizace a automatizace do montážního procesu aj.

V kusové až malosériové výrobě jsou rozhodující zejména přípravné činnosti a z vlastní montáže má podstatný význam kontrola a seřizování včetně demontážních prací. Tyto činnosti tvoří v souhrnu asi 80 % pracnosti montáže.

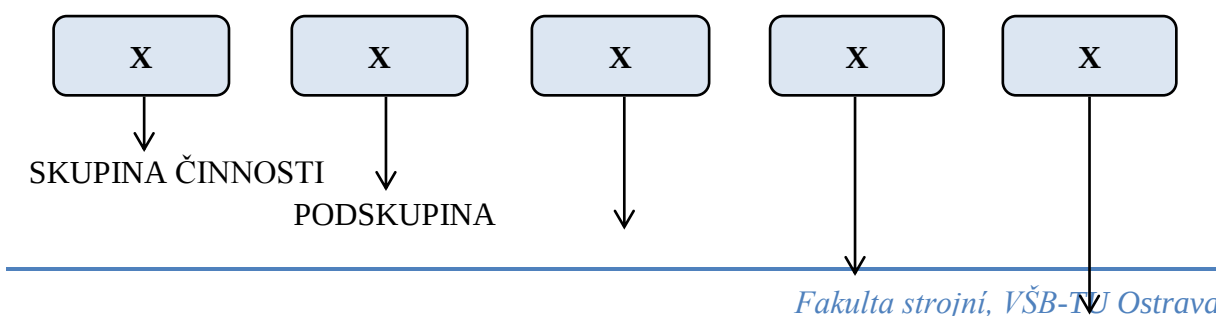
Pro rozbor prací u interních montáží v oblasti kusové a malosériové výroby byla zpracována „Soustava klasifikace prací prováděných při montáži ve strojírenských výrobcích“ od VÚMA (Výzkumný ústav mechanizace a automatizace) Nové Město nad Váhom ze Slovenska.

V sériové a hromadné výrobě se zvyšuje podíl montážních činností spojování a manipulace (např. vkládání, nasouvání atd.).

1.3.3 Třídění montážních činností

V praxi se využívají třídítky montážních činností pro snazší detekci činností. Jedním z možných systémů je například označení činnosti viz

Obrázek 1.2.



DRUH ČINNOSTI

ČINNOST

DOPLŇUJÍCÍ ZNAK

*Obrázek 1.2 – Příklad označení montážních činností.***Číselník skupiny činností (0 – 9):**

- 0 – práce na přípravě montáže (čištění, příprava pracoviště)
- 1 – práce přizpůsobovací (úprava povrchu a tvaru součástí, třídění, označování)
- 2 – práce při montáži ruční
- 3 – práce při automatizované montáži
- 4 – spojovací práce
- 5 – práce při seřizování a záběhu
- 6 – kontrolní práce
- 7 – konzervační a balící práce
- 8 – práce při demontáži
- 9 – manipulační práce
- 0 – ostatní práce

Číselník podskupin spojovacích prací (0 – 9):

- 0 – skládání a ohýbání
- 1 – šroubování
- 2 – ostatní rozebíratelná spojení
- 3 – lisování
- 4 – nýtování
- 5 – svařování
- 6 – pájení
- 7 – lepení
- 8 – tváření
- 9 – válcování
- 0 – ostatní nerozebíratelná spojení

Číselník druhů činnosti technologické metody lisování (0 – 9):

- 0 – lisování statickou osovou silou
- 1 – impulsně vibrační lisování
- 2 – nastřelením explozivně
- 3 – nastřelením pneumaticky
- 4 – ostatní metody podélného lisování
- 5 – smrštěním (ochlazení)
- 6 – roztažením (ohřev)
- 7 – kombinované (ohřev a ochlazení)
- 8 – tlakovým olejem
- 9 – změnou vnitřních pnutí
- 0 – ostatní metody příčného lisování

Praktickým příkladem označení montážní činnosti ve strojírenském podniku např. **431XX** označuje:

4 – spojovací práce;

3 – lisování;

1 – impulsně vibrační lisování;

X – charakteristické znaky činnosti;

X – doplňující technologický znak.

Efektivnost montážního procesu vyžaduje orientovat se na výběr vhodných montážních činností zejména z hlediska:

- snížení podílu ručních prací;
- snížení pracnosti montáže;
- zvýšení produktivity a kvality práce;
- zvýšení stupně mechanizace a automatizace;
- zvýšení stupně standardizace vybavení montážních pracovišť.



Shrnutí pojmů 1.3.

Montážní činnost.



Otázky 1.3.

1. Co je to montážní činnost?
2. Jaké základní rozdělení montážní činnosti znáte?

3. Které montážní činnosti převažují v malosériové výrobě?
4. Které montážní činnosti převažují ve velkosériové výrobě?



Úlohy k řešení 1.3.

1. Uveďte základní rozdělení montážních činností do skupin. U každé skupiny uveďte praktický příklad alespoň jedné činnosti ve skupině.
2. Ověřte, zda je výraz pravdivý. Montážní činnost „vyvažování“ řadíme do skupiny manipulačních montážních činností.
3. Ověřte, zda je výraz pravdivý. Montážní činnost „ustavení“ řadíme do skupiny manipulačních montážních činností.
4. Ověřte, zda je výraz pravdivý. Montážní činnost „šroubování“ řadíme do skupiny spojovacích montážních činností.
5. Ověřte, zda je výraz pravdivý. Montážní činnosti „třídění, výběr a označení“ řadíme do skupiny kontrolních montážních činností.

2 MONTÁŽNÍ PRVKY A SESTAVY

Kapitola se zabývá kategorizací montážních prvků a sestav, což napomáhá k pochopení celkové složitosti problematiky montáže celků. Nedílným obsahem kapitoly je charakteristika pojmu součást, podskupina, skupina, montážní celek včetně jejich praktických příkladů.

2.1 Charakteristika montážních prvků



Čas ke studiu: 2 hodiny



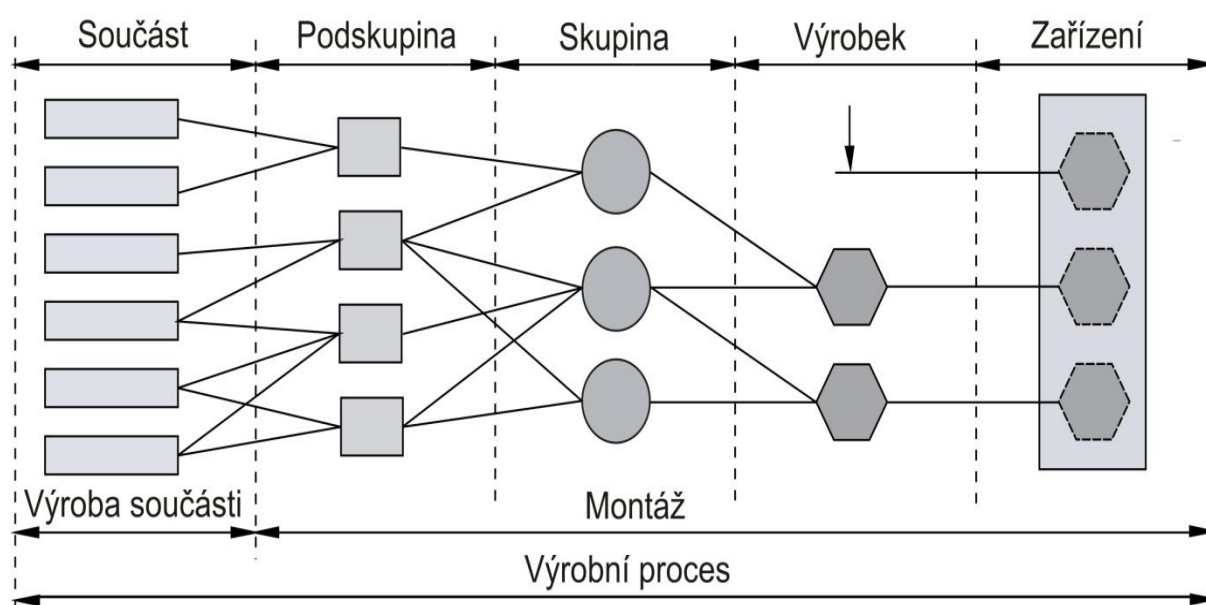
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Charakterizovat montážní prvky.
- + Popsat tvorbu a význam montážních schémat.
- + Vytvořit montážní schéma.



Výklad

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. Obrázek 2.1 znázorňuje základní členění výrobku z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu. Schéma vyjadřuje rozdělení montáže zařízení na základní montážní prvky.



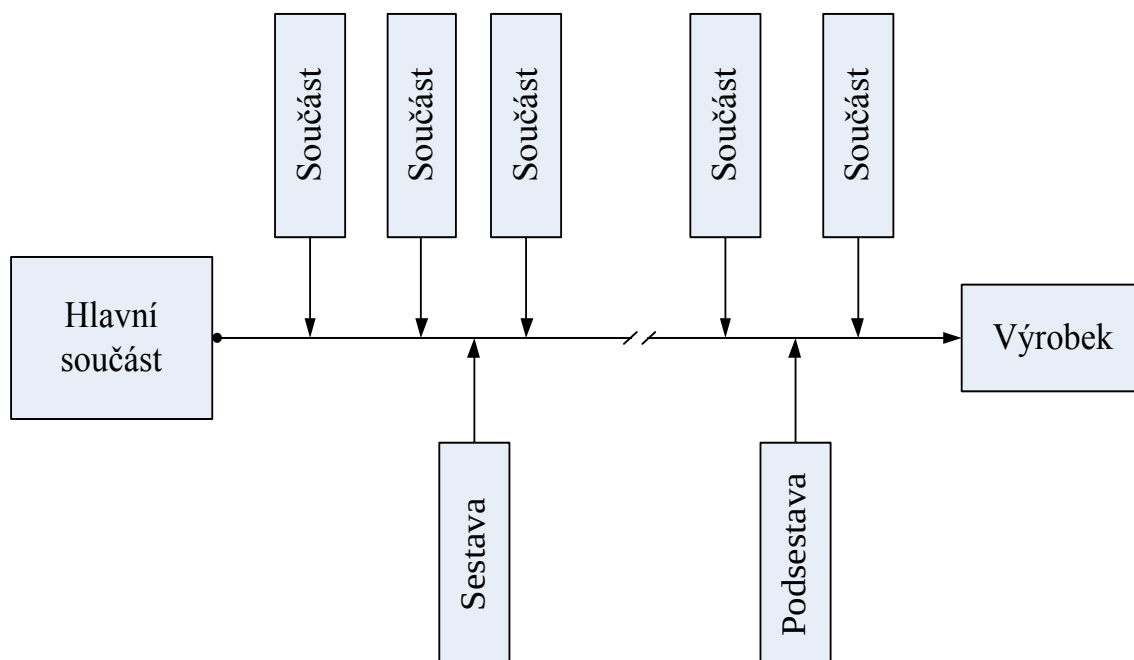
Obrázek 2.1 – Schéma montážních prvků zařízení.

K základním prvkům montážního procesu patří:

- **součást** – je nerozebíratelný prvek (prvotní článek montáže), část výrobku, která je obvykle vyrobena z jednoho kusu materiálu;
- **díl** – jednotka vzniklá spojením dvou nebo více součástí, přičemž nezáleží na způsobu provedení ani na způsobu spojení, jedná se o primární montážní prvek;
- **podskupina (podsestava)** – představuje jednotku vzniklou spojením dvou či více součástí, přičemž nezáleží na způsobu spojení; podskupiny mohou být vícero řádů, například podskupiny I. řádu jsou přímo montované do skupin, podskupiny II. řádu jsou montované do podskupin I. řádu apod.;
- **skupina (sestava)** – nejvyšší montážní prvek, vzniká spojením jedné nebo několika podskupin a dalších součástí;
- **výrobek** – většinou je to konečný hmotný produkt montáže určený pro trh, který je funkčně a konstrukčně uzavřený, vytvořený ze součástí, podskupin a skupin, spojených rozebíratelným či nerozebíratelným způsobem;
- **zařízení** – tvoří soubor strojírenských výrobků, které mají plnit dané provozní a technologické úkoly.

V případě složitějších součástí se sestavuje technologické schéma montáže, které názorně vyjadřuje posloupnost montáže jednotlivých součástí do podskupin a skupin, až v konečný výrobek či zařízení.

Obrázek 2.2 znázorňuje jednoduché technologické schéma montáže tvořené hlavní osou, na jejímž začátku je základní součást a na konci výrobek.

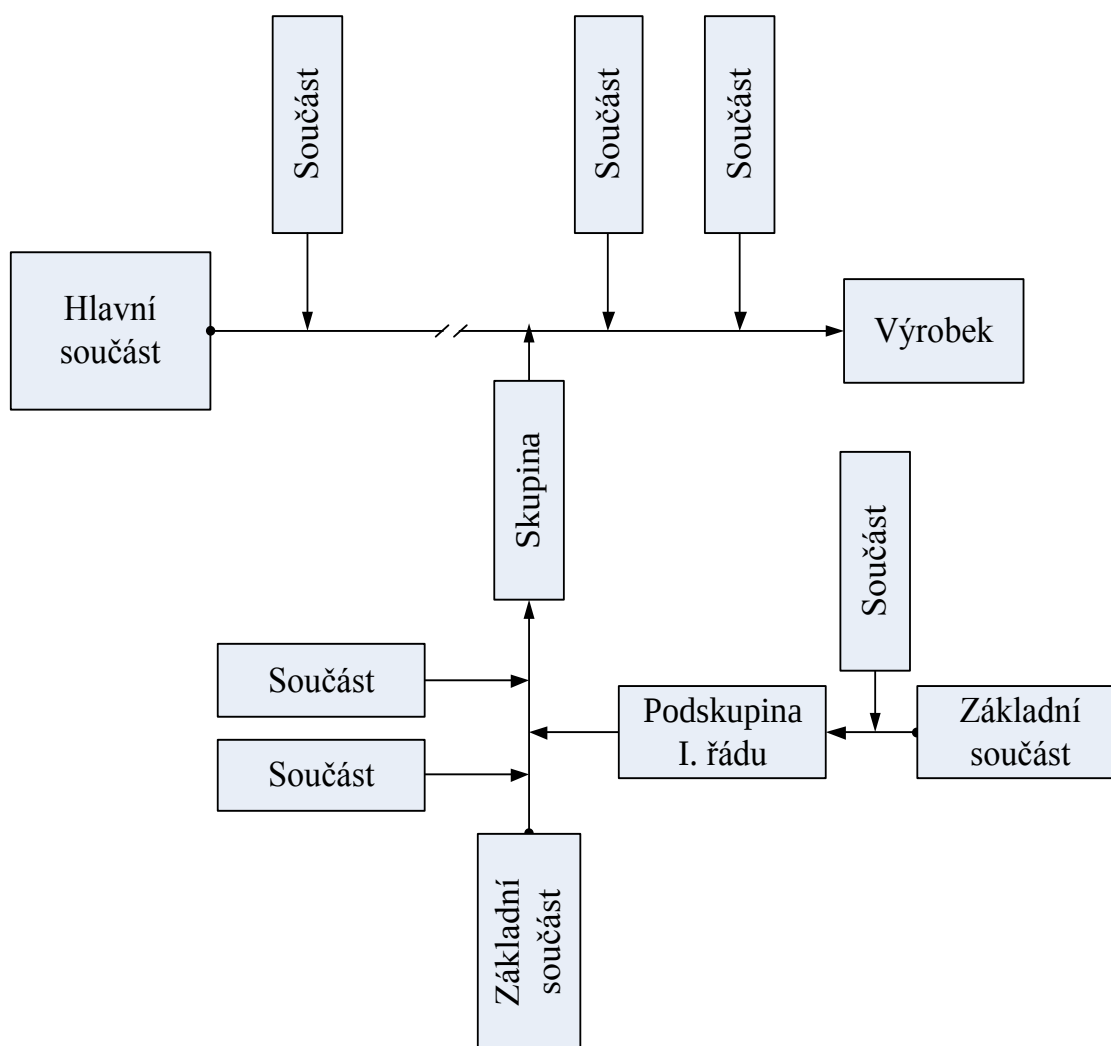


Obrázek 2.2 – Jednoduché technologické schéma montáže.

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.

Základní součásti je myšlena hlavní součást, kterou začíná montáž výrobku nebo skupiny, např. rám obráběcího stroje. Je možno začít montáž také základní skupinou či sestavou, např. podvozek automobilu. Nad hlavní osu schématu se nanášejí ve stanoveném sledu součásti, které vstupují do výrobku přímo. Pod osu schématu jsou zanášeny ve stanoveném sledu sestavy a podsestavy. Pokud je třeba, tak je možno tímto způsobem znázornit schéma jednotlivých sestav a podsestav výrobku.

Obrázek 2.3 znázorňuje rozvětvené technologické schéma montáže na podskupiny jednotlivých řádů.



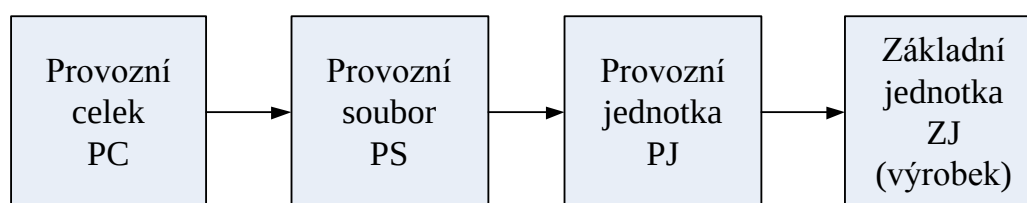
Obrázek 2.3 – Rozvětvené technologické schéma montáže.

Při řešení montáže technologického zařízení investičního celku je využito třídění již v projektové dokumentaci. Toto třídění začíná provozním celkem, postupuje přes provozní soubor a provozní jednotky k základní jednotce až na součásti. Pojmy užívané při třídění prvků při montáži investičních celků jsou následující:

- **Provozní celek (PC)** – veškeré strojní zařízení vykonávající úplný technologický proces. Zahrnuje obvykle více provozních souborů základní výroby a řadu provozních souborů pomocné výroby.

- **Provozní soubor (PS)** – strojní zařízení vykonávající uvnitř provozního celku dílčí samostatný technologický proces základní výroby nebo úplný proces jednoho druhu pomocné výroby.
- **Provozní jednotka (PJ)** – strojní zařízení vykonávající uvnitř provozního souboru ucelenou část dílčího technologického procesu základní výroby nebo úplného procesu pomocné výroby. Provozní jednotka je často sestavou z navazujících základních jednotek.
- **Základní jednotka (ZJ)** – stroj nebo strojní zařízení včetně příslušenství vykonávající v jednotlivých částech technologického procesu určitou základní funkci, a to buď hlavní, nebo pomocnou.

Obrázek 2.4 znázorňuje třídění prvků při montáži investičního celku od provozního celku až po základní jednotku, která je zpravidla výrobkem.



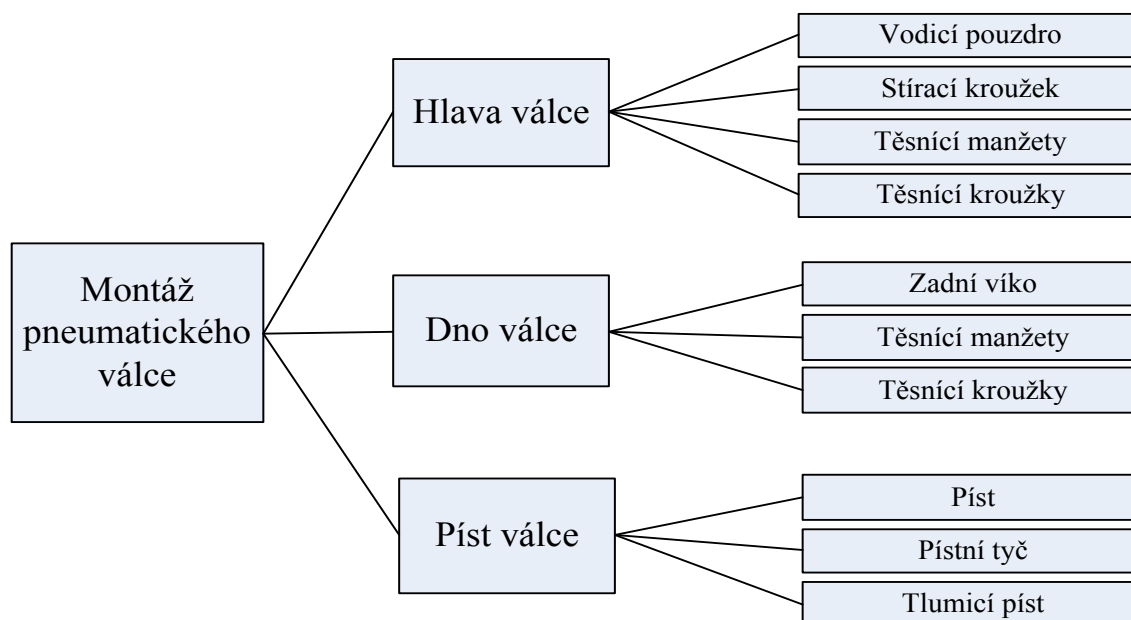
Obrázek 2.4 – Třídění prvků při montáži investičního celku.



Řešený příklad

Navrhněte montážní schéma pneumatického válce.

Obrázek 2.5 znázorňuje jednoduché montážní schéma pneumatického válce.



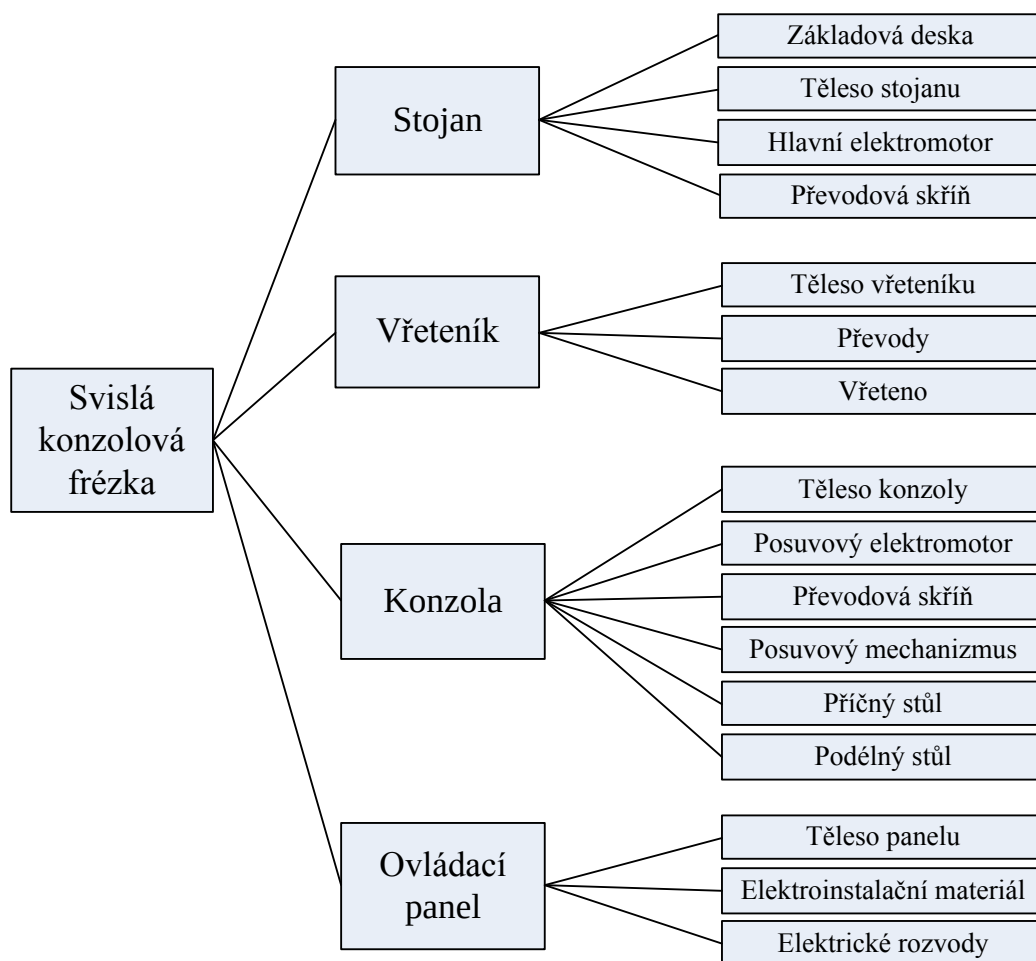
Obrázek 2.5 – Montážní schéma pneumatického válce.



Řešený příklad

Navrhněte montážní schéma svislé konzolové frézky.

Obrázek 2.6 znázorňuje jednoduché montážní schéma svislé konzolové frézky.



Obrázek 2.6 – Montážní schéma svislé konzolové frézky.



Shrnutí pojmů 2.1.

Součást, Podskupina, Skupina, Výrobek, Zařízení, Montážní schéma, Provozní celek, Provozní soubor, Provozní jednotka, Základní jednotka.



Otázky 2.1.

1. Co je to součást?
2. Co vyjadřuje pojem skupina?
3. Co je to provozní celek v montáži?
4. Jaký význam má tvorba montážního schématu pro praxi?



Úlohy k řešení 2.1.

1. Navrhněte montážní schéma vyvrtávačky.

2.2 Montážní skupiny a podskupiny



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Definovat pojem montážní skupiny
- + Definovat pojem montážní podskupiny.
- + Vyřešit příklady rozčlenění výrobku na montážní skupiny.



Výklad

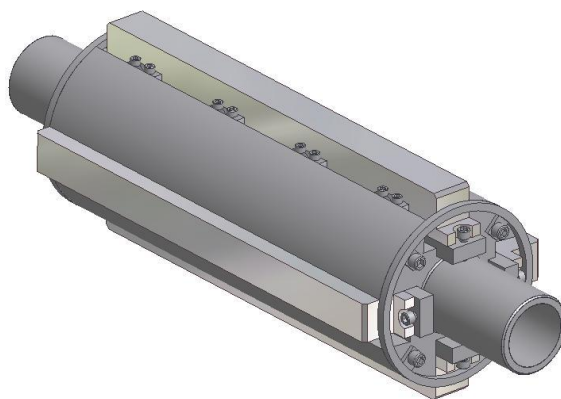
Rozdělení výrobku do montážních skupin je výchozím podkladem pro zpracování technologického postupu montáže. Navržené spojení do montážní sestavy má zohledňovat také případnou demontáž a nikoliv provádět členění do montážních skupin v rámci sestavy pouze z konstrukčního hlediska.

Montážní skupina je funkčně a konstrukčně uzavřená část výrobku, která vznikne spojením součástí a podskupin rozebíratelným či nerozebíratelným spojením.

Montážní podskupina je základní částí výrobku, která je funkčně nebo konstrukčně neuzavřená a kterou tvoří rozebíratelné či nerozebíratelné spojení dvou nebo více součástí.

V současnosti je trendem prezentovat náročnější montážní skupiny a podskupiny prostřednictvím videí a animací. Například produkt 3DVIA Composer byl vytvořen za účelem usnadnění tvorby montážních příruček i interaktivních 3D animací a videí. Vytvořené videa a animace eliminují nedorozumění, pomáhají urychlit práci a redukují náklady na přenos informací.

Na přiloženém CD-ROMu jsou znázorněny animace postupného skládání součástí v montážní skupiny. Obrázek 2.7 ukazuje přípravek pro simulaci přerušovaného řezu zkonstruovaného na Katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TUO.



Obrázek 2.7 – Přípravek pro simulaci přerušovaného řezu



Obrázek 2.8 – 3D vizualizace zdvihací plošiny.



Řešený příklad

Navrhněte rozdělení hydraulického válce na jednotlivé montážní skupiny.

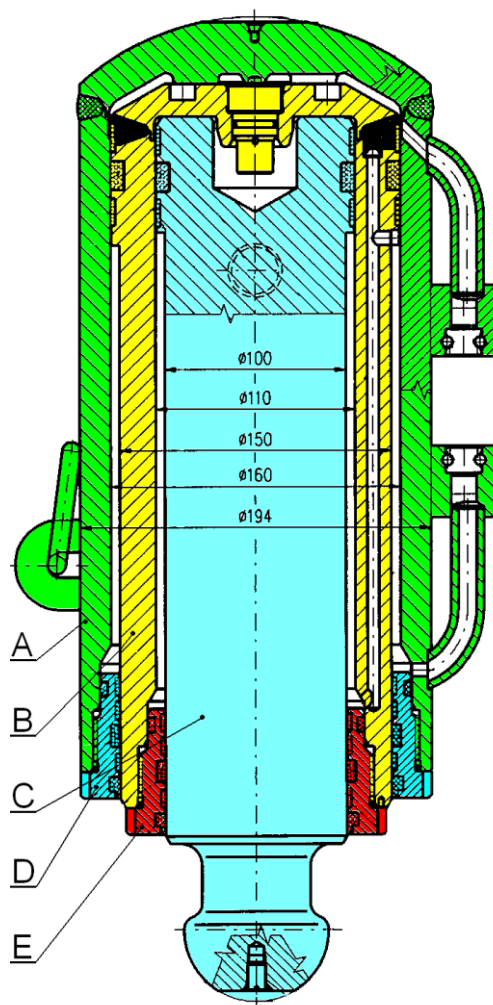
Hydraulický válec je jako sestava složen z mnoha součástí. Navrhujeme válec rozčlenit do těchto montážních skupin:

- A Sloup vnější
- B Sloup střední
- C Sloup vnitřní
- D Pouzdro I.
- E Pouzdro II.

Obrázek 2.9 barevně odlišuje jednotlivé montážní skupiny. Tyto jednotlivé skupiny budou samostatně smontovány.

U skupiny A, B budou navíc provedeny zkoušky těsnosti. Následně dochází k finální montáži celého hydraulického válce.

Finální operací celého procesu je opatření vnějšího povrchu nefunkčních částí válce nátěrem.



Obrázek 2.9 – Rozdělení hydraulického válce na montážní skupiny.



Shrnutí pojmů 2.2.

Montážní skupina, Montážní podskupina.



Otázky 2.2.

1. Co je to montážní skupina?
2. Co je to montážní podskupina?

3 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE Z HLEDISKA MONTÁŽE

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.

3.1 Pojem technologičnosti 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

Technologičností 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.).

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.

3.1.1 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 pojmů 3.1.

Technologičnost konstrukce, Technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži.



Otázky 3.1.

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?



Úlohy k řešení 3.1.

1. Napište čtyři nejdůležitější úkoly řešené při návrhu konstrukce.

3.2 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 jednu 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:

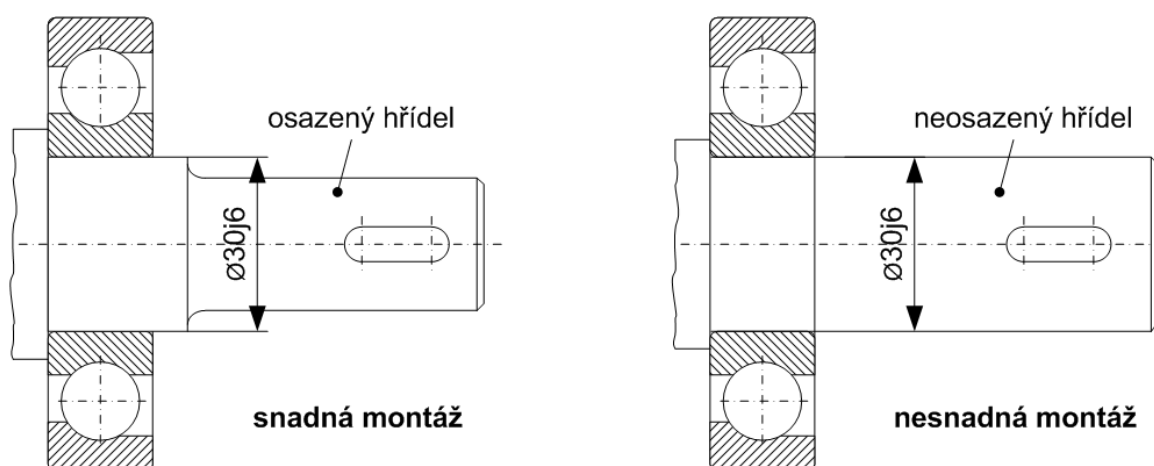
- zařazení mechanizace a automatizace do montážního procesu;
- zvýšení stupně specializace a integrace montážních pracovišť a procesů;
- vytvoření podmínek pro zlepšení časové a prostorové struktury montáž, například podmínek pro časovou souběžnost v jednotlivých fázích montáže, které především zkrátí 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;

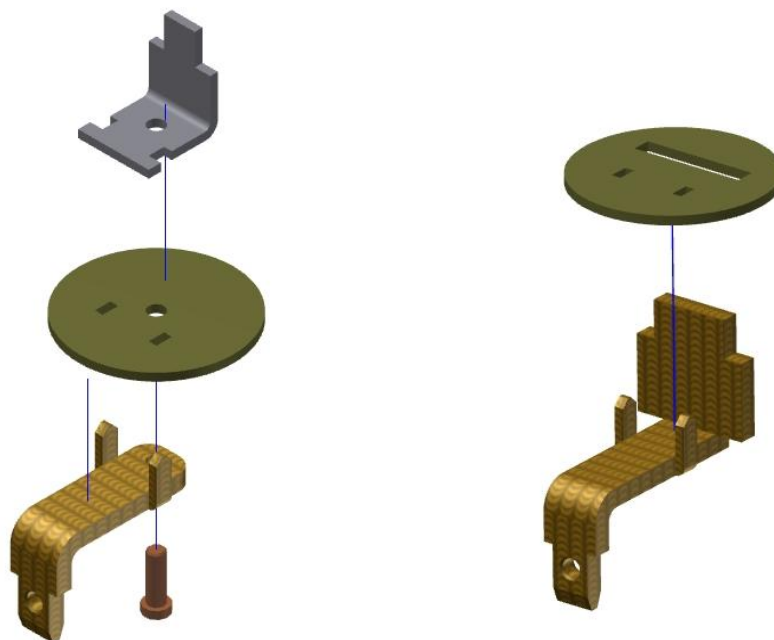
c) z provozního hlediska:

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

Obrázek 3.1 znázorňuje usnadnění montáže úpravou tvarů součástí.



Obrázek 3.1 – Usnadnění montáže úpravou tvarů součástí.



Obrázek 3.2 – Úprava konstrukce z hlediska montáže.



Shrnutí pojmů 3.2.

Technologičnost konstrukce z hlediska montáže.

**Otázky 3.2.**

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

**Úlohy k řešení 3.2.**

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

3.3 Ukazatelé technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži**Čas ke studiu:** 2 hodiny**Cíl:** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Zhodnotit technologičnost konstrukce na základě kvantitativních ukazatelů.
- ✚ Zhodnotit technologičnost konstrukce na základě kvalitativních ukazatelů.

**Výklad**

Význam technologičnosti konstrukce výrobku je posuzována podle různých relativních kritérií, které porovnávají konstrukci nového typu strojírenského výrobku stejného druhu s jedním či více typy výrobků ze stávajícího výrobního programu.

Pro hodnocení technologičnosti konstrukce lze použít ukazatele:

- **ukazatel jednotkových výrobních nákladů U_{Ncj} :**

$$U_{Ncj} = \frac{N_{cjn}}{N_{cjs}} [-],$$

kde N_{cjn} – jednotkové výrobní náklady na 1 kus nového typu výrobku [$Kč \cdot ks^{-1}$];

N_{cjs} – jednotkové výrobní náklady na 1 kus stávajícího typu výrobku [$Kč \cdot ks^{-1}$];

- **ukazatel pracnosti výroby U_P :**

$$U_P = \frac{P_n}{P_s} [-],$$

kde P_n – pracnost 1 kusu nového typu výrobku [$h \cdot ks^{-1}$];

P_s – *pracnost 1 kusu stávajícího typu výrobku* [$\text{h} \cdot \text{ks}^{-1}$];

- **ukazatel spotřeby materiálu U_{Qm} :**

$$U_{Qm} = \frac{Q_{mn}}{Q_{ms}} [-],$$

kde Q_{mn} – *hmotnost konstrukce 1 kusu nového typu výrobku* [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

Q_{ms} – *hmotnost konstrukce 1 kusu stávajícího typu výrobku* [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

- **ukazatel využití materiálu U_{Pm} :**

$$U_{Pm} = \frac{P_{mn}}{Q_{mn}} [-],$$

kde P_{mn} – *hmotnost použitých polotovarů pro výrobu 1 kusu nového výrobku* [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

Q_{mn} – *hmotnost konstrukce 1 kusu nového typu výrobku* [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

- **ukazatel nákladů na jednotku hmotnosti výrobku U_{NcjQ} :**

$$U_{NcjQ} = \frac{N_{cjn}}{Q_{mn}} [\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}],$$

kde N_{cjn} – *jednotkové výrobní náklady na 1 kus nového typu výrobku* [$\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$];

Q_{mn} – *hmotnost konstrukce 1 kusu nového typu výrobku* [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

- **ukazatel počtu normalizovaných U_{NS} , unifikovaných U_{US} a převzatých součástí U_{PS} :**

$$U_{NS} = \frac{Q_{NS}}{Q_S} [-], U_{US} = \frac{Q_{US}}{Q_S} [-], U_{PS} = \frac{Q_{PS}}{Q_S} [-],$$

kde Q_S – *celkový počet součástí výrobku* [ks];

Q_{NS} – *celkový počet normalizovaných součástí výrobku* [ks];

Q_{US} – *celkový počet unifikovaných součástí výrobku* [ks];

Q_{PS} – *celkový počet převzatých součástí výrobku* [ks].

Z hlediska použitých strojírenských materiálů lze také vyjádřit poměrné ukazatele např. spotřeby legovaných ocelí, neželezných kovů, plastů a podobně.

Neopomenutelným kritériem pro posouzení technické úrovně výrobku je ukazatel exploatační hodnoty nového výrobku, který je možno posoudit ve vztahu ke hmotnosti nebo k prodejní ceně či vynaloženým nákladům na výrobek:

- **exploatační ukazatel ve vztahu ke hmotnosti U_{EQm} :**

$$U_{EQm} = \frac{Q_m}{E} [\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}, \text{kg} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{mm}^{-3}],$$

kde Q_m – hmotnost konstrukce 1 kusu výrobku [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$];

E – exploatační charakteristika výrobku (výkon, objem apod.) [W , mm^3];

- exploatační ukazatel ve vztahu k jednotkovým výrobním nákladům U_{ENCj} :

$$U_{ENCj} = \frac{N_{cj}}{E} [\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}, \text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{mm}^{-3}],$$

kde N_{cj} – jednotkové výrobní náklady na 1 kus výrobku [$\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$];

E – exploatační charakteristika výrobku (výkon, objem apod.) [W , mm^3].



Shrnutí pojmů 3.3.

Ukazatel jednotkových výrobních nákladů U_{Ncj} , Ukazatel pracnosti výroby U_P , Ukazatel spotřeby materiálu U_{Qm} , Ukazatel využití materiálu U_{Pm} , Ukazatel nákladů na jednotku hmotnosti výrobku U_{NcjQ} , Ukazatel počtu normalizovaných U_{NS} , unifikovaných U_{US} a převzatých součástí U_{PS} , Exploatační ukazatel ve vztahu ke hmotnosti U_{EQm} , Exploatační ukazatel ve vztahu k jednotkovým výrobním nákladům U_{ENCj} .



Otázky 3.3.

1. Jaké znáte ukazatele pro hodnocení úrovně technologičnosti konstrukce?



Úlohy k řešení 3.3.

1. Uveďte příklad exploatačního ukazatele pro hodnocení úrovně technologičnosti konstrukce?

4 ANALÝZA ROZMĚROVÝCH ŘETĚZCŮ

Kapitola se zabývá základními pojmy, analýzou a typy rozměrových řetězců. Součástí kapitoly je vysvětlení významu řešení rozměrových řetězců při montážních pracích a nejen při konstruování.

4.1 Základní pojmy 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.

4.1.1 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.

4.1.2 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...).

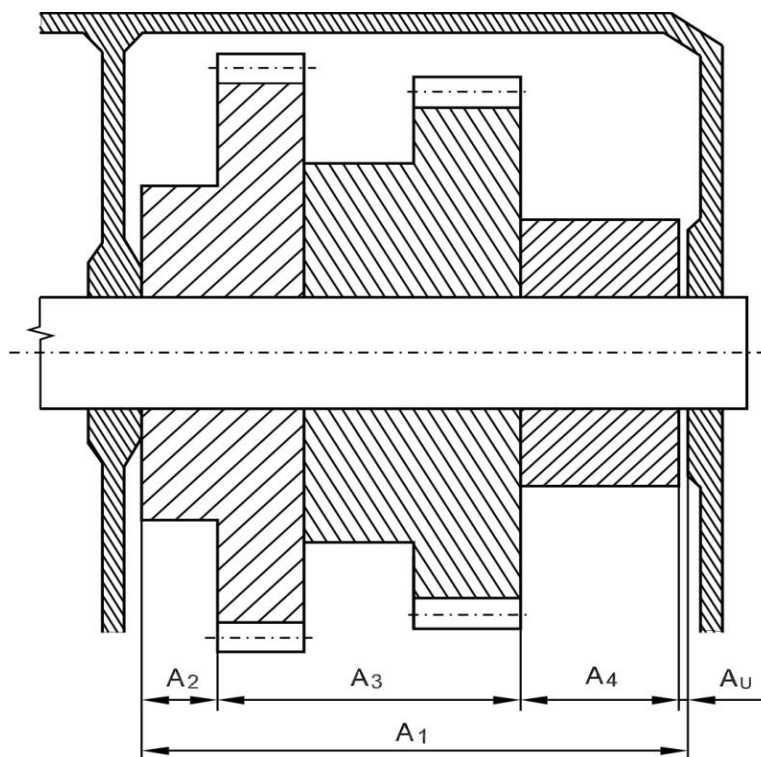
Rozměrové obvody se skládají ze členů, které mohou být:

- **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 $\overrightarrow{A_i}$** – členy rozměrového obvodu, při jejich zvětšování (zmenšování) se uzavírací člen rozměrového obvodu A_U zvětšuje (zmenšuje);
 - ii. **zmenšující dílčí členy $\overleftarrow{A_i}$** – 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 součástek, 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.

Obrázek 4.1 znázorňuje lineární rozměrový řetězec a jeho členy. Uzavírací člen je pod označení A_U .



Obrázek 4.1– Lineární rozměrový řetězec.

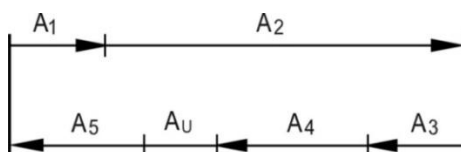
V každém rozměrovém obvodu jsou vždy nejméně dva dílčí spojovací členy a jeden uzavírací člen A_U . Uzavírací členy A_U jsou zpravidla nezakótované rozměry na konstrukčních výkresech součástí, případně jsou uvedeny jako informativní rozměry v oblých závorkách.

4.1.3 Vybrané typy rozměrových řetězců

Rozeznáváme typy rozměrových řetězců z hlediska vzájemné polohy, směru a velikosti členů. Nejčastěji se v praxi setkáváme s výpočty lineárních přímkových a rovinných řetězců.

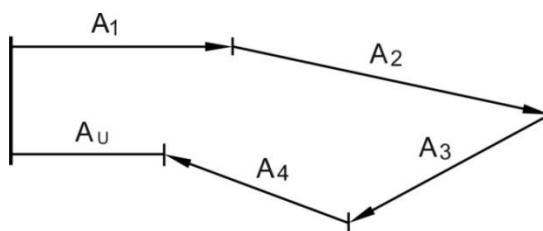
Pro objasnění jednotlivých typů řetězců je lze charakterizovat následovně:

- **přímkový (lineární) řetězec** (viz Obrázek 4.2, přičemž všechny členy řetězce jsou rovnoběžné);



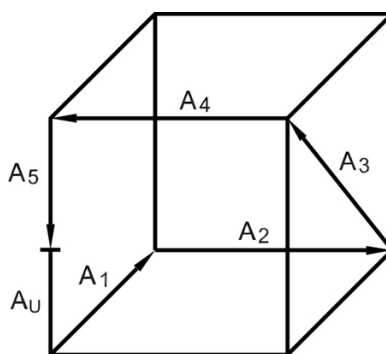
Obrázek 4.2 – Schéma lineárního řetězce rozměrů.

- **rovinný řetězec** (viz Obrázek 4.3 - některé nebo všechny členy řetězce jsou v rovnoběžných směrech, ale v jedné nebo více rovnoběžných rovinách);



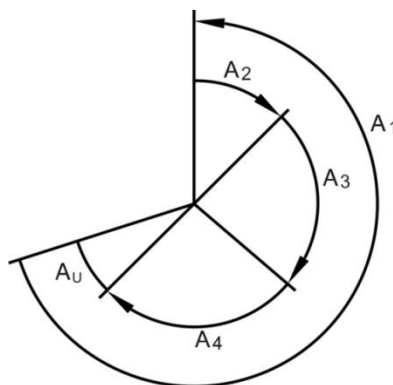
Obrázek 4.3 – Schéma rovinného řetězce rozměrů.

- **prostorový řetězec** (viz Obrázek 4.4 - několik nebo všechny členy řetězce se nacházejí v různoběžných směrech a v různoběžných rovinách);



Obrázek 4.4 – Schéma prostorového řetězce rozměrů.

- **úhlový** (viz Obrázek 4.5 - má všechny členy řetězce v úhlové míře a se společným vrcholem). Může být rovinného nebo prostorového typu.



Obrázek 4.5 – Schéma úhlového řetězce rozměrů.

**Shrnutí pojmů 4.1.**

Rozměrový obvod, Rozměrový řetězec, Schéma rozměrového řetězce, Dílčí sestavné členy, Uzavírací člen, Zvětšující člen, Zmenšující člen, Kompenzační člen, Společný člen, Nezávislý člen, Závislý člen, Lineární řetězec, Rovinný řetězec, Prostorový řetězec, Úhlový řetězec.

**Otázky 4.1.**

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?

**Úlohy k řešení 4.1.**

1. Nakreslete libovolné schéma lineárního řetězce.
2. Nakreslete libovolné schéma rovinného řetězce.
3. Nakreslete libovolné schéma prostorového řetězce.
4. Nakreslete libovolné schéma úhlového řetězce.

5 ŘEŠENÍ ROZMĚROVÝCH ŘETĚZCŮ

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 úchytky 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 úchytky 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.**

5.1 Základní vzorce pro výpočet přímkových 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.



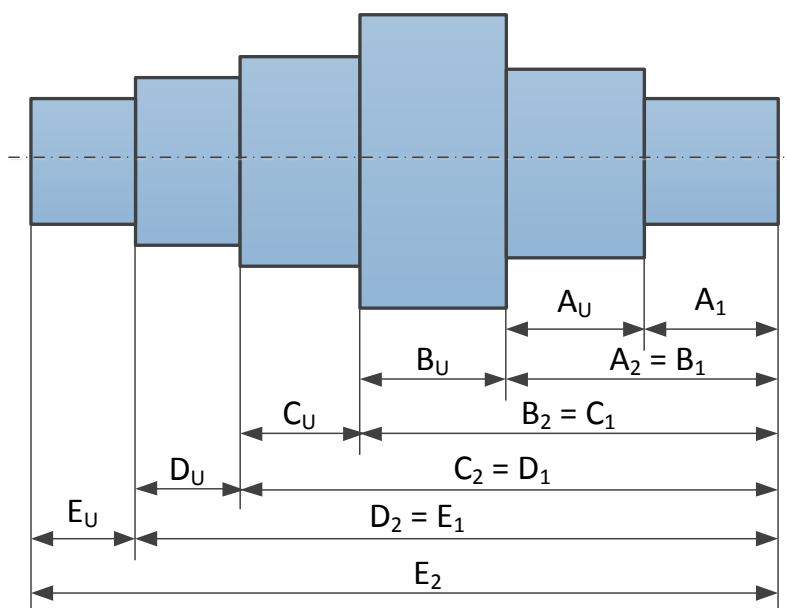
Výklad

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.

5.1.1 Paralelní přímkové rozměrové obvody

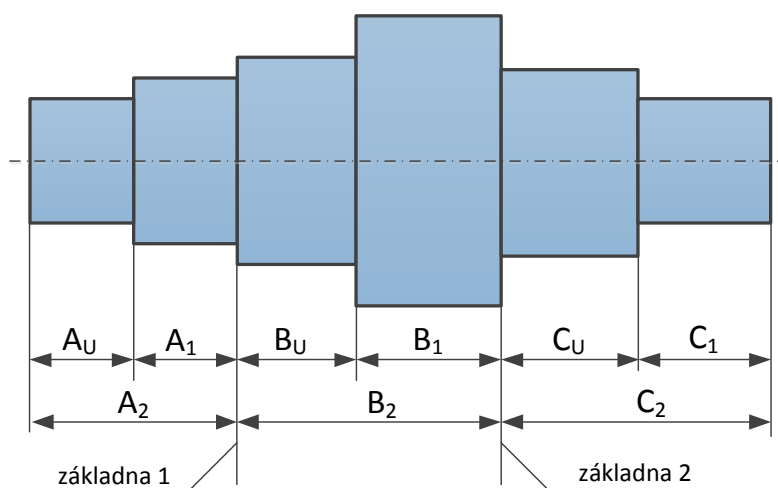
Obrázek 5.1 demonstruje vzájemné vazby mezi řetězci a jejich spojovací členy (na uvedeném obrázku jsou spojovacími členy $A_2 = B_1$, $B_2 = C_1$, $C_2 = D_1$, $D_2 = E_1$).



Obrázek 5.1 – Paralelní přímkový rozměrový obvod.

5.1.2 Sériové rozměrové obvody

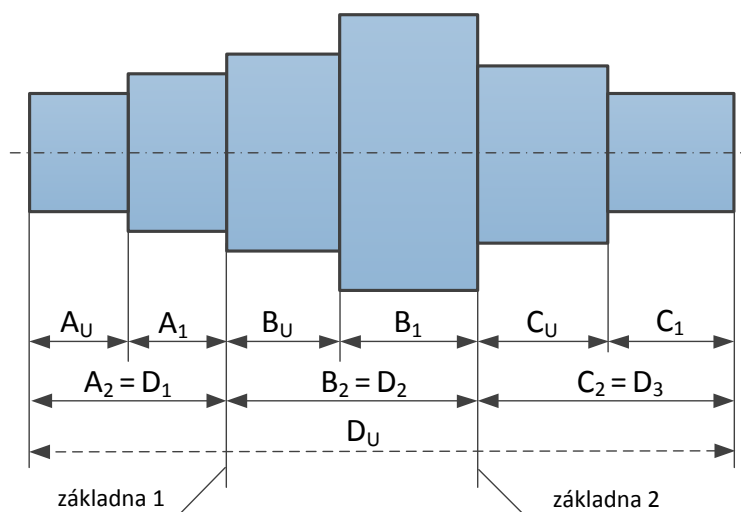
Obrázek 5.2 demonstruje vznik vzájemné vazby společnou základnou 1 a společnou základnou 2.



Obrázek 5.2 – Sériový rozměrový obvod.

5.1.3 Rozměrové obvody s kombinovanou vazbou

Obrázek 5.2 demonstruje rozměrové obvody s kombinovanou vazbou, kde lze nalézt paralelní i sériové vazby.



Obrázek 5.3 – 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:

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

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 $\sum_{i=m+1}^n \overleftarrow{A}_i$ 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:

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

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

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

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_{A_U} :

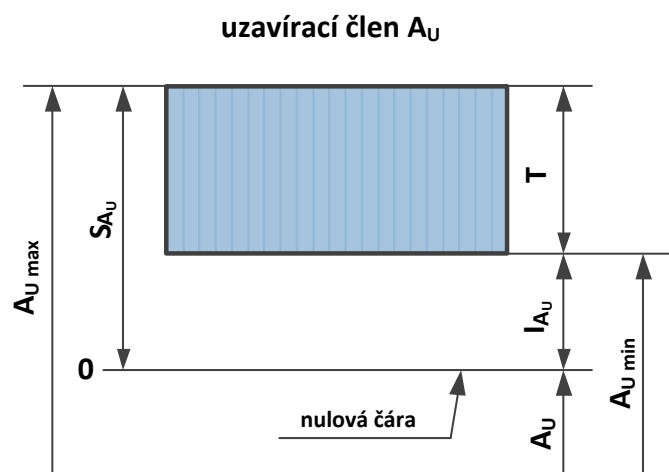
$$I_{A_U} = \sum_{i=1}^m I_{\vec{A}_i} - \sum_{i=m+1}^n S_{\overleftarrow{A}_i}$$

Horní úchylka uzavíracího členu S_{A_U} :

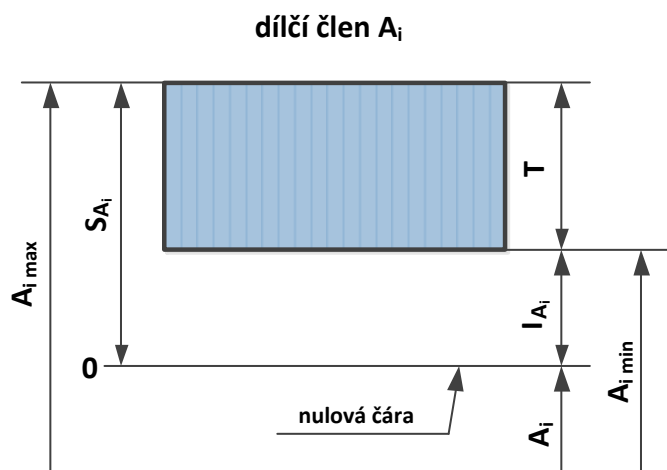
$$S_{A_U} = \sum_{i=1}^m S_{\vec{A}_i} - \sum_{i=m+1}^n I_{\overleftarrow{A}_i}$$

Do uvedených vzorců pro výpočet I_{A_U} a S_{A_U} 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 5.4 a Obrázek 5.5.



Obrázek 5.4 – Znázornění parametrů uzavíracího členu rozměrového řetězce.



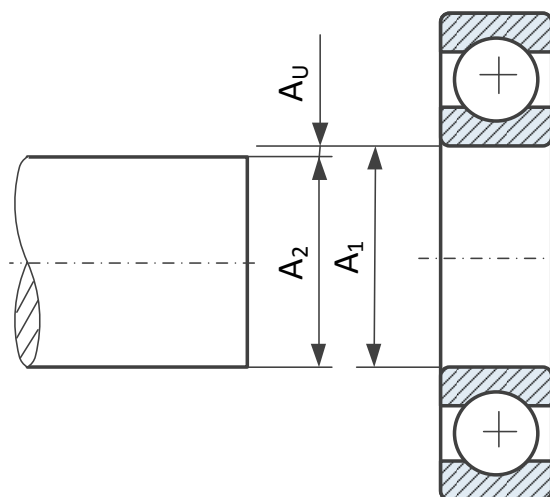
Obrázek 5.5 – Znázornění parametrů dílčího členu rozměrového řetězce.

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 velikost vůle, její tolerance a úchylky pro hřídel a ložisko. Vůli považujeme za uzavírací člen A_U rozměrového obvodu. Obrázek 5.6 znázorňuje schéma přímkového rozměrového obvodu, a to uložení hřídele v ložisku. Rozměr díry ložiska $A_1 = 50^{+0,28}_{+0,16}$ mm, rozměr hřídele $A_2 = 50^{-0,05}_{-0,15}$ mm.



Obrázek 5.6 – Příklad přímkového rozměrového řetězce.

Jmenovitý rozměr uzavíracího členu A_U :

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

$$A_U = A_1 - A_2 = 50 - 50 = 0 \text{ mm}$$

Výpočet tolerance členů T_{A_i} :

Tolerance díry ložiska $T_{A_1} = 0,28 - 0,16 = 0,12 \text{ mm}$

Tolerance hřídele $T_{A_2} = -0,05 - (-0,15) = 0,10 \text{ mm}$

Tolerance vůle - uzavíracího členu T_{AU} :

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

$$T_{AU} = 0,12 + 0,10 = 0,22 \text{ mm}$$

Dolní mezní rozměr uzavíracího členu A_{Umin} :

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

$$A_{Umin} = 50,16 - (49,95) = 0,21 \text{ mm}$$

Horní mezní rozměr uzavíracího členu A_{Umax} :

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

$$A_{Umax} = 50,28 - (49,85) = 0,43 \text{ mm}$$

Dolní úchylka uzavíracího členu I_{AU} :

$$I_{AU} = A_{Umin} - A_U$$

$$I_{AU} = 0,21 - 0 = 0,21 \text{ mm}$$

popřípadě je možno využít vzorce:

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

$$I_{AU} = 0,16 - (-0,05) = 0,21 \text{ mm}$$

Horní úchylka uzavíracího členu S_{AU} :

$$S_{AU} = A_{Umax} - A_U$$

$$S_{AU} = 0,43 - 0 = 0,43 \text{ mm}$$

popřípadě je možno využít vzorce:

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

$$S_{AU} = 0,28 - (-0,15) = 0,43 \text{ mm}$$

Vypočtený rozměr vůle ložiska a hřídele lze zapsat ve tvaru:

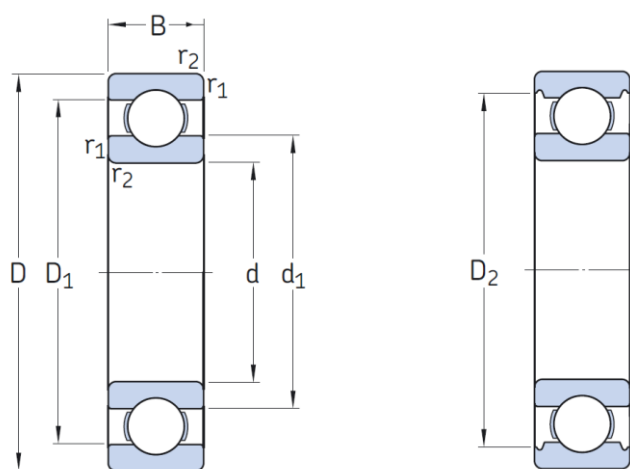
$$A_U = 0_{+0,21}^{+0,43} \text{ mm}$$



Řešený příklad

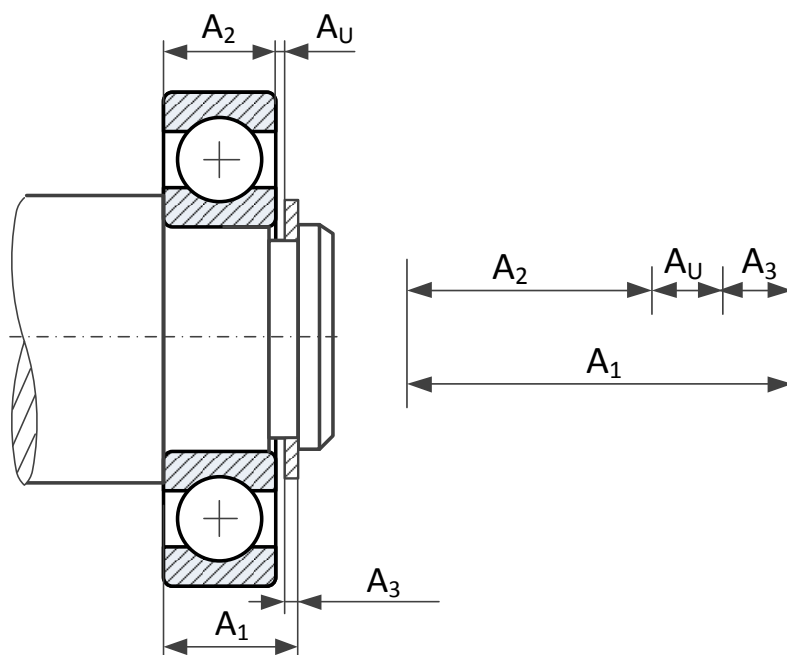
Zakótujte a stanovte toleranci hřídele (resp. části hřídele) tak, aby vůle mezi valivým ložiskem a pojistným kroužkem byla $A_U = 0_{+0,05}^{+0,30}$ mm. Vůli považujeme za uzavírající člen rozměrového obvodu A_U . Rozměry ložiska 6308 jsou dány normou ČSN 02 4637, jejich úchylky normou ČSN 02 4612. Potřebné rozměry a úchylky pojistného kroužku pro hřídele a drážky jsou dány normou ČSN 02 2930.

Rozměry jednořadého kuličkového ložiska 6308 (viz katalog společnosti SKF Ložiska, a. s., strana katalogu 308): $d = 40$ mm, $D = 90$ mm, $B = 23$ mm, $d_1 = 56,1$ mm, $D_1 = 73,8$ mm, $D_2 = 77,7$ mm, $r_1 = 1,5$ mm, $r_2 = 1,5$ mm. Obrázek 5.7 znázorňuje rozměry jednořadého kuličkového ložiska.



Obrázek 5.7 – Rozměry jednořadého kuličkového ložiska 6308.

Nejprve sestavíme přímkový rozměrový obvod. Obrázek 5.8 znázorňuje řešený rozměrový obvod.



Obrázek 5.8 – Náčrtek řešeného přímkového rozměrového obvodu.

Šířka ložiska s úchytkami je $A_2 = 23_{-0,072}^0$ mm. Rozměr a úchytky pojistného kroužku pro hřídele $1,75_{-0,05}^0$ mm a drážky jsou $1,95_{0}^{+0,20}$ mm. Výrobně výsledným rozměrem je vůle, jelikož ji získáme při montáži jako výsledek ostatních rozhodujících rozměrů. Výpočet provedeme podle vzorců uvedených níže.

Jmenovitý rozměr dílčího členu A_1 vyjádříme ze základního vzorce:

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

$$A_U = A_1 - (A_2 + A_3)$$

$$A_I = A_U + (A_2 + A_3)$$

$$A_I = 0 + (23 + 1,75) = 24,75 \text{ mm}$$

Výpočet tolerance členů řetězce:

Tolerance vůle mezi ložiskem a pojistným kroužkem T_{A_U} :

$$T_{A_U} = 0,300 - 0,050 = 0,250 \text{ mm}$$

Tolerance šířky ložiska $T_{A_2} = 0 - (-0,072) = 0,072$ mm

Tolerance šířky pojistného kroužku $T_{A_3} = 0 - (-0,050) = 0,050$ mm

Pro výpočet tolerance rozměru T_{A_1} využijeme vzorec:

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

$$T_{A_U} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3}$$

$$T_{A_I} = T_{A_U} - (T_{A_2} + T_{A_3})$$

$$T_{A_1} = 0,250 - (0,072 + 0,050) = 0,128 \text{ mm}$$

Pro výpočet dolního mezního rozměru dílčího členu A_{1min} využijeme vzorec:

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

$$A_{Umin} = A_{1min} - (A_{2max} + A_{3max})$$

$$A_{1min} = A_{Umin} + (A_{2max} + A_{3max})$$

$$A_{1min} = 0,050 + (23 + 1,75) = 24,80 \text{ mm}$$

Pro výpočet horního mezního rozměru dílčího členu A_{1max} využijeme vzorec:

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

$$A_{U_{max}} = A_{1_{max}} - (A_{2_{min}} + A_{3_{min}})$$

$$A_{1_{max}} = A_{U_{max}} + (A_{2_{min}} + A_{3_{min}})$$

$$A_{1_{max}} = 0,300 + (22,928 + 1,70) = 24,928 \text{ mm}$$

Dolní úchylka dílčího členu I_{A_1} :

$$I_{A_1} = A_{1_{min}} - A_1$$

$$I_{A_1} = 24,80 - 24,75 = 0,050 \text{ mm}$$

Horní úchylka dílčího členu S_{A_1} :

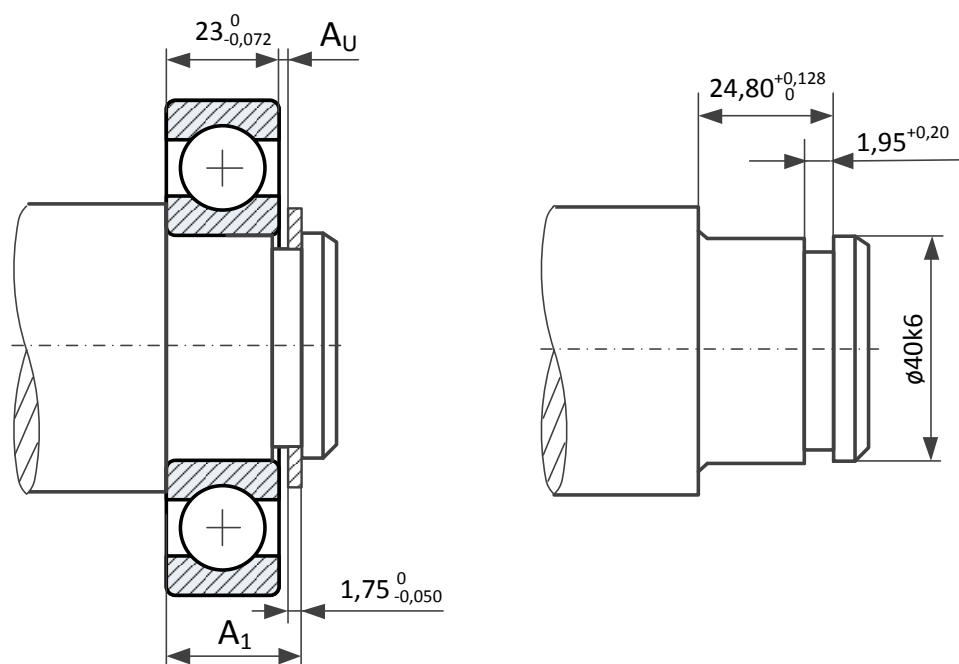
$$S_{A_1} = A_{1_{max}} - A_1$$

$$S_{A_1} = 24,928 - 24,75 = 0,178 \text{ mm}$$

Vypočtený rozměr dílčího členu A_1 lze zapsat ve tvaru:

$$A_1 = 24,75^{+0,178}_{+0,050} = 24,80^{+0,128}_{+0,000} \text{ mm}$$

Obrázek 5.9 znázorňuje zakótování příslušné části hřídele a ložiska.



Obrázek 5.9 – Zakótování příslušné části hřídele a ložiska.

Velmi často se stává, že je chybně zakótován hřídel s drážkou pro pojistný kroužek podle níže uvedeného obrázku. Na výpočtu tolerancí je zřejmé, že naznačený způsob kótování hřídele je méně vhodný než výše uvedený.

Uvažujme rozměry šířky ložiska $B = 23_{-0,072}^0 \text{ mm}$, rozměr a úchylky pojistného kroužku pro hřídele $1,75_{-0,05}^0 \text{ mm}$ a drážky jsou $1,95_{+0}^{+0,20} \text{ mm}$. Rozměry jsou totožné jako v předchozím příkladu.

Pro výpočet tolerance rozměru T_{A_1} využijeme vzorec:

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

$$T_{AU} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4}$$

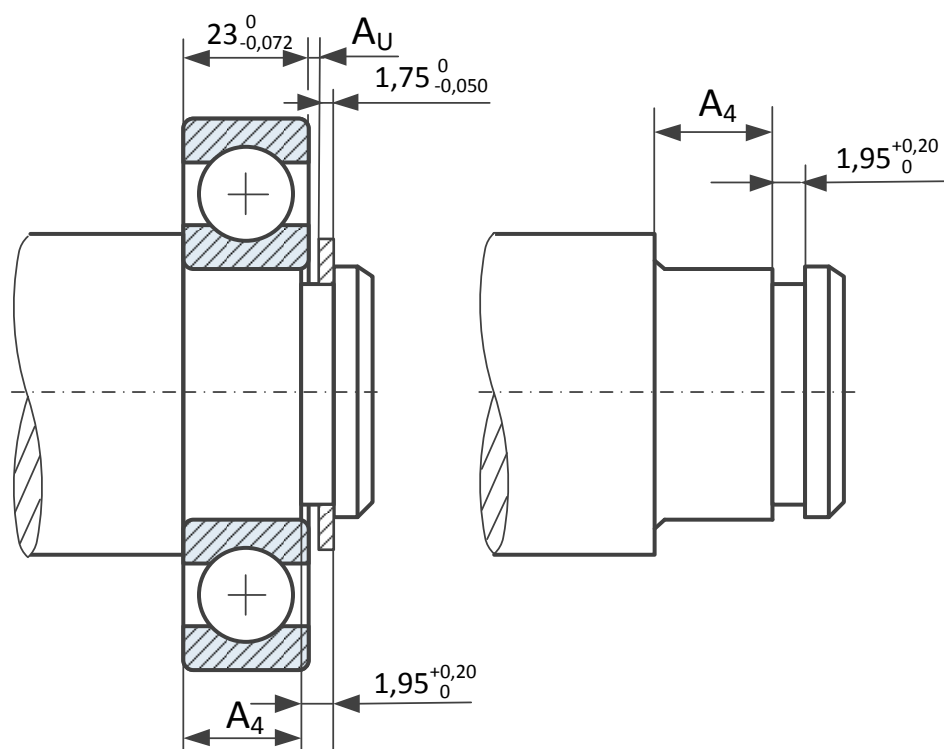
$$T_{A_4} = T_{AU} - (T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3})$$

$$T_{A_4} = 0,250 - (0,072 + 0,050 + 0,200) = -0,072 \text{ mm} \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

neboli

$$0,250 = 0,072 + 0,050 + 0,200 + T_{A_4}$$

$$0,250 = 0,322 + T_{A_4}$$



Obrázek 5.10 – Chybné zakótování příslušné části hřídele a ložiska.

Z rovnice je zřejmé, že na pravé straně rovnice pro součet tolerancí nenastane nikdy rozdíl a z toho vyplývá, že nemůže za daných podmínek žádná tolerance T_{A_4} vyhovovat rovnici. Aby bylo možno vyhovět rovnici pro součet tolerancí, bylo by nutno některou z daných tolerancí dílčích rozměrů zúžit nebo toleranci uzavíracího členu rozšířit.

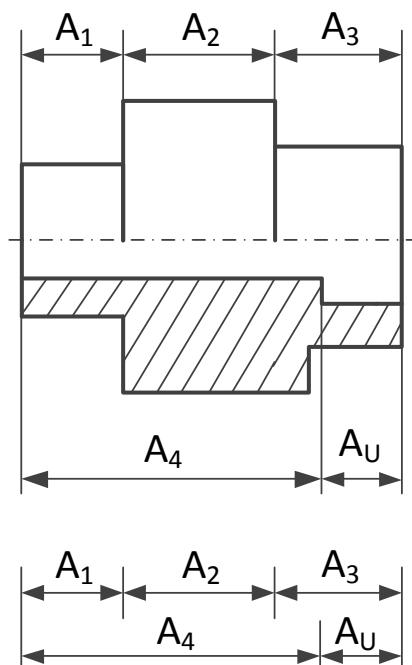
Zásadní problém při druhém způsobu kótování je způsoben skutečností, že na pravé straně rovnice součtu tolerancí jsou čtyři sčítance místo tří v prvním případě. Tolerance drážky 0,20 mm je tak velká, že pravá strana rovnice stoupne nad hodnotu žádané tolerance vůle mezi ložiskem a pojistným kroužkem.

Příklad je ukázkou, jak nevhodně zvolený způsob kótování může podstatně ztížit či znemožnit tolerování nebo výrobu součástí.



Řešený příklad

Stanovte jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu A_U rozměrového obvodu. Obrázek 5.11 znázorňuje schéma přímého rozměrového obvodu, rozměry členů jsou $A_1 = 20_{-0,25}^0 \text{ mm}$, $A_2 = 31 \pm 0,1 \text{ mm}$, $A_3 = 28_{-0,10}^{+0,15} \text{ mm}$, $A_4 = 65_{-0,15}^{+0,20} \text{ mm}$.



Obrázek 5.11 – 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 pojmů 5.1.

Paralelní přímkový rozměrový obvod, Sériový rozměrový obvod, Rozměrový obvod s kombinovanou vazbou.



Otázky 5.1.

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



Úlohy k řešení 5.1.

1. Vypočítejte jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu rozměrového obvodu A_U . Obrázek 5.11 znázorňuje schéma přímého rozměrového obvodu, přičemž Tabulka 5.1 uvádí rozměry a mezní úchytky dílčích členů rozměrového řetězce.

Tabulka 5.1 - 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

5.2 Základní vzorce pro výpočet rovinných rozměrových řetězců



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Základní vzorce pro výpočet rovinných rozměrových řetězců.



Výklad

Výše uvedené vzorce jsou určené pro lineární rozměrové řetězce. Pro výpočet rovinných rozměrových řetězců platí následující vzorce:

Tolerance uzavíracího členu T_{AU} – vypočte se jako součet tolerancí všech členů rovinného řetězce:

$$T_{AU} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| T_{A_i}$$

Zmenšováním hodnot parciálních derivací $\partial A_U / \partial A_i$ se promítá do zmenšování tolerance uzavíracího členu T_{AU} , jelikož hodnota tolerance uzavíracího členu závisí u rovinných rozměrových řetězců také na hodnotách parciálních derivací.

Dolní úchylka uzavíracího členu I_{AU} :

$$I_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| I_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| S_{\vec{A_i}}$$

Horní úchylka uzavíracího členu S_{AU} :

$$S_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| S_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| I_{\vec{A_i}}$$

Do rovnic pro výpočet dolní úchylky uzavíracího členu I_{AU} a horní úchylky uzavíracího členu S_{AU} jsou dosazovány hodnoty úchylek dílčích členů s jejich příslušnými znaménky, resp. kladnými či zápornými.

Vypočtená číselná hodnota parciální derivace je pro zvětšující členy obvodu kladná, tj. $\partial A_U / \partial \vec{A_i} > 0$.

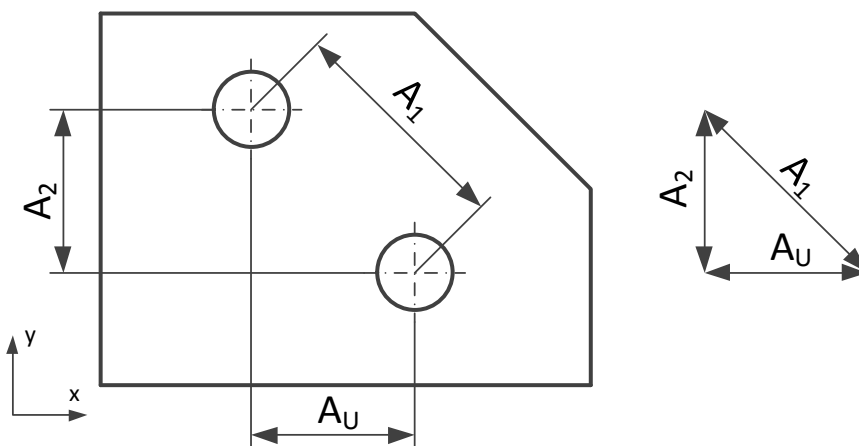
Pro zmenšující členy obvodu je vypočtená číselná hodnota parciální derivace záporná, tj. $\partial A_U / \partial \vec{A_i} < 0$.

Podle vypočtených číselných hodnot parciálních derivací se rozhodne o skutečnosti, zda je příslušný dílčí člen rovinného rozměrového obvodu zvětšující či zmenšující.



Řešený příklad

Stanovte jmenovitý rozměr a mezní úchylky vzdálenosti děr ve směru osy x . Obrázek 5.12 znázorňuje schéma rovinného rozměrového obvodu, přičemž požadovaná vzdálenost děr je uzavírajícím členem A_U rozměrového obvodu. Vzdálenost děr v ose y je $A_2 = 90 \pm 0,025$ mm a osová vzdálenost je $A_1 = 120 \pm 0,030$ mm.



Obrázek 5.12 – Příklad rovinného rozměrového řetězce.

Výpočet jmenovitého rozměru uzavíracího členu A_U – pro výpočet jmenovité hodnoty uzavíracího členu A_U na základě rovinného znázornění platí:

$$A_U = \sqrt{A_1^2 - A_2^2}$$

$$A_U = \sqrt{120^2 - 90^2} = 79,37 \doteq 79 \text{ mm}$$

Výpočet parciální derivace $\partial A_U / \partial A_i$ – pokračujeme výpočtem parciálních derivací $\partial A_U / \partial A_i$, a to pro hodnotu uzavíracího členu A_U podle jednotlivých dílčích členů rozměrového řetězce:

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} 2A_1 = \frac{A_1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} = \frac{A_1}{A_U}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = \frac{A_1}{A_U} = \frac{120}{79} > 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_1 je zvětšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_1$ má kladnou hodnotu.

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} (-2A_2) = -\frac{A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} = -\frac{A_2}{A_U}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = -\frac{A_2}{A_U} = -\frac{90}{79} < 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_2 je zmenšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_2$ má zápornou hodnotu.

Výpočet dolní úchylky uzavíracího členu I_{A_U} :

$$I_{A_U} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| I_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| S_{\vec{A_i}}$$

$$I_{A_U} = \frac{120}{79} \cdot (-0,030) + \left(-\frac{90}{79} \cdot 0,025 \right) = -0,074 \text{ mm}$$

Výpočet horní úchylky uzavíracího členu S_{A_U} :

$$S_{A_U} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| S_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| I_{\vec{A_i}}$$

$$S_{A_U} = \frac{120}{79} \cdot 0,030 + \left[-\frac{90}{79} \cdot (-0,025) \right] = +0,074 \text{ mm}$$

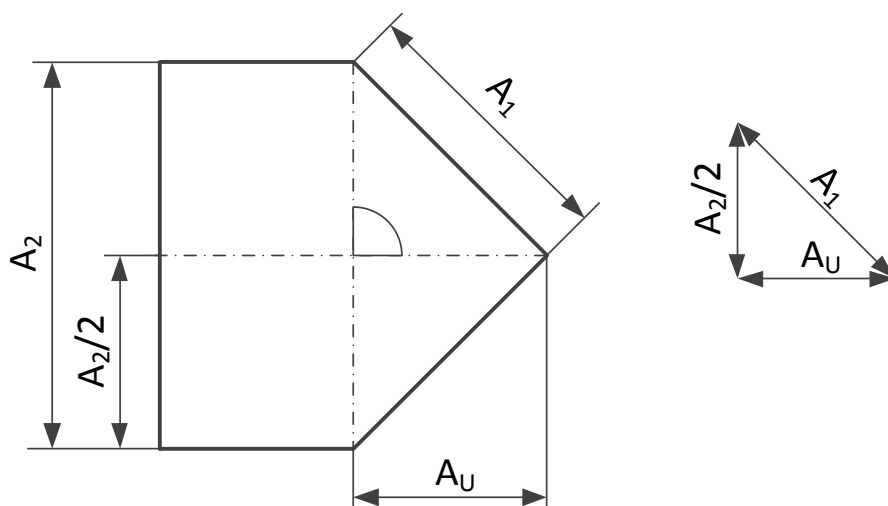
Vypočtený rozměr uzavíracího členu lze zapsat ve tvaru:

$$A_U = 75 \pm 0,074 \text{ mm}$$



Řešený příklad

Stanovte jmenovitý rozměr a mezní úchylky výšky trojúhelníku znázorněného na součásti. Výška trojúhelníku je uzavíracím členem A_U rozměrového obvodu. Obrázek 5.13 znázorňuje rovinný rozměrový obvod, přičemž délka ramene trojúhelníku je $A_1 = 65 \pm 0,030$ a celková výška součásti je $A_2 = 104 \pm 0,020$ mm.



Obrázek 5.13 – Příklad rovinného rozměrového řetězce.

Výpočet jmenovitého rozměru uzavíracího členu A_U – pro výpočet jmenovité hodnoty uzavíracího členu A_U na základě rovinného znázornění platí:

$$A_U = \sqrt{A_1^2 - \left(\frac{A_2}{2}\right)^2}$$

$$A_U = \sqrt{65^2 - \left(\frac{104}{2}\right)^2} = 39 \text{ mm}$$

Výpočet parciální derivace $\partial A_U / \partial A_i$ – pokračujeme výpočtem parciálních derivací $\partial A_U / \partial A_i$, a to pro hodnotu uzavíracího členu A_U podle jednotlivých dílčích členů rozměrového řetězce:

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{A_1^2 - \left(\frac{A_2}{2}\right)^2}} 2A_1 = \frac{A_1}{\sqrt{A_1^2 - \left(\frac{A_2}{2}\right)^2}} = \frac{A_1}{A_U}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = \frac{A_1}{A_U} = \frac{65}{39} > 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_1 je zvětšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_1$ má kladnou hodnotu.

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{A_1^2 - \left(\frac{A_2}{2}\right)^2}} (-A_2) = -\frac{A_2}{2 \cdot A_U}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = -\frac{A_2}{2 \cdot A_U} = -\frac{104}{2 \cdot 39} < 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_2 je zmenšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_2$ má zápornou hodnotu.

Výpočet dolní úchylky uzavíracího členu I_{AU} :

$$I_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| I_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| S_{\vec{A_i}}$$

$$I_{AU} = \frac{65}{39} \cdot (-0,030) - \left[\left(-\frac{104}{2 \cdot 39} \right) \cdot 0,020 \right] = -0,023 \text{ mm}$$

Výpočet horní úchylky uzavíracího členu S_{AU} :

$$S_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| S_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial \vec{A_i}} \right| I_{\vec{A_i}}$$

$$S_{AU} = \frac{65}{39} \cdot 0,030 - \left[-\frac{104}{2 \cdot 39} \cdot (-0,020) \right] = +0,023 \text{ mm}$$

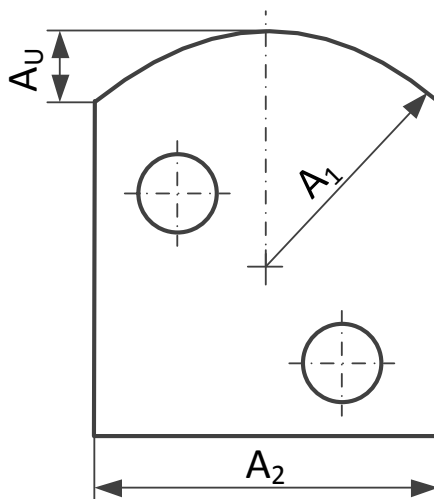
Vypočtený rozměr uzavíracího členu lze zapsat ve tvaru:

$$A_U = 39 \pm 0,023 \text{ mm}$$



Řešený příklad

Vypočítejte jmenovitý rozměr a mezní úchylky výšky kruhového oblouku A_U s poloměrem R kruhového oblouku $A_1 = 39^{-0,2}_{0,2} \text{ mm}$. Délka tětiny je označena $A_2 = 50 \pm 0,1$. Obrázek 5.14 – Příklad rovinného rozměrového řetězce znázorňuje náčrtek řešené součásti.



Obrázek 5.14 – Příklad rovinného rozměrového řetězce.

Výpočet jmenovitého rozměru uzavíracího členu A_U – pro výpočet jmenovité hodnoty uzavíracího členu A_U na základě rovinného znázornění platí:

$$A_U = A_1 - \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot A_1^2 - A_2^2}$$

$$A_U = 39 - \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot 39^2 - 50^2} = 9 \text{ mm}$$

Výpočet parciální derivace $\partial A_U / \partial A_1$ – pokračujeme výpočtem parciálních derivací $\partial A_U / \partial A_i$, a to pro hodnotu uzavíracího členu A_U podle jednotlivých dílčích členů rozměrového řetězce:

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = 1 - \frac{2 \cdot A_1}{\sqrt{4 \cdot A_1^2 - A_2^2}}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_1} = 1 - \frac{2 \cdot 39}{\sqrt{4 \cdot 39^2 - 50^2}} = -0,303 < 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_1 je zmenšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_1$ má zápornou hodnotu.

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = \frac{A_2}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot A_1^2 - A_2^2}}$$

$$\frac{\partial A_U}{\partial A_2} = \frac{50}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot 39^2 - 50^2}} = 0,418 > 0$$

Z výpočtu je zřejmé, že dílčí člen A_2 je zvětšujícím členem řešeného rovinného obvodu, protože parciální derivace $\partial A_U / \partial A_2$ má kladnou hodnotu.

Výpočet dolní úchytky uzavíracího členu I_{AU} :

$$I_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| I_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| S_{\vec{A_i}}$$

$$I_{AU} = 0,418 \cdot (-0,1) + (-0,303 \cdot 0,2) = -0,102 \text{ mm}$$

Výpočet horní úchytky uzavíracího členu S_{AU} :

$$S_{AU} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| S_{\vec{A_i}} - \sum_{i=m+1}^n \left| \frac{\partial A_U}{\partial A_i} \right| I_{\vec{A_i}}$$

$$S_{AU} = 0,418 \cdot 0,1 + (-0,303) \cdot 0 = 0,042 \text{ mm}$$

Vypočtený rozměr uzavíracího členu lze zapsat ve tvaru:

$$A_U = 9_{-0,102}^{+0,042} \text{ mm}$$



Shrnutí pojmů 5.2.

Rovinný rozměrový obvod.



Otázky 5.2.

1. Co je to rovinný rozměrový obvod?



Úlohy k řešení 5.2.

1. Vypočtete jmenovitý rozměr a mezní úchylky vzdálenosti děr ve směru osy x. Obrázek 5.12 znázorňuje schéma rovinného rozměrového obvodu, přičemž požadovaná vzdálenost děr je uzavírajícím členem rozměrového obvodu A_U . Tabulka 5.2 uvádí rozměry dílčích členů rozměrového řetězce a mezních úchylek.

Tabulka 5.2 – Rozměry dílčích členů rovinného rozměrového řetězce.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce					
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}
1	118	95	-0,03	0,03	-0,025	0,025
2	96	75	-0,02	0,02	-0,01	0,01
3	103	83	-0,03	0,03	-0,01	0,01
4	95	76	-0,03	0,03	-0,01	0,01
5	120	72	-0,02	0,02	-0,02	0,02
6	80	55	-0,02	0,02	-0,03	0,03
7	125	75	-0,05	0,05	-0,02	0,02
8	130	100	-0,02	0,02	-0,02	0,02
9	140	100	-0,02	0,02	-0,02	0,02
10	105	90	-0,02	0,02	-0,02	0,02

2. Stanovte jmenovitý rozměr a mezní úchylky výšky trojúhelníku znázorněného na součásti – viz Obrázek 5.13 znázorňuje rovinný rozměrový obvod, přičemž délka ramene trojúhelníku je A_1 a celková výška součásti je A_2 . Výška trojúhelníku je uzavírajícím členem rozměrového obvodu A_U . Tabulka 5.3 uvádí rozměry dílčích členů rozměrového řetězce a mezních úchylek.

Tabulka 5.3 – Rozměry dílčích členů rovinného rozměrového řetězce.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce					
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}
1	15	24	-0,2	0,2	-0,1	0,1
2	20	32	-0,15	0,15	-0,3	0,3
3	25	40	-0,3	0,3	-0,3	0,2
4	30	48	-0,1	0,1	-0,2	0,2
5	35	56	-0,15	0,15	-0,3	0,3
6	40	64	-0,1	0,1	-0,2	0,2
7	45	72	-0,15	0,15	-0,25	0,25
8	50	80	-0,1	0,1	-0,1	0,1
9	55	88	-0,1	0,1	-0,2	0,2
10	60	96	-0,2	0,2	-0,1	0,1

3. Vypočtete jmenovitý rozměr a mezní úchylky výšky kruhového oblouku A_3 s poloměrem R kruhového oblouku A_1 . Délka tětivy je označena jako A_2 . Obrázek 5.14 znázorňuje náčrtek řešené součásti. Tabulka 5.4 uvádí rozměry dílčích členů rozměrového řetězce a mezních úchylek.

Tabulka 5.4 – Rozměry dílčích členů rovinného rozměrového řetězce.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce					
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}
1	7,5	12	0	0,1	-0,2	0,2
2	25	40	0	0,2	-0,1	0,1
3	29	40	0	0,15	-0,3	0,3
4	25	30	0	0,3	-0,3	0,2
5	45	72	0	0,1	-0,2	0,2
6	35	51	0	0,15	-0,3	0,3
7	29	42	0	0,1	-0,2	0,2
8	35	49	0	0,15	-0,25	0,25
9	41	65	0	0,1	-0,1	0,1
10	69	93	0	0,1	-0,2	0,2

6 METODY MONTÁŽE

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.

6.1 Rozdělení metod montáže



Čas ke studiu: 2 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).

6.1.1 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.

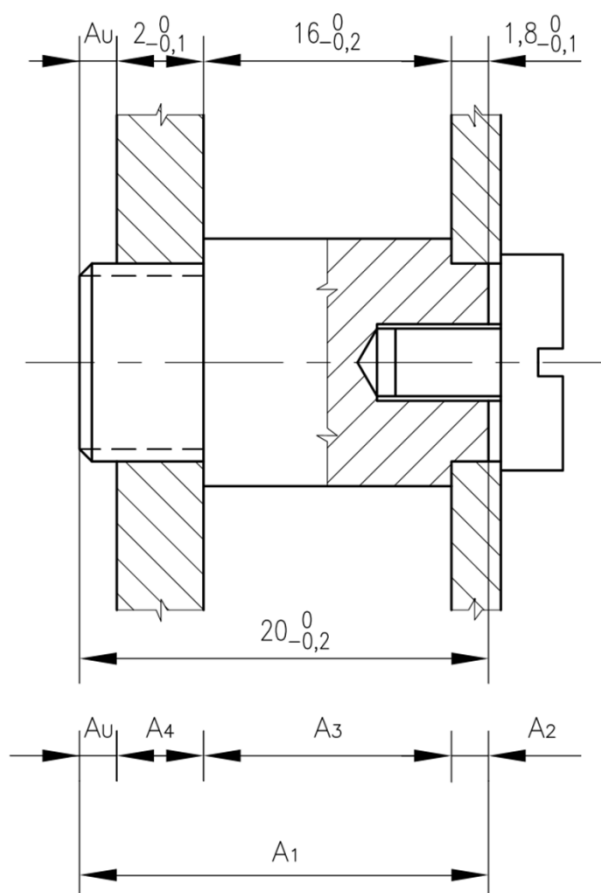
Mezi výhody této metody montáže patří jednoduchá technologická příprava montáže (členění, mechanizování montážních prací, normování práce), jednoduchá a hospodárná montáž (bez výběru a přizpůsobování, nižší kvalifikace pracovní síly, stabilní čas montáže), snadná mechanizace a automatizace montáže, možnost 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, přípravy 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 6.1 znázorňuje náčrtes řešené sestavy.



Obrázek 6.1 – Určení hodnoty A_U 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 δT_{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 $A_{U_{min}}$:

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

6.1.2 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 (snížování 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 zařízením 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_{A_i} od jmenovitého rozměru J ;
- střední kvadratická úchylka σ_{A_i} ;
- šířka rozptylu v_{A_i} .

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 σ_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:

$$X_{A_i} = a_{A_i} + \alpha_{A_i} \cdot \delta_{A_i}$$

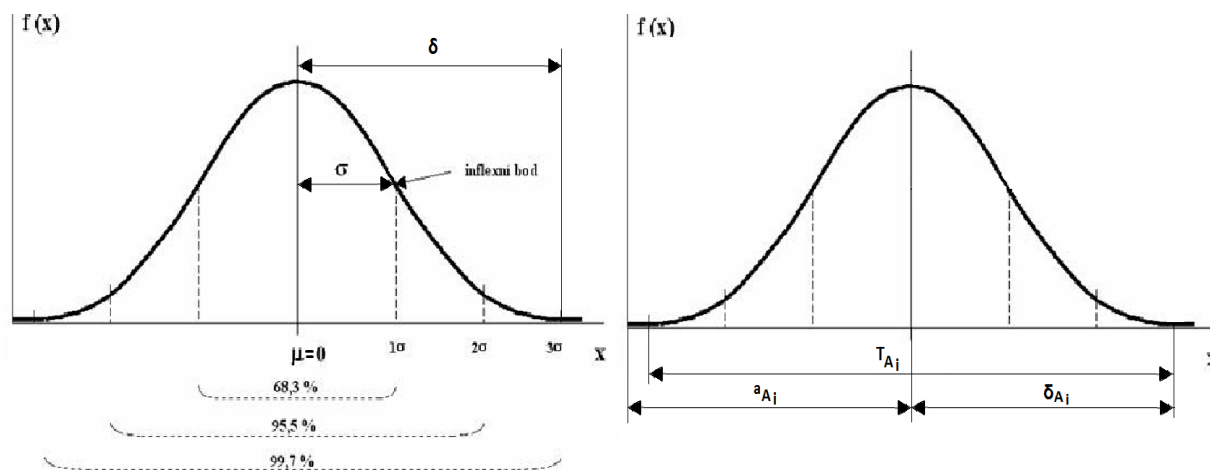
kde

a_{A_i} – souřadnice středu tolerančního pole i -tého členu řetězce vzhledem ke jmenovitému rozměru,

α_{A_i} – součinitel asymetrie křivky rozptylu i -tého členu řetězce,

δ_{A_i} – polovina tolerančního pole i-tého členu řetězce.

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



Obrázek 6.2 – Křivka normálního rozdělení uzavíracího členu.

Souřadnice středu tolerančního pole uzavíracího členu od jmenovitého rozměru:

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

Střední kvadratická úchylka uzavíracího členu řetězce je dána součtem kvadrátů chyb všech členů řetězce σ_{A_U} :

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

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

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

Součinitel relativního rozptylu rozměrů jednotlivých členů řetězce k_{A_i} , který vyjadřuje vztah střední kvadratické úchylky σ_{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} :

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

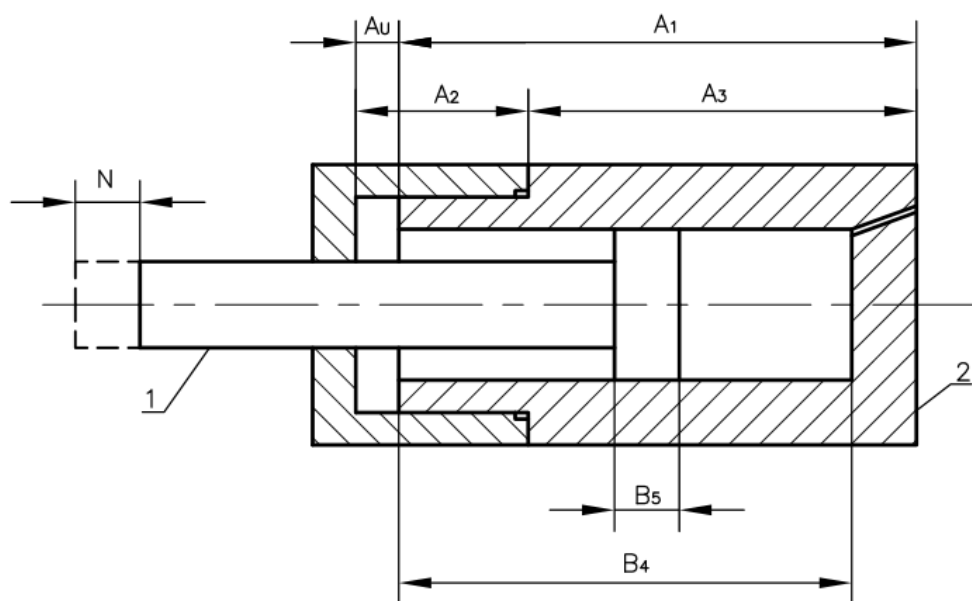
Uzavírací člen bude mít rozměr A_U :

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



Řešený příklad

Stanovte toleranci zdvihu N pístu čerpadla, která podle technických požadavků by neměla překročit hodnotu tolerančního pole 3 mm. Obrázek 6.3 znázorňuje náčrtek řešené sestavy.



Obrázek 6.3 – Náčrtek pístu.

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

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

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

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

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

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

Uřídíme 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 úchytky uzavíracího členu řetězce A_U - pro výpočet horní mezní úchytky 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:

$$N = [(a_{A_U} + \alpha_{A_U} \cdot \delta_{A_U}) + (b_{B_4} + \alpha_{B_4} \cdot \delta_{B_4}) - (b_{B_5} + \alpha_{B_5} \cdot \delta_{B_5})] \pm \sqrt{\delta_{A_U}^2 \cdot k_{A_U}^2 + \delta_{B_4}^2 \cdot k_{B_4}^2 + \delta_{B_5}^2 \cdot k_{B_5}^2}$$

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

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 prostého 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 $A_{U_{min}}$:

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

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

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

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

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

Jmenovitý rozměr členu N :

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

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

Dolní mezní rozměr uzavíracího členu N_{min} :

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

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

Horní mezní rozměr uzavíracího členu N_{max} :

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

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

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.

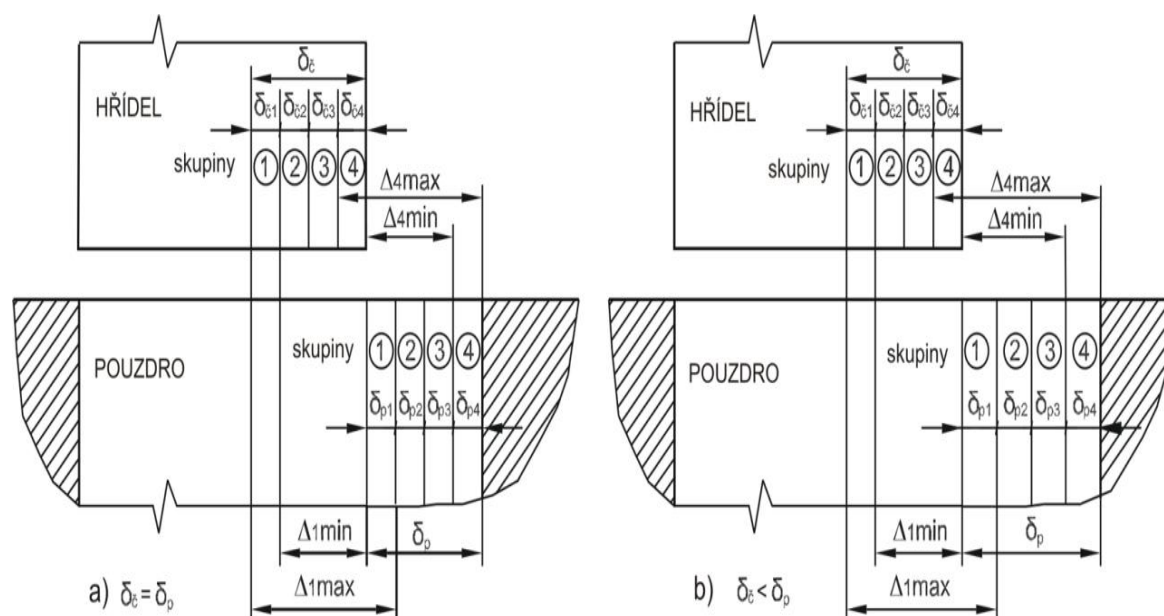
Při porovnání obou metod výpočtu rozměrových obvodů je zřejmé, že pravděpodobná úchylka je menší při výpočtu částečné vyměnitelnosti součástí než při výpočtu metodou úplné vyměnitelnosti součástí. Uvolněním tolerancí celého řetězce umožňuje metoda částečné vyměnitelnosti zlevnit výrobu členů řetězce.

6.1.3 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 roztříděním 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.



Obrázek 6.4 – Princip výběrové metody na příkladu čepu a pouzdra.

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];
 Δ_{min} - minimální možná vůle [mm].

Výpočet tolerančního pole skupiny hřídelů b :

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

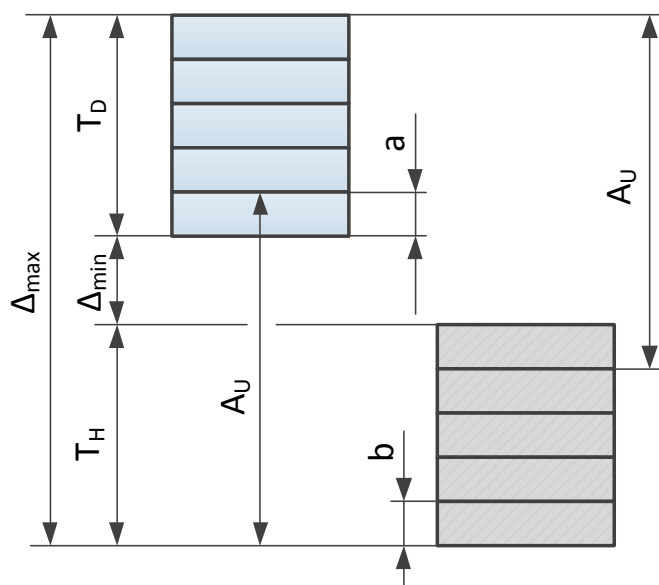
kde: A_U - předepsaná provozní vůle (uzavírací člen řetězce) [mm];
 Δ_{min} - minimální možná vůle [mm];

Maximální vůle uložení A_{Umax} :

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

Minimální vůle uložení A_{Umin} :

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



Obrázek 6.5 – 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.

Prakticky se třídí tak, že se použije například dodatečných kalibrů. Například při výrobě automobilů se tohoto způsobu výběru používá pro písty, pístní čepy a jiné součásti. Praktickým příkladem pro válce o průměru $85^{+0,04}_0$ mm a písty o průměru $85^{-0,01}_{-0,05}$ mm je stanovení skupin podle níže uvedené tabulky. Zpravidla se na každý píst a na vrchní plochu bloku proti válcům se vyrazí znak příslušné skupiny.

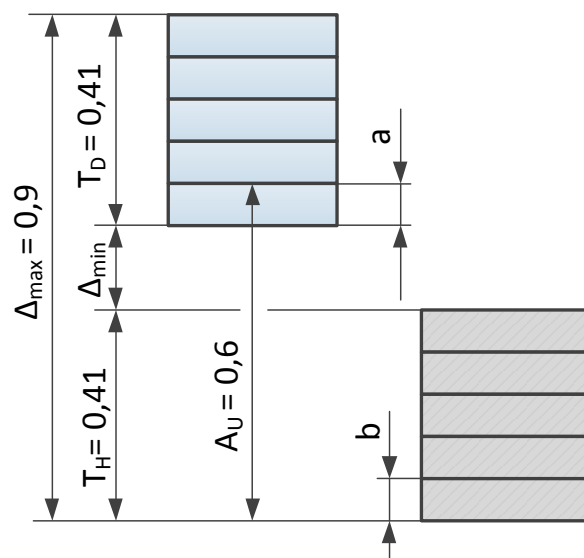
Tabulka 6.1 – Ukázka montážních výběrových skupin.

Skupina	Tříděné součásti	
	Válce	Písty
A	$85^{+0,04}_{+0,03}$	$85^{-0,01}_{-0,02}$
B	$85^{+0,03}_{+0,02}$	$85^{-0,02}_{-0,03}$
C	$85^{+0,02}_{+0,01}$	$85^{-0,03}_{-0,04}$
D	$85^{+0,01}_0$	$85^{-0,04}_{-0,05}$



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 6.6 znázorňuje uvedený příklad.



Obrázek 6.6 – Určení počtu rozměrových skupin při výběrové metodě.

Výpočet minimální možné vůle Δ_{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 $A_{U_{max}}$:

$$A_{U_{max}} = T_H + \Delta_{min} + a$$

$$A_{U_{max}} = 0,41 + 0,08 + 0,1025 = 0,5925 \text{ mm}$$

Minimální vůle uložení $A_{U_{min}}$:

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

$$A_{U_{min}} = 0,41 + 0,08 - 0,1025 = 0,3875 \text{ mm}$$

6.1.4 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.

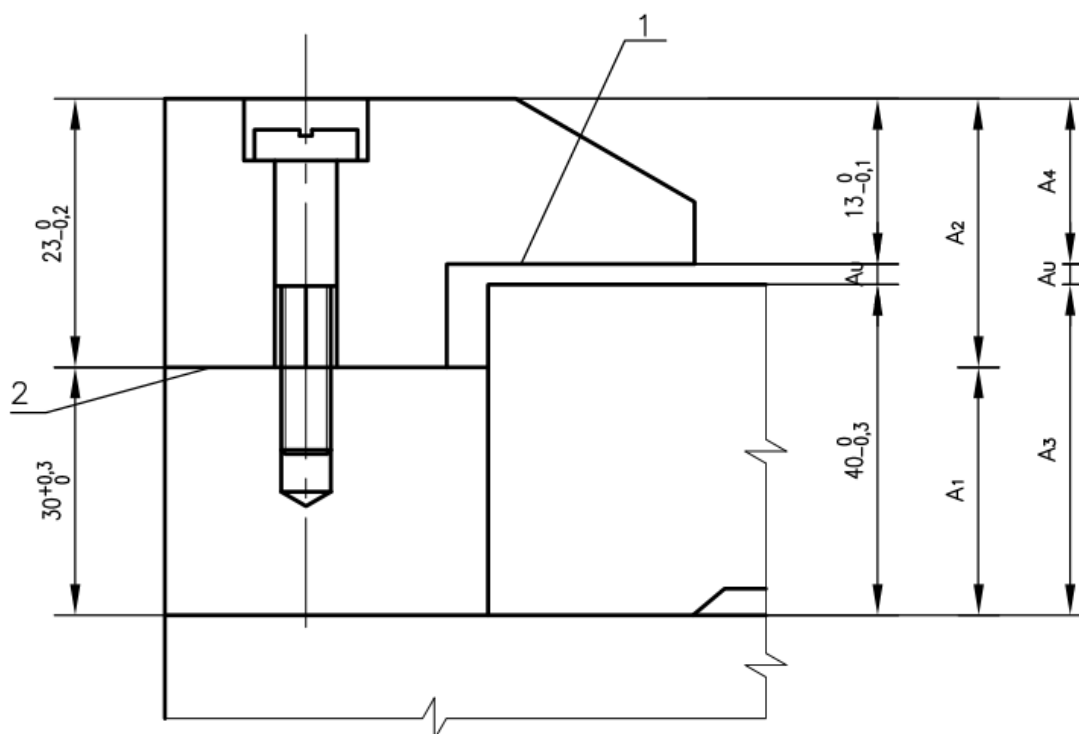
Metodu lícování nazýváme také jako kompenzátor technologický. Výsledné přesnosti smontovaného celku dosahujeme změnou rozměru jedné nebo několika předem zvolených součástí. To předpokládá zařazení operace výrobního charakteru do montážního postupu.

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.



Obrázek 6.7 – 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 :

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

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

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 $A_{U_{min}}$:

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

$$A_{U_{min}} = (30 + 22,8) - (40 + 13) = -0,2 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{U_{max}} = (30,3 + 23) - (39,7 + 12,9) = 0,7 \text{ mm}$$

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 $k_{A_i} = 1$.

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

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

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

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

Určíme poloviny tolerančních polí dílčích členů řetězce:

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

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

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

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

Hodnota souřadnice středu tolerančního pole uzavíracího členu a_{A_U} :

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

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

Hodnota poloviny tolerančního pole uzavíracího členu δ_{AU} :

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

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

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

Uzavírací člen bude mít rozměr A_U :

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

$$A_U = 0,25 \pm 0,24 \text{ mm}$$

Tolerance uzavíracího členu T_{AU} :

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

6.1.5 Metoda kompenzační (pevný člen)

Metoda kompenzační využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to vložím určitého počtu kompenzačních prvků do rozměrového řetězce. Vůle se vymezí vložím 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 vložím 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 δ_K se stanoví ze vztahu:

$$\delta_K = \delta'_{AU} - \delta_{AU} = \sum_{i=1}^n \delta'_{Ai} - \delta_{AU}$$

kde: δ'_{AU} - poloviční tolerance uzavíracího členu A_U při rozšířených tolerancích všech členů řetězce;

δ_{AU} - předepsaná poloviční tolerance uzavíracího členu A_U při původních tolerancích;

δ'_{Ai} - hodnota rozšířených polovičních tolerancí členů řetězce A_i .

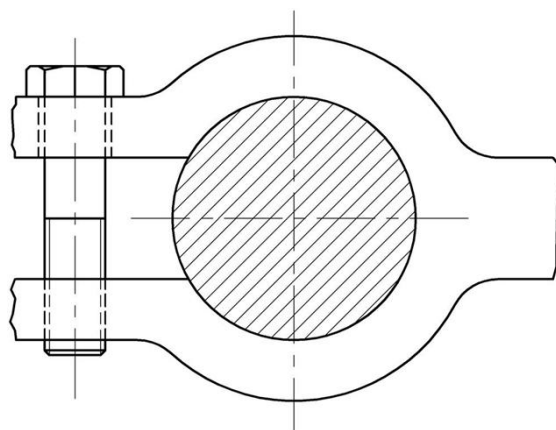
Pro vkládané kompenzátory se stanoví počet kompenzačních stupňů.

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

$$M = \frac{\delta_K}{\delta_{AU}} = \frac{\delta'_{AU} - \delta_{AU}}{\delta_{AU}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta'_{Ai} - \delta_{AU}}{\delta_{AU}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta'_{Ai}}{\delta_{AU}} - 1$$

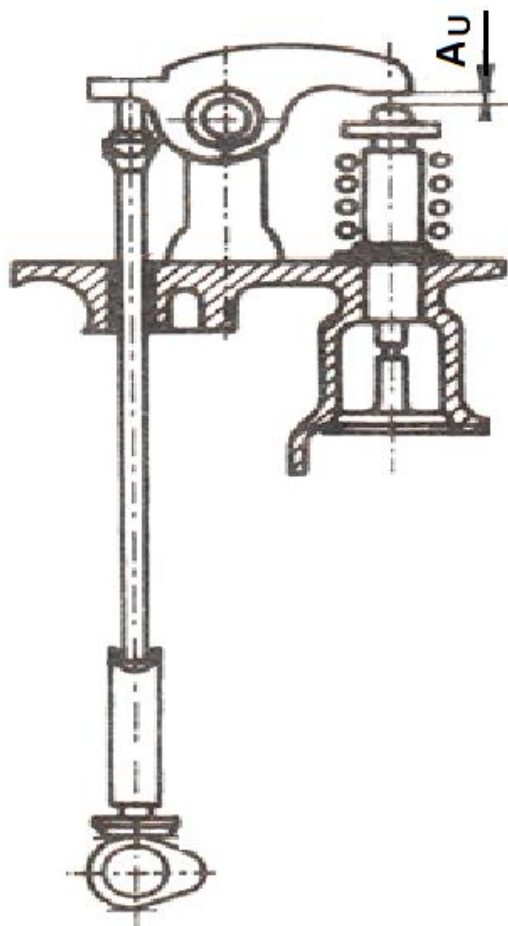
6.1.6 Metoda regulační (pohyblivý člen)

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.



Obrázek 6.8 – Příklad pohyblivého konstrukčního kompenzátoru.

Příklad stavitelného konstrukčního kompenzátoru viz Obrázek 6.9.



Obrázek 6.9 – Stavitelný konstrukční kompenzátor.



Shrnutí pojmů 6.1.

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



Otázky 6.1.

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?

6.2 Přesnost výroby a její vliv na náklady montáže



Čas ke studiu: 30 minut



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět



Popsat vliv přesnosti výroby na náklady montáže.

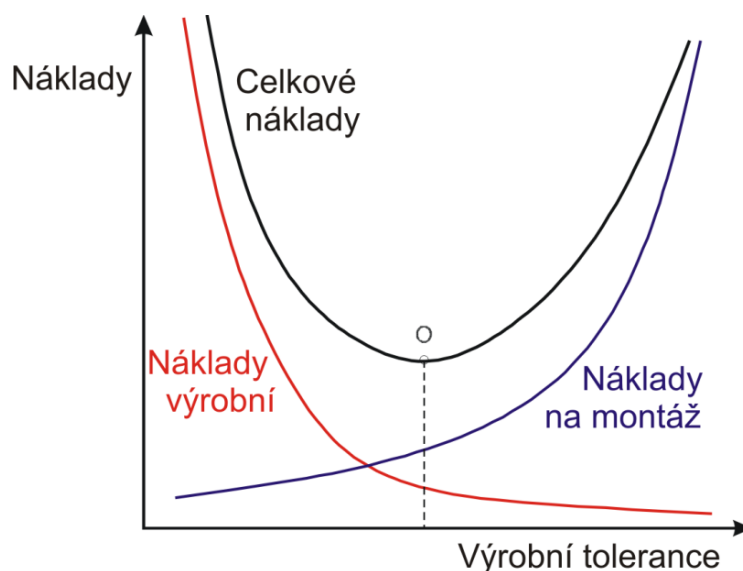


Výklad

Značný podíl pracnosti při montáži připadá na přizpůsobovací práce. Jejich omezení, nebo v ideálním případě úplné vyloučení, závisí na kvalitě výroby spojovaných součástí a jejich přesnosti. Pod pojmem přesnost je nutno komplexně vnímat velikost tolerancí úchylek rozměrů, tvarů a polohy ploch. Právě volba přesnosti je závažným problémem pro každého konstruktéra.

Při montáži s úplnou vyměnitelností jsou součásti vyráběny s velmi úzkými tolerancemi, aby bylo možno součásti libovolně při montáži zaměňovat. Výroba takovýchto součástí je poměrně nákladná, jelikož jsou při jejich výrobě využívány speciální přesné nástroje, přípravky a měřidla.

Nároky výroby na přesnost jsou rozdílné podle druhu výrobku a typu výroby. Rozměrová tolerance je rozdíl mezi horním mezním rozměrem a dolním mezním rozměrem. Obrázek znázorňuje závislost výrobních a celkových nákladů na navržené velikosti tolerance rozměrů.



Obrázek 6.10 – Závislost nákladů na předepsaných výrobních tolerancích součástí.

Na obrázku je zřejmý hyperbolický nárůst nákladů na výrobu součástí při zmenšování jejich rozměrových tolerancí a progresivní růst nákladů na jejich montáž při zvětšování rozměrových tolerancí. Poloha minima křivky celkových nákladů (součtová křivka) je závislá

na tvaru obou dílčích křivek, a to na křivce nákladů na výrobu a montáž. Minimum na součtové křivce určuje velikost optimální tzv. hospodárné tolerance.



Shrnutí pojmů 6.2.

Náklady na montáž.



Otázky 6.2.

1. Jaký vliv má přesnost výroby na náklady montáže?



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.

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.

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.

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.
- 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.
- 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.
- 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 Technologickosť 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.
- SHAW, MILTON C. 2005. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.
- WHITNEY, DANIEL E. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*.



CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu nebo je může nalézt na e-learningovém portálu.



Klíč k řešení

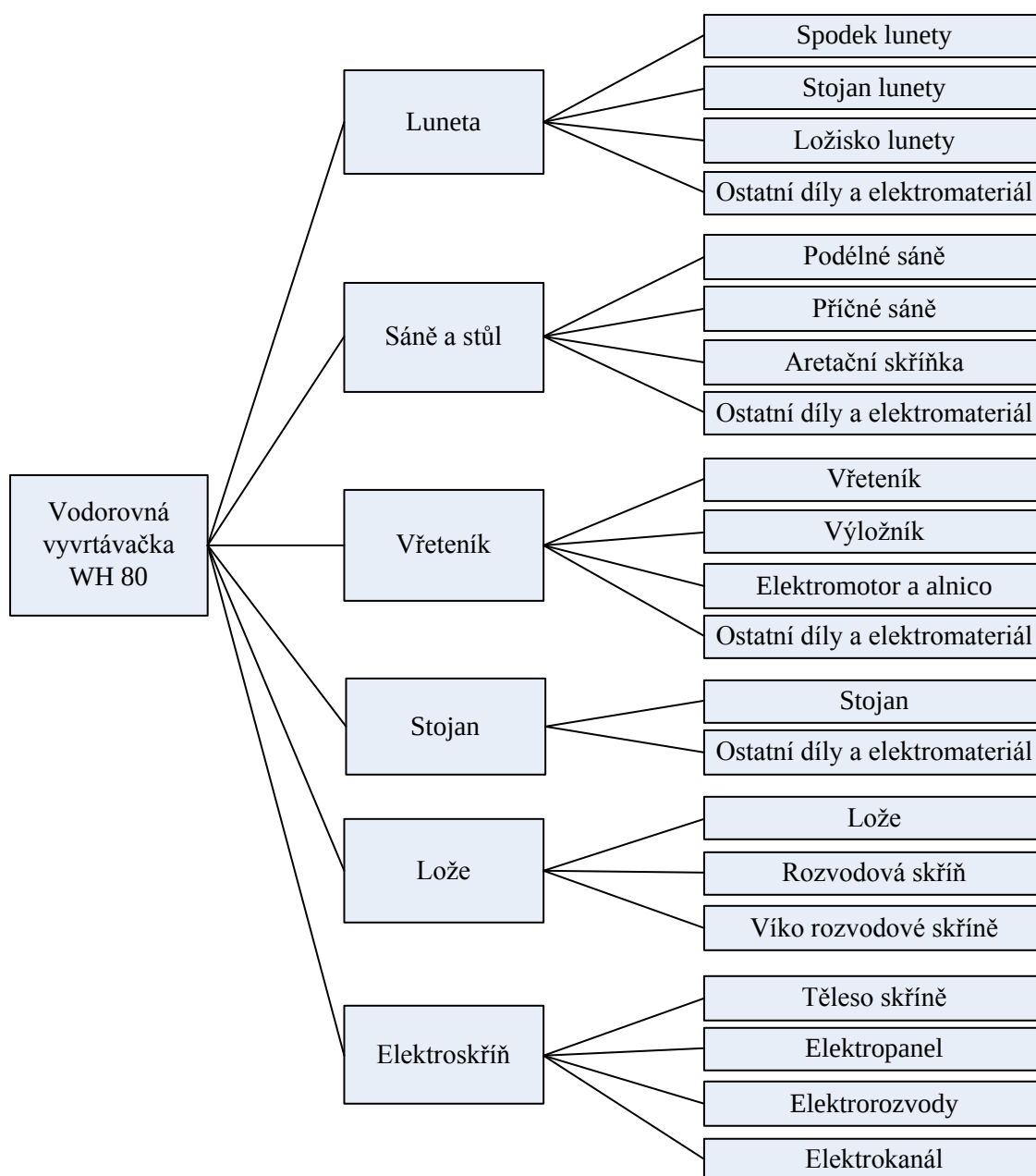
- O 1.1.1 - Montáž lze charakterizovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů, přičemž vykonáváním činností ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek.
- O 1.1.2 - Montáž zastává úlohu spojování dvou či více součástí do montážních podskupin, skupin 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 1.3.1 - Montážní činnosti jsou jednotlivé činnosti, které jsou prováděny při montáži (např. čištění, ustavování, šroubování, seřizování, měření, balení, expedice aj.).
- O 1.3.2 - Znamé rozdělení činností je na skupiny přípravných činností, přizpůsobovacích, manipulačních, spojovacích, kontrolních a ostatních činností.
- O 1.3.3 - V kusové až malosériové výrobě jsou rozhodující zejména přípravné činnosti a z vlastní montáže má podstatný význam kontrola a seřizování.
- O 1.3.4 - Ve velkosériové výrobě převažují montážní činnosti spojování a manipulace.
- O 2.1.1 - Součást je nerozebíratelný prvek (prvotní článek montáže), část výrobku, která je obvykle vyrobena z jednoho kusu materiálu.
- O 2.1.2 - Pojem montážní skupina je nejvyšší montážní prvek, vzniká spojením jedné nebo několika podskupin a dalších součástí.
- O 2.1.3 - Pojem montážní celek je veškeré strojní zařízení vykonávající úplný technologický proces.
- O 2.1.4 - Tvorba montážního schématu pro praxi má význam takový, že dává přehled o vzájemném spojení součástí. Z montážního schématu mělo být patrné jaké součásti a v jakém pořadí mají být vzájemně spojovány, rozmístění součástí pro správnou organizaci montáže.
- O 2.2.1 - Montážní skupina je nejvyšší montážní prvek, vzniká spojením jedné nebo několika podskupin a dalších součástí.
- O 2.2.1 - Montážní podskupina je základní částí výrobku, která je funkčně nebo konstrukčně neuzavřená a kterou tvoří rozebíratelné či nerozebíratelné spojení dvou nebo více součástí.
- O 3.1.1 - Technologičnost konstrukce rozumíme takové konstrukční provedení součástí či výrobků, které zaručuje optimální výrobu při splnění všech jejich funkcí.
- O 3.1.2 - 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 3.1.3 - Problematika technologičnosti konstrukce je řešena s cílem zjednodušení montážního procesu, eliminovat ruční pracoviště a uplatnit mechanizaci a automatizaci apod.
- O 3.2.1 - Za možnosti zvyšování technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži lze považovat řešení konstrukčního, technologického a provozního charakteru.
- O 3.3.1 - Pro hodnocení technologičnosti konstrukce vzhledem k montáži známe ukazatel jednotkových výrobních nákladů U_{Ncj} , ukazatel pracnosti výroby U_P , ukazatel spotřeby materiálu U_{Qm} , ukazatel využití materiálu U_{Pm} , ukazatel nákladů na jednotku hmotnosti výrobku U_{NcjQ} , ukazatel počtu normalizovaných UNS, unifikovaných UUS a převzatých součástí UPS.
- O 4.1.1 - 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 4.1.2 - Schéma rozměrového řetězce je grafické zobrazení rozměrového řetězce a je vždy uzavřenou křivkou.
- O 4.1.3 - 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 součástek, nebo je to vůle, přesah, geometrická tolerance apod.
- O 4.1.4 - Kompenzační člen A_{Ki} je člen rozměrového obvodu, jehož změnou se dosáhne požadovaná přesnost uzavíracího členu A_U .
- O 4.1.5 - Příklad, kdy je schéma rozměrového řetězce otevřenou křivkou, nemůže nastat.
- O 5.1.1 - Paralelní přímkový obvod demonstruje vzájemné vazby mezi řetězci a jejich spojovací členy v závislosti od čela součásti.
- O 5.1.2 - Sériový obvod demonstruje vznik vzájemné vazby společnou základnou 1 anebo společnou základnou 2.
- O 5.1.3 - Rozměrový obvod s kombinovanou vazbou demonstruje rozměrové obvody s kombinovanou vazbou, kde lze nalézt paralelní i sériové vazby.
- O 5.2.1 - Rovinný rozměrový obvod je obvod, jehož některé nebo všechny členy řetězce jsou v rovnoběžných směrech, ale v jedné nebo více rovnoběžných rovinách
- O 6.1.1 - Praktickým příkladem použití metody úplné vyměnitelnosti součástí v praxi jsou například kola automobilů.
- O 6.1.2 - Praktickým příkladem použití metody částečné vyměnitelnosti součástí v praxi je výroba píšťů.

- O 6.1.3 - Praktickým příkladem použití metody výběrové v praxi mohou být valivá ložiska, písty a čerpadla.
- O 6.1.4 - Praktickým příkladem použití metody kompenzační v praxi jsou distanční kroužky, vložky aj.
- O 6.1.5 - Praktickým příkladem použití metody regulační v praxi je pohyblivý či stavitelný kompenzátor.
- O 6.1.6 - Praktickým příkladem použití metody lícovací v praxi je dolícování na místě při montáži obráběcích strojů.
- O 6.2.1 - Vliv přesnosti výroby na náklady montáž má hyperbolický nárůst nákladů na výrobu součástí při zmenšování jejich rozměrových tolerancí a progresivní růst nákladů na jejich montáž při zvětšování rozměrových tolerancí.
- Ú 1.2.1 - Pájení je montážní operace.
- Ú 1.2.2 - Zakládání součástí 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 svařování.
- 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 1.2.12 - Základny mimo montážní jsou známe například konstrukční, technologické, metrologické aj.
- Ú 1.3.1 - Montážní činnosti lze rozdělit do šesti skupin na: přípravné činnosti (příprava pomůcek), přizpůsobovací činnosti (úprava ploch), manipulační činnosti (orientace), spojovací činnosti (tváření), kontrolní činnosti (měření), ostatní činnosti (konzervace).
- Ú 1.3.2 - Ne, výraz není pravdivý.
- Ú 1.3.3 - Ano, výraz je pravdivý.
- Ú 1.3.4 - Ano, výraz je pravdivý.
- Ú 1.3.5 - Ne, výraz není pravdivý.
- Ú 2.1.1 - Obrázek 2.1.1 znázorňuje jednoduché montážní schéma vodorovné vyvrtávačky.



Obrázek 2.1.1 - Montážní schéma vodorovné vyvrtávačky.

- Ú 3.1.1. - 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 3.2.1. - Příkladem konstrukční možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je minimalizaci počtu součástí pro montážní sestavu výrobků.
- Ú 3.2.2. - Příkladem technologické možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je zkrácení úseku přípravy výroby i doby jejího zavedení.
- Ú 3.2.3. - Příkladem provozní možnosti pro zvýšení úrovně technologičnosti konstrukce ve vztahu k montáži je hodnocení provozní spolehlivosti, životnosti výrobků.

- Ú 3.3.1. - Příkladem exploatačního ukazatele může být exploatační ukazatel ve vztahu ke hmotnosti U_{EQm} , popřípadě ukazatel ve vztahu k jednotkovým výrobním nákladům.
- Ú 4.1.1. - Viz obrázek 4.2 – Schéma lineárního řetězce rozměrů.
- Ú 4.1.2. - Viz obrázek 4.3 – Schéma rovinného řetězce rozměrů.
- Ú 4.1.3. - Viz obrázek 4.4 – Schéma prostorového řetězce rozměrů.
- Ú 4.1.4. - Viz obrázek 4.5 – Schéma úhlového řetězce rozměrů.
- Ú 5.1.1. - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchyly uzavíracího členu rozměrového obvodu A_U je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5.1.1 - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchyly uzavíracího členu.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce												Rozměr uzavíracího členu		
	A_1	A_2	A_3	A_4	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}	I_{A3}	S_{A3}	I_{A4}	S_{A4}	A_U	I_{AU}	S_{AU}
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 5.2.1. - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchyly uzavíracího členu rozměrového obvodu A_U je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5.2.1 - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchyly uzavíracího členu.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce						Parciální derivace		Rozměr uzavíracího členu		
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}	$\partial A_U / \partial A_1$	$\partial A_U / \partial A_2$	A_U	I_{AU}	S_{AU}
1	118	95	-0,03	0,03	-0,025	0,025	1,686	-1,357	69,993	-0,085	0,085
2	96	75	-0,02	0,02	-0,01	0,01	1,602	-1,252	59,925	-0,045	0,045
3	103	83	-0,03	0,03	-0,01	0,01	1,689	-1,361	60,992	-0,064	0,064
4	95	76	-0,03	0,03	-0,01	0,01	1,667	-1,333	57,000	-0,063	0,063
5	120	72	-0,02	0,02	-0,02	0,02	1,250	-0,750	96,000	-0,040	0,040
6	80	55	-0,02	0,02	-0,03	0,03	1,377	-0,947	58,095	-0,056	0,056
7	125	75	-0,05	0,05	-0,02	0,02	1,250	-0,750	100,000	-0,078	0,078
8	130	100	-0,02	0,02	-0,02	0,02	1,565	-1,204	83,066	-0,055	0,055
9	140	100	-0,02	0,02	-0,02	0,02	1,429	-1,021	97,980	-0,049	0,049
10	105	90	-0,02	0,02	-0,02	0,02	1,941	-1,664	54,083	-0,072	0,072

Ú 5.2.2. - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu rozměrového obvodu A_U je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5.2.2 - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce						Parciální derivace		Rozměr uzavíracího členu		
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}	$\partial A_U / \partial A_1$	$\partial A_U / \partial A_2$	A_U	I_{AU}	S_{AU}
1	15	24	-0,2	0,2	-0,1	0,1	1,667	-1,333	9	-0,467	0,467
2	20	32	-0,15	0,15	-0,3	0,3	1,667	-1,333	12	-0,650	0,650
3	25	40	-0,3	0,3	-0,3	0,2	1,667	-1,333	15	-0,767	0,900
4	30	48	-0,1	0,1	-0,2	0,2	1,667	-1,333	18	-0,433	0,433
5	35	56	-0,15	0,15	-0,3	0,3	1,667	-1,333	21	-0,650	0,650
6	40	64	-0,1	0,1	-0,2	0,2	1,667	-1,333	24	-0,433	0,433
7	45	72	-0,15	0,15	-0,25	0,25	1,667	-1,333	27	-0,583	0,583
8	50	80	-0,1	0,1	-0,1	0,1	1,667	-1,333	30	-0,300	0,300
9	55	88	-0,1	0,1	-0,2	0,2	1,667	-1,333	33	-0,433	0,433
10	60	96	-0,2	0,2	-0,1	0,1	1,667	-1,333	36	-0,467	0,467
11	65	104	-0,03	0,03	-0,2	0,2	1,667	-1,333	39	-0,317	0,317

Ú 5.2.3. - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu rozměrového obvodu A_U je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5.2.3 - Vypočtený jmenovitý rozměr a mezní úchytky uzavíracího členu.

Číslo zadání	Zadané rozměry členů řetězce						Parciální derivace		Rozměr uzavíracího členu		
	A_1	A_2	I_{A1}	S_{A1}	I_{A2}	S_{A2}	$\partial A_U / \partial A_1$	$\partial A_U / \partial A_2$	A_U	I_{AU}	S_{AU}
1	7,5	12	0	0,1	-0,2	0,2	-0,667	0,667	3	-0,200	0,133
2	25	40	0	0,2	-0,1	0,1	-0,667	0,667	10	-0,200	0,067
3	29	40	0	0,15	-0,3	0,3	-0,381	0,476	8	-0,200	0,143
4	25	30	0	0,3	-0,3	0,2	-0,250	0,375	5	-0,188	0,075
5	45	72	0	0,1	-0,2	0,2	-0,667	0,667	18	-0,200	0,133
6	35	51	0	0,15	-0,3	0,3	-0,460	0,532	11	-0,229	0,160
7	29	42	0	0,1	-0,2	0,2	-0,450	0,525	9	-0,150	0,105
8	35	49	0	0,15	-0,25	0,25	-0,400	0,490	10	-0,183	0,123
9	41	65	0	0,1	-0,1	0,1	-0,640	0,650	16	-0,129	0,065
10	69	93	0	0,1	-0,2	0,2	-0,354	0,456	18	-0,127	0,091