

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

**METODIKA HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI
KONSTRUKCE MONTÁŽNÍCH JEDNOTEK**

Habilitační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071363

Ing. Karel Dušák, CSc.

Liberec, prosinec 1994

OBSAH :

1.	ÚVOD.....	3
2.	PROCES AUTOMATICKÉ MONTÁŽE.....	5
3.	VZÁJEMNÁ ORIENTACE MONTOVANÝCH SOUČÁSTÍ.....	9
3.1	Řešení montážního rozměrového řetězce metodou maxima-minima.....	12
3.2	Řešení montážního rozměrového řetězce metodou pravděpodobnostní.....	12
3.3	Struktura montážního rozměrového řetězce.....	14
4.	UKAZATEL TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE MONTÁŽNÍ JEDNOTKY	17
5.	ÚCHYLKA MONTÁŽNÍ JEDNOTKY	19
6.	PODMÍNKY SMONTOVATELNOSTI	28
6.1	Podmínka smontovatelnosti válcových montovaných ploch ...	31
6.2	Podmínka smontovatelnosti prizmatických montovaných ploch	32
6.3	Podmínka smontovatelnosti kombinovaných montovaných ploch	35
6.4	Smontovatelnost a užití podmínky smontovatelnosti	37
7.	DOVOLENÁ ÚCHYLKA VZÁJEMNÉ ORIENTACE A JEJÍ SLOŽKY	40
7.1	Složky dovolené úchyly vzájemné orientace válcových montovaných ploch	40
7.1.1	Určení složek metodou maxima-minima	40
7.1.2	Určení složek metodou pravděpodobnostní	41
7.2	Složky dovolené úchyly vzájemné orientace prizmatických montovaných ploch	43
7.2.1	Určení složek metodou maxima-minima	43
7.2.2	Určení složek metodou pravděpodobnostní	43
7.3	Složky dovolené úchyly vzájemné orientace kombinovaných montovaných ploch	45
7.3.1	Určení složek metodou maxima-minima	45
7.3.2	Určení složek metodou pravděpodobnostní	46
7.3.3	Volba výsledné hodnoty složek	47
8.	SHRNUTÍ.....	48
9.	APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE MONTÁŽNÍ JEDNOTKY	50
10.	ZÁVĚR	69
	Literatura	72

U305 S

KOM
92 A.
M. J. J.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

1. ÚVOD

Technologičnost konstrukce výrobku je termín označující obecně závislost výrobních nákladů výrobku na jeho konstrukci. Konstrukcí v tomto případě je myšlena úplná charakteristika výrobku, tj. jeho tvar, rozměry a jejich přesnost, jakost povrchu jednotlivých ploch, materiál a druh použitého polotovaru atd. Každý z těchto znaků může být hlediskem při posuzování technologičnosti, aniž by bylo možno obecně rozhodnout o míře jejich vlivu.

Při posuzování technologičnosti konstrukce určitého výrobku dle těchto dílčích hledisek je nezbytné současně uplatňovat hlediska jednotlivých dílčích technologických procesů (obrábění, montáž apod.), kterým bude výrobek během své výroby podroben. Přitom se mohou kritéria technologičnosti při posuzování z různých hledisek značně lišit.

Navíc je třeba mít na zřeteli, že kritéria technologičnosti se mohou měnit v závislosti na hromadnosti výroby posuzovaného výrobku. To má svůj původ ve známé poplatnosti konstrukce výrobku a následně technologie jeho výroby, hromadnosti této výroby.

Proto za objektivní lze považovat obecně jen komplexní posouzení technologičnosti, které nelze provést dle žádného kritéria technického, ale universálního - ekonomického, kterým jsou zmíněné celkové výrobní náklady.

Přesto je užitečné posuzovat technologičnost konstrukce výrobku i z úzce omezeného hlediska určitého technologického procesu, protože komplexní posouzení nedává možnost účinného zvýšení technologičnosti výrobku konkrétním zásahem do jeho konstrukce. Nedovoluje totiž diferencovaný pohled na jednotlivé části technologického procesu a neodhaluje technické příčiny a tedy i možnosti zlepšení určitého stavu technologičnosti konkrétního výrobku.

V tomto smyslu je třeba chápat i hodnocení technologičnosti montážních jednotek jako výrobků vznikajících spojováním jejich částí. Jejich výroba je založena na montážní technologii a z pohledu této technologie je také hodnocena jejich konstrukce (nejde tedy o hodnocení z pohledu technologie výroby zmíněných částí).

Přitom je třeba rozlišovat procesy montáže ruční a automatické, protože mají rozdílnou technologickou podstatu. Navíc automatická montáž představuje

komplex dílčích procesů rovněž navzájem technologicky odlišných. Z toho pak vyplývají i různé požadavky na konstrukci montovaného výrobku sledující usnadnění průběhu těchto procesů. To se pak může projevit i v odlišnosti konstrukčních znaků charakterizujících výrobek na které je v jednotlivých dílčích procesech kladen důraz. Tyto znaky pak představují ukazatele (hlediska) při hodnocení technologičnosti konstrukce ve vztahu k těmto procesům.

Je tedy třeba při posuzování technologičnosti specifikovat výrobní proces k němuž se hodnocení vztahuje, tj. jeho technologickou podstatu a z ní plynoucí ukazatele technologičnosti.

V případě technologičnosti konstrukce montážní jednotky máme na mysli technologičnost ve vztahu k dílčím procesům automatické montáže a sice k vzájemné orientaci a částečně ke spojení částí této montážní jednotky. Montážní jednotka jako taková není totiž objektem žádných jiných dílčích procesů. Přitom z hlediska technologičnosti je důležitá především vzájemná orientace, která pak determinuje spojení.

Konstrukčním znakem montovaného výrobku, který má dominující vliv na průběh těchto procesů je rozměrová přesnost a do jisté míry i tvar.

Obsahem této práce je pak návrh metodiky hodnocení technologičnosti montážních jednotek ve vztahu k automatickému procesu vzájemné orientace a spojení jejich částí z hlediska jejich rozměrové přesnosti.

Je na místě poznamenat, že technologičnost konstrukce výrobku z hlediska montáže představuje rozsáhlou problematiku, která je velmi často nesprávně chápána jen ve vztahu k procesům ruční montáže, přičemž výrobkem jsou myšleny často jen součásti. V těchto procesech je pak zpravidla dominujícím konstrukčním znakem podmiňujícím technologičnost tvar. Obdobná je situace v přípravných procesech automatické montáže. Tato problematika však svojí šíří je již mimo rámec této práce a bylo jí v minulosti věnováno podstatně více pozornosti než problematice dále řešené.

2. PROCES AUTOMATICKÉ MONTÁŽE

Montáž je dle ČSN 01 3204 vytváření složených výrobků - montážních jednotek z částí, kterými mohou být montážní jednotky jednodušší a jednoduché výrobky - součásti. Pro přehlednost, bez újmy na obecnosti, je montáž dále prezentována v rozsahu jedné operace, ve které vzniká montážní jednotka ze dvou součástí.

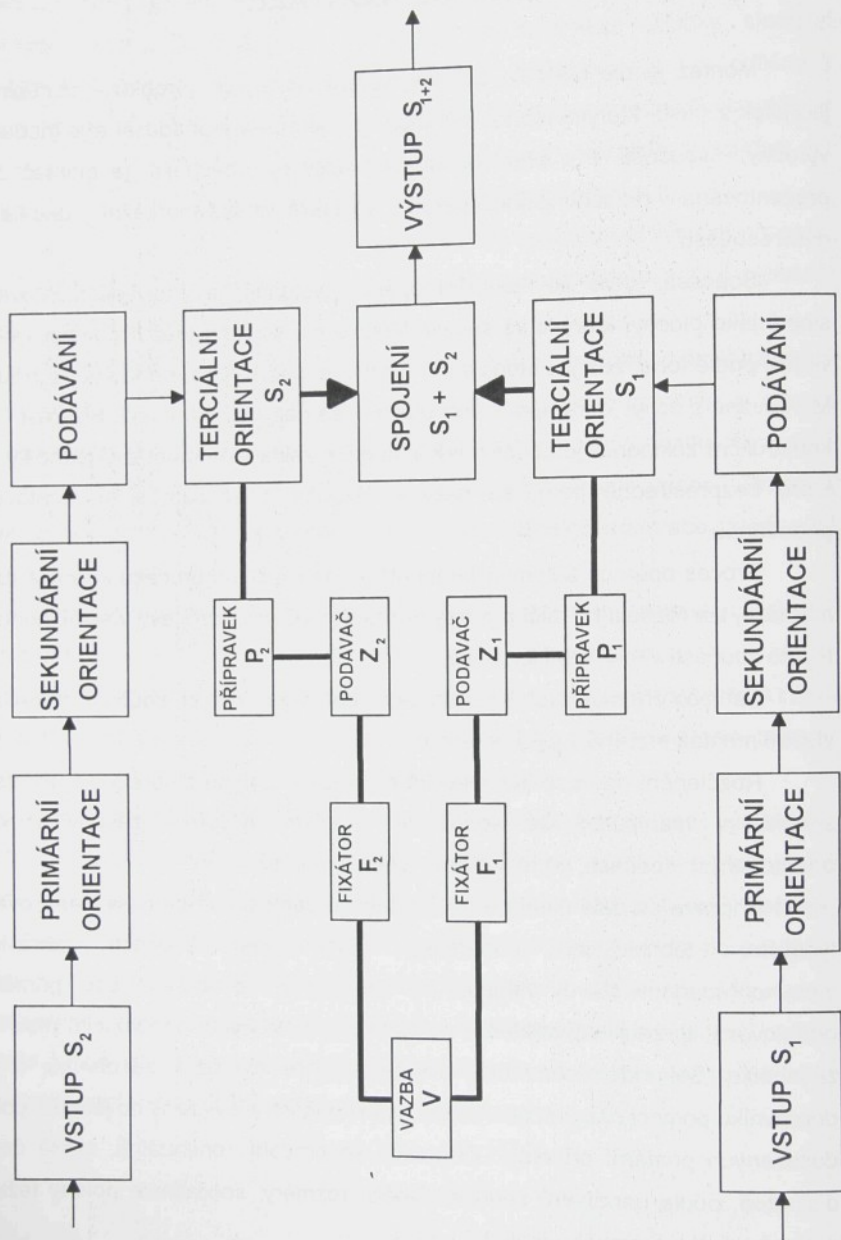
Součásti, které do montážní operace vstupují, se nazývají montované, stejně jako plochy, kterými se spojují. Montovaná součást může být vnější nebo vnitřní podle toho, zda její montovaná plocha je vnitřní (díra) nebo vnější (hřídel). Montované plochy, které spolu tvoří uložení, se nazývají sdružené. Součást, jejíž konstrukční základna je současně konstrukční základnou montážní jednotky, do které bezprostředně patří, se nazývá základní a součást s ní montovaná podávanou.

Proces operace automatické montáže, na rozdíl od procesu operace ruční montáže, lze rozdělit na dílčí procesy přípravy součástí a procesy vlastní montáže těchto součástí v montážní jednotku.

Zatímco příprava probíhá u každé z obou montovaných součástí nezávisle, vlastní montáž probíhá v jejich interakci.

Rozčlenění operace automatické montáže je zřejmé z obrázku 1. Příprava spočívá v manipulaci se součástmi s cílem vytvoření zásoby vhodně orientovaných součástí, potřebné pro plynulou montáž.

Příprava se dále člení na dílčí, relativně samostatné procesy, realizované typovými technickými prostředky. Montované součásti zpravidla v neuspořádaném stavu, vstupují do zásobníku, ve kterém jsou primárně orientovány, tj. zaujímají některou ze stabilních poloh vůči orientujícím plochám zásobníku. Sekundární orientací, uskutečňovanou rovněž v zásobníku, či na dopravníku pomocí různých orientátorů, jsou součásti převedeny do jedné z poloh dosažených primární orientací. Orientace se provádí kontinuálně, méně často diskrétně, podle parametrů součástí (vnější rozměry, souřadnice polohy těžiště nebo vhodného tvarového prvku).



obr. 1

Dopravníkem se součástí současně přemísťují do odebírací polohy, kde se akumulují, oddělují děličem, odebírají a podávají podavačem na montážní pozici (do přípravku).

Vlastní montáž tvoří technologickou podstatu celého procesu. Spočívá v terciární (vzájemné) orientaci, tj. manipulaci se součástmi uloženými v montážních přípravcích s cílem zpřesnění jejich vzájemné polohy a jejich následném spojení nástrojem v montážní jednotku.

Podáváním, kterým končí příprava, může také začínat vlastní montáž. Montážní přípravek může být částí podavače, stejně jako nástroj, který může být sloučen s přípravkem.

Příslušnost určitého dílčího procesu (např. podávání) k vlastní montáži je dána příslušností technického prostředku jeho realizace (podavače či jeho části) k montážní technologické soustavě dané montážní pozice.

Montážní technologická soustava: součást - přípravek - stroj - přípravek - součást) je analogií technologické soustavy obrábění (součást - přípravek - stroj - přípravek - nástroj). Formálně místo nástroje v technologické soustavě obrábění zaujímá v technologické soustavě montáže sdružená součást, zatímco nástroj, sám o sobě, prvkem této soustavy obvykle není. Stejně tak není prvkem soustavy v obou případech celý stroj. Na obr. 1 je montážní technologická soustava vyznačena bloky S_1 , S_2 , P_1 , P_2 , Z_1 , Z_2 , F_1 , F_2 a V .

Z uvedeného je patrný zásadní rozdíl obsahu operace automatické a ruční montáže. Ruční montáž probíhá plynule v rukách dělníka a uvedené členění je v takovém případě bezpředmětné. Totéž platí i o montáži mechanizované, která se někdy prezentuje jako mezistupeň mezi ruční a automatickou montáží, i když kvalitativně jde stále o ruční montáž.

Rozdíl mezi ruční a automatickou montáží není jen v jejich výkonu, ale především v řízení tohoto výkonu. Ruční montáž je maximálně adaptabilní, takže problém smontovatelnosti svázaný s polohou montovaných součástí před jejich spojením nemá při ní praktický význam.

Jinak je tomu u automatické montáže, kdy omezená adaptabilita automatu vyžaduje vyšší přesnost vzájemné polohy součástí před jejich spojením.

Přitom jak zvýšení adaptability, tak přesnosti polohy montovaných součástí vůči sobě představuje technickoeconomický problém. Jeho optimální řešení

vyžaduje stanovení přesnosti polohy součástí, která je pro dané podmínky montáže reálná. Z takto stanovené přesnosti je třeba pak vycházet při formulaci požadavků na technické zajištění operace automatické montáže.

3. VZÁJEMNÁ ORIENTACE MONTOVANÝCH SOUČÁSTÍ

Automatické spojení součástí S_1 a S_2 v montážní jednotku $S_{1,2}$ je podmíněno především přesností jejich vzájemné orientace na montážní pozici. Samo spojení součástí, v případě vyřešení vzájemné orientace, nepředstavuje technicky tak náročný problém.

Přesnost vzájemné orientace je definována jako velikost vzájemné úchytky odpovídajících si (sdružených) charakteristických geometrických prvků montovaných ploch obou součástí. Vzájemná úchytky je obecně prostorová, daná vektorem vzájemného posunutí $\vec{\xi}$ (ξ_x, ξ_y, ξ_z) a natočení $\vec{\eta}$ (η_x, η_y, η_z). Pro jednoduchost předpokládáme, že jedna ze součástí, např. S_1 , je nepohyblivá (základní) a přiřazujeme jí souřadný systém. Pak ξ_x, ξ_y, ξ_z resp. η_x, η_y, η_z jsou složky celkového posunutí součásti S_2 vůči S_1 ve směru souřadných os x, y a z , resp. jejího natočení kolem těchto os.

Na obr. 2 je pro ilustraci znázorněna obecná struktura montážní pozice automatu odpovídající jejímu vyznačení ve schématu na obr. 1. Součásti S_1 a S_2 jsou ustaveny v montážních přípravcích P_1 a P_2 uchycených svými základnami na základnách Z_1 a Z_2 podavačů, které jsou vzájemně propojeny přes fixátory F_1 a F_2 vazbou (rámem) V . Přípravek P_1 základní součásti S_1 označíme jako montážní, zatímco přípravek P_2 podávající součásti S_2 jako podávací (hlavici).

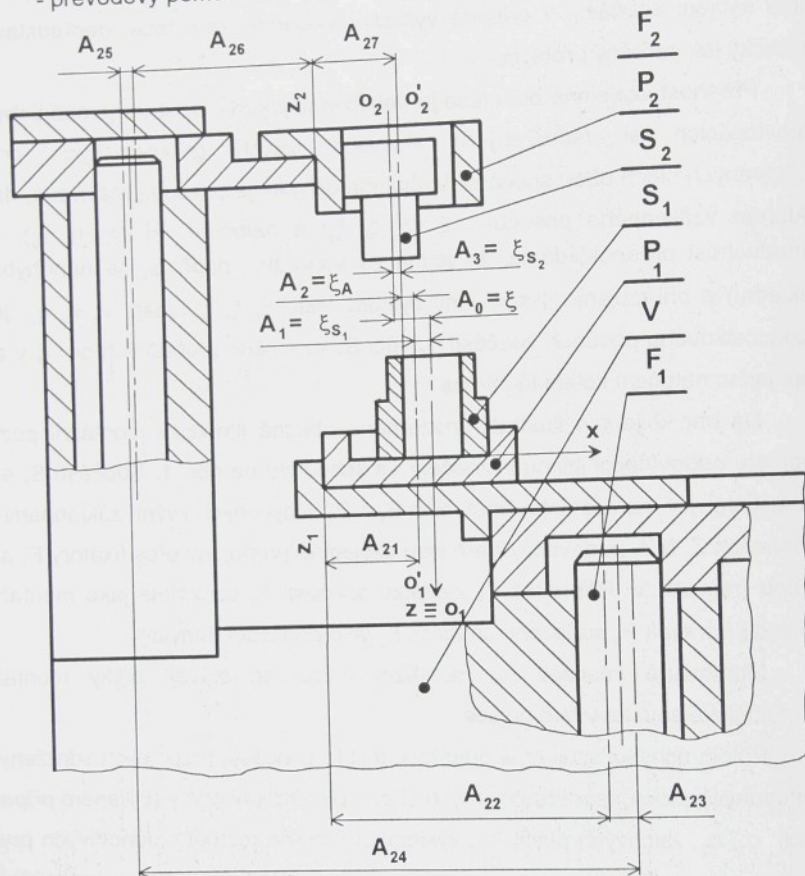
Montované součásti na montážní pozici se stávají prvky montážní technologické soustavy této pozice.

Potom úchytky vzájemné orientace těchto součástí, resp. jejich sdružených montovaných ploch, reprezentovaných charakteristickými prvky (v daném případě osami o_1, o_2 válcových ploch) je výslednicí úchylek rozměrů jednotlivých prvků této soustavy. Protože tyto rozměry jsou sestavnými členy montážního rozměrového řetězce, je úchytky vzájemné orientace jeho členem uzavírajícím. Spojením součástí S_1 a S_2 dochází k eliminaci této úchytky, a tím k uzavření celé soustavy.

Úchytky vzájemné orientace lze pak stanovit pomocí metodiky řešení rozměrových řetězců z rovnice řetězce

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i A_i, \text{ kde značí}$$

- A_0 - uzavírající (výchozí) člen řetězce A o $n + 1$ členech,
 A_i - i-tý sestavný člen řetězce A,
 ε_i - převodový poměr i-tého sestavného členu.



obr. 2

Převodový poměr může mít různý obsah a hodnotu. Např. u lineárních řetězců s paralelními členy je $\varepsilon_i = 1$ u zvětšujících členů a $\varepsilon_i = -1$ u zmenšujících členů. U členů natočených vůči souřadným osám jsou převodové poměry dány goniometrickými funkcemi, pomocí kterých se získávají průměty sestavných členů do příslušných os. Takže ε_i se určuje podle druhu řešené úlohy a zvláštností

rozměrového řetězce a jeho sestavných členů. Zvětšujícím (zmenšujícím) členem řetězce je ten, jehož zvětšení má za následek zvětšení (zmenšení) členu uzavírajícího a jeho převodový poměr má hodnotu kladnou (zápornou).

Člen A_0 nazýváme uzavírajícím v případě, že jej určujeme ze známých členů A_i (tzv. kontrolní výpočet řetězce), naopak je výchozím v případě, že je zadán a určujeme z něj členy A_i (tzv. projekční výpočet).

Je zřejmé, že projekční výpočet není jednoznačný a vyžaduje užití dalších omezujících podmínek umožňujících řešení, které se co nejvíce blíží optimálnímu.

Členy řetězce A figurující v rovnici, jsou náhodné veličiny a jako s takovými je třeba s nimi počítat.

Hodnota členu A je jeho hodnota skutečná, o které se lze přesvědčit, do určité míry, jen je-li realizován. V projekční praxi tato hodnota není známa, a proto se udává v určitém rozsahu $\langle A_{\min}; A_{\max} \rangle$ od minimální do maximální v následující struktuře:

$$A_{\min} = N_A + \Delta_{A\min} ; \quad \Delta_{A\min} = N_A + \Delta_{Astf} - ,$$

$$A_{\max} = N_A + \Delta_{A\max} ; \quad \Delta_{A\max} = N_A + \Delta_{Astf} + , \text{ kde}$$

$$\Delta_{Astf} = \frac{\Delta_{A\min} + \Delta_{A\max}}{2} ; \quad \delta_A = \Delta_{A\max} - \Delta_{A\min} .$$

V těchto vztazích značí:

N_A - jmenovitou hodnotu členu A

$\Delta_{A\min}$ - dolní mezní úchylku hodnoty členu A od jmenovité hodnoty N_A ,

$\Delta_{A\max}$ - horní mezní úchylku hodnoty členu A od jmenovité hodnoty N_A ,

Δ_{Astf} - střední úchylku hodnoty členu A od jmenovité hodnoty N_A (souřadnice středu tolerančního pole),

δ_A - šířku tolerančního pole.

Všechny tyto veličiny jsou pak označovány podle své příslušnosti k určitému členu jeho pořadovým indexem v řetězci, tj. 0 resp. $i = 1, 2, \dots n$.

V souladu s tím se pak řešení řetězce provádí tak, že se nejprve určují jmenovité hodnoty z rovnice řetězce jmenovitých hodnot:

$$N_0 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i N_i \quad (2)$$

a následně se určují mezní úchytky z rovnic řetězců úchylek metodou maxima - minima nebo pravděpodobnostní.

3.1 Řešení montážního rozměrového řetězce metodou maxima - minima

Při tomto způsobu se počítá s mezními úchytkami členů, jejichž meze jsou dány jejich předepsanými tolerancemi, symetricky rozloženými kolem jejich středních úchylek (viz obr. 3).

Mezní úchytky se pak určují z rovnic:

$$\Delta_{0 \max} = \sum_{(+)} |\varepsilon_i| \Delta_{i \max} - \sum_{(-)} |\varepsilon_i| \Delta_{i \min} \quad , \quad (3)$$

$$\Delta_{0 \min} = \sum_{(+)} |\varepsilon_i| \Delta_{i \min} - \sum_{(-)} |\varepsilon_i| \Delta_{i \max} \quad , \quad (4)$$

kde $\Delta_{0 \max}$ ($\Delta_{0 \min}$) je horní (dolní) mezní úchytky uzavírajícího členu A_0 . První člen na pravé straně první (druhé) rovnice představuje součet horních (dolních) mezních úchylek zvětšujících členů řetězce a druhý člen součet dolních (horních) mezních úchylek zmenšujících sestavných členů řetězce A.

3.2 Řešení montážního rozměrového řetězce metodou pravděpodobnostní

Při tomto způsobu se počítá s mezními úchytkami členů, jejichž meze jsou dány rozptýly jejich rozdělení, symetricky rozloženými kolem jejich středních hodnot (viz obr. 3). Tyto dva parametry dostatečně charakterizují rozdělení členů pro praktické výpočty rozměrových řetězců.

Z praktických důvodů je vyjadřujeme pomocí tolerance δ členů, předepsané v konstrukční dokumentaci a koeficientů relativní asymetrie α a relativního rozptýlu λ jejich rozdělení. Tyto koeficienty jsou tabelovány v závislosti na konstrukčním charakteru, technologické metodě realizace a přesnosti daného

členu. Střední hodnota rozdělení daného členu je pak dána výrazem $\Delta_{str} + \alpha\delta/2$ a rozptyl je vyjádřen variačním rozpětím $\lambda\delta$.

Rozpětí se z praktických důvodů obvykle volí v celých násobcích střední kvadratické odchylky předpokládaného normálního rozdělení, tj. $\lambda\delta = u\sigma$. Hodnota u představuje riziko vybočení hodnoty členu z tolerance. Běžně se volí $u = 6$.

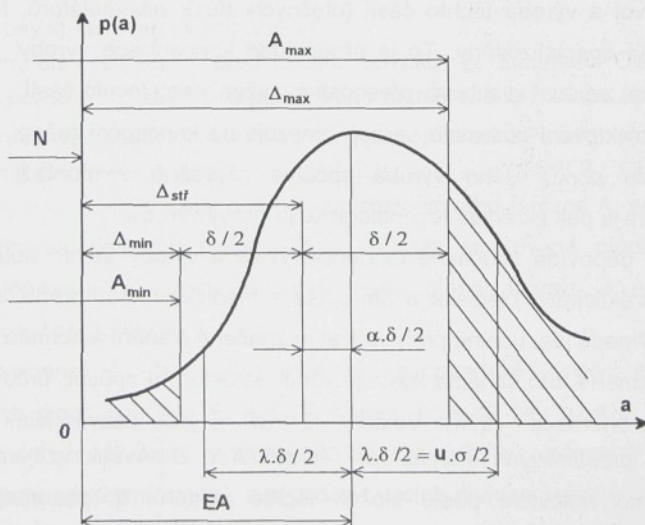
Mezní úchytky se pak určují z rovnic řetězce, jejichž platnost je dána známou skutečností z počtu pravděpodobnosti, že totiž střední hodnota resp. rozptyl součtu náhodných veličin je rovna součtu středních hodnot resp. rozptylů těchto veličin, tj.

$$\Delta_{0str} + \frac{\alpha_0\delta_0}{2} = \sum_i \varepsilon_i \left(\Delta_{istr} + \frac{\alpha_i\delta_i}{2} \right) \quad a \quad (5)$$

$$\lambda_0^2\delta_0^2 = \sum_i \varepsilon_i^2 \lambda_i^2\delta_i^2 \quad (6)$$

$$\text{potom} \quad \Delta_{0max,min} = \Delta_{0str} \pm \frac{\delta_0}{2} \quad (7)$$

Souvislost mezi předepsanými, tj. výkresovými údaji členu rozměrového řetězce a charakteristikami jeho rozdělení je zřejmá z obr. 3, na kterém je znázorněna



obr. 3

hustota rozdělení $p(a)$ členu řetězce A v závislosti na hodnotách $a_1, a_2, \dots$, kterých jako náhodná veličina může nabývat, Ea je hodnota střední.

3.3 Struktura montážního rozměrového řetězce

Způsobem naznačeným v části 3.1 nebo 3.2 lze zjistit velikost úchytky vzájemné orientace, ale také jejich složek podle místa jejich původu, jak naznačeno na obr. 2.

Montážní rozměrový řetězec přísluší montážní technologické soustavě. Ta se skládá z prvků rozměrově variabilních, tj. montovaných součástí S_1 a S_2 , které se mění s každým montážním cyklem, a prvků konstantních, tj. funkčních částí automatu, které prakticky bez rozměrových změn vstupují opakovaně do každého montážního cyklu.

Toto rozčlenění má význam pro zmíněnou lokalizaci složek úchytky vzájemné orientace, která umožňuje určit podíl jednotlivých prvků montážní technologické soustavy na této úchytky.

Toho se pak využívá při volbě efektivní kompensace této úchytky a při určování přesnosti funkčních částí automatu tak, aby byla optimální z hlediska jejich funkce a výroby.

Vývoj a výroba těchto částí (otočných stolů, manipulátorů, fixátorů atd.) mohou být specializovány. To je předpoklad koncentrace výroby, normalizace konstrukce, zvýšení kvality vč. přesnosti a snížení ceny těchto částí.

Projektování automatu se pak omezuje na koncepční řešení a konstrukci speciálních prvků. Jeho výroba spočívá převážně v montáži a seřízení. Důsledkem je pak zkrácení technologické přípravy výroby.

To odpovídá současné tendenci vývoje a výroby těchto automatů. Není proto z praktického hlediska a tím spíše z hlediska metodického, o které nám v tomto případě jde, účelné prohlubovat naznačené členění automatu.

Nicméně toto schéma ilustruje vznik, strukturu a způsob určování úchytky vzájemné orientace $(\vec{\xi}, \vec{\eta})$. Vektory $\vec{\xi}$ a $\vec{\eta}$ jsou uzavírajícími členy dvou hlavních, prostorových montážních řetězců A a B . Avšak vzájemnou polohu posuzujeme zpravidla podle složek těchto vektorů, tj. posunutí ve směru jednotlivých souřadných os, resp. pootočení kolem nich. Také metodika řešení

rozměrových řetězců převádí řešení prostorových řetězců na řešení složkových lineárních a úhlových řetězců.

Proto určujeme zpravidla jednotlivé složky vektorů $\vec{\xi}$ a $\vec{\eta}$, tj. uzavírající členy složkových řetězců A_x , A_y , A_z , B_x , B_y a B_z :

$$\xi_x = A_{x0} = \sum_i \varepsilon_{Axi} A_{xi}; \quad \xi_y = A_{y0} = \sum_i \varepsilon_{Ayi} A_{yi}; \quad \xi_z = A_{z0} = \sum_i \varepsilon_{Azi} A_{zi};$$

$$\eta_x = B_{x0} = \sum_i \varepsilon_{Bxi} B_{xi}; \quad \eta_y = B_{y0} = \sum_i \varepsilon_{Byi} B_{yi}; \quad \eta_z = B_{z0} = \sum_i \varepsilon_{Bzi} B_{zi}.$$

Pro názornost, bez újmy na obecnosti, je další postup určování složek $\vec{\xi}$ a $\vec{\eta}$ uveden jen pro složku ξ_x , tj. řešení řetězce A_x (viz obr. 2). Přitom je upuštěno od indexu x. Ostatní složky se určují analogicky.

V daném případě je úchylka vzájemné orientace dána rovnicí hlavního montážního rozměrového řetězce A celé montážní technologické soustavy:

$$\xi = A_0 = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_i A_i, \text{ kde značí}$$

A_1 - sestavný člen řetězce A, představující úchylku ξ_{S_1} součásti S_1 . Obecně je to uzavírající člen A_{10} závislého detailního rozměrového řetězce A_1 součásti S_1 , mezi charakteristickým prvkem (osou o_1) její montované plochy a jeho technologickou základnou, na ustavovací ploše, kterou je součást S_1 (ve směru osy x) ustavena v přípravku P_1 .

A_2 - sestavný člen řetězce A, představující úchylku ξ_A automatu. Obecně je to uzavírající člen A_{20} závislého montážního rozměrového řetězce A_2 automatu, mezi ustavovacími prvky (osami o_1 a o_2) jeho přípravků P_1 a P_2 .

A_3 - sestavný člen řetězce A, představující úchylku ξ_{S_2} součásti S_2 . Obecně je to uzavírající člen A_{30} závislého detailního rozměrového řetězce A_3 součásti S_2 , mezi charakteristickým prvkem (osou o_2) její montované plochy a jeho technologickou základnou, na ustavovací ploše, kterou je součást S_2 ustavena v přípravku P_2 .

Poznamenejme, že charakteristické geometrické prvky sdružených montovaných ploch součástí S_1 a S_2 , v daném případě osy o_1 a o_2 válcových ploch, jsou sdružené. Jejich vyosení představuje úchylku vzájemné orientace. Stejně tak jsou sdružené osy o'_1 a o'_2 ustavovacích prvků a jejich vyosení představuje úchylku automatu. Z řetězce A lze stanovit způsobem naznačeným v části

3.1, resp. 3.2 úchylku vzájemné orientace ξ , resp. její konstantní složku ξ_A a variabilní $\xi_S = \xi_S(\xi_{S1}, \xi_{S1})$.

Analogicky se určují členy A_{ij} závislých řetězců A_i z jejich rovnic:

$$A_{i0} = \sum_j \varepsilon_{ij} A_{ij}, \quad \text{kde značí}$$

j - pořadový index sestavného členu v i -tém závislém rozměrovém řetězci.

Např. pro montážní rozměrový řetězec automatu vyznačený na obr. 2 má rovnici

$$\xi_A = A_{20} = \sum_{j=1}^7 \varepsilon_{2j} A_{2j}.$$

V tomto závislém (díličím) montážním řetězci značí:

A_{21} - sestavný člen řetězce A_2 představující uzavírající člen závislého rozměrového řetězce přípravku P_1 mezi jeho ustavovacím prvkem (o_1) pro ustavení součásti S_1 a jeho základnou pro jeho ustavení na základně Z_1 podavače. Úchylka tohoto členu je úchylkou ξ_{P_1} celého přípravku P_1 .

A_{22} - sestavný člen řetězce A_2 představující uzavírající člen závislého rozměrového řetězce podavače mezi jeho základnou Z_1 pro ustavení přípravku P_1 a fixátorem. Jeho úchylka je úchylkou ξ_{Z_1} polohy základny Z_1 automatu.

A_{23} - sestavný člen řetězce A_2 představující uzavírající člen závislého rozměrového řetězce fixátoru. Jeho úchylka je úchylkou fixace ξ_{F_1} .

A_{24} - sestavný člen řetězce A_2 představující uzavírající člen závislého rozměrového řetězce rámu mezi fixátory F_1 a F_2 . Jeho úchylku označujeme jako úchylku vazby ξ_V .

Význam členů A_{25} , A_{26} a A_{27} je analogický významu členů A_{23} , A_{22} a A_{21} .

Z řetězce A_2 lze tedy stanovit úchylku automatu ξ_A resp. její složky připadající na jednotlivé funkční části automatu v členění:

$$\xi_A = \xi_A(\xi_{P_1}, \xi_{Z_1}, \xi_{F_1}, \xi_V, \xi_{F_2}, \xi_{Z_2}, \xi_{P_2}).$$

Úchylka vzájemné orientace je pak

$$\xi = \xi(\xi_A, \xi_S),$$

obecně v prostoru

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta}) = f \left[(\vec{\xi}, \vec{\eta})_S, (\vec{\xi}, \vec{\eta})_A \right].$$

4. UKAZATEL TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE MONTÁŽNÍ JEDNOTKY

V části 2 byla vysvětlena podstata procesu automatické montáže s tím, že vlastní spojení je podmíněno přesností vzájemné orientace. Oba tyto dílčí procesy se uskutečňují v montážní technologické soustavě ukázané v části 3, jejíž přesnost determinuje přesnost vzájemné orientace sdružených ploch montovaných součástí na pozici montáže vyjádřenou úchylnou vzájemné orientace.

Jak bylo v části 3 (pouze v ose x) ukázáno, ideální poloha součástí je definována nulovou úchylnou vzájemné orientace. V takovém případě jsou také ideální podmínky pro spojení montovaných součástí. Nicméně spojení lze uskutečnit i v případě, kdy tato úchylna není nulová, nesmí však překročit určitou dovolenou hodnotu, tzn.

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta}) \leq (\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov.}}$$

Tento vztah je symbolickým vyjádřením tzv. podmínky smontovatelnosti v obecném tvaru. Jak bylo uvedeno v části 3, úchylna vzájemné orientace je funkcí úchylny automatu a montážní jednotky :

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta}) = f[(\vec{\xi}, \vec{\eta})_A, (\vec{\xi}, \vec{\eta})_S].$$

Dovolená hodnota úchylny vzájemné orientace je funkcí vůle $V(W)$ v uložení (mezi sdruženými plochami) montovaných součástí :

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}} = f_v(V, W).$$

Potom

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta})_A \leq f_A[(\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}}, (\vec{\xi}, \vec{\eta})_S] = (\vec{\xi}, \vec{\eta})_{A \text{ dov}},$$

tj. úchylna automatu nesmí překročit jistou hodnotu závislou na konstrukčních parametrech montážní jednotky, resp. jejích částí. Tato hodnota představuje dovolenou úchylnu automatu, tj. jeho přesnost potřebnou pro montáž posuzované montážní jednotky. Je zřejmé, že tato úchylna je kvantitativním vyjádřením technologičnosti konstrukce dané montážní jednotky tak, jak byla definována v části 1 a současně limituje primárně přesnost projektovaného automatu, tzn. že tvoří kromě jiného zadání pro konstrukci speciálního (tvrdého) automatu, nebo volbu universálního (pružného) automatu.

5

V dalších částech bude proto ukázán způsob určování úchyly $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}}$, coby ukazatele zmíněné technologičnosti konstrukce montážní jednotky, resp. jeho složek a to $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_s$ v části 5 a $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}}$ v části 6 a 7 pro typové tvary montovaných ploch.

Takto určená hodnota ukazatele technologičnosti konstrukce posuzované montážní jednotky má požadovanou vypovídací schopnost zejména jako relativní ve vztahu k určité kriteriální hodnotě. To vyplývá z pojmu technologičnosti konstrukce jako takové.

Současné však existují určité, z technickoeconomického hlediska pro praxi přijatelné, limity přesnosti těchto automatů, které lze použít jako kritérium při posuzování technologičnosti dané montážní jednotky.

Tak např. je známo, že přesnost polohování výstupních prvků montážních manipulátorů a robotů se pohybuje v rozsahu $\pm(0,10 \div 0,05)$ mm, resp. $\pm(5 \div 4)^\circ$.

U jednoúčelových automatů lze počítat s polohováním zhruba o řád přesnějším.

Přitom je třeba mít na zřeteli, že dovolená hodnota úchyly vzájemné orientace montovaných součástí je ve většině případů malá, takže ji nelze při tuhém ustavení součástí na montážní pozici dodržet.

Pak je třeba zajistit kompensaci vzájemné úchyly přidavným pohybem, alespoň jedné z montovaných součástí v rovině kolmé na směr montážního pohybu. Přitom požadavky na tento pohyb se mohou v jednotlivých souřadných směrech lišit podle konstrukce montážní jednotky, tj. velikosti složek dovolené úchyly vzájemné orientace v těchto směrech.

Uvedená kompensace vzájemné úchyly se pak zajišťuje snížením tuhosti montážní technologické soustavy a jmenovitě automatu v příslušné souřadné ose. Toho se docílí určitým kompenzačním prvkem a současně případnou konstrukční úpravou montovaných ploch (pasivní adaptabilita) nebo speciálním mechanismem vzájemné orientace (aktivní adaptabilita).

Zajištění kompensace, stejně jako určování a ovlivňování velikosti úchyly automatu a jejich složek patří však do oblasti konstrukce automatu.

5. ÚCHYLKA MONTÁŽNÍ JEDNOTKY

Úchylkou montážní jednotky $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_s$ dle předchozího je složka úchylky vzájemné orientace, která vzniká v důsledku úchylek rozměrů montovaných součástí, které jsou členy montážního rozměrového řetězce. Určí se tedy jako uzavírající člen řetězce úchylek obou součástí, za předpokladu, že $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_A = 0$.

Dále předpokládáme, že úchylky zmíněných rozměrů součástí představují výrobní chyby předchozích operací (obrábění, tváření apod.) na součástech. Úchylky rozměrů součástí na pozici montáže mohou mít i jinou příčinu, především v deformaci součástí silovým či tepelným působením. Avšak úchylky rozměrů takto vzniklé nejsou v praxi běžné, protože upínací síly montážních přípravků jsou relativně malé a teploty, s výjimkou tepelné montáže, rovněž.

Potom úchylky obou součástí jsou redukovány na úchylky ustavení obou součástí. Způsob jejich určení je obecně stejný a vyplývá z jejich definice, podle níž jsou uzavírajícími členy rozměrových řetězců součástí S_1 a S_2 mezi jejich montovanými plochami a jím příslušnými montážními základnami.

Poloha montované plochy bývá reprezentována polohou svých charakteristických geometrických prvků v průmětu do roviny xy kolmé na hlavní montážní pohyb. Těmito prvky zpravidla bývají střed průmětu montované plochy či jeho části, případně některé body jeho obvodu.

Montážní základna je pojímána ve smyslu obecného pojmu základna, který představuje soubor geometrických prvků (bodů, čar, ploch) výrobku, ke kterému je vztahována poloha jiného souboru geometrických prvků tohoto výrobku. Jde tedy o určitý souřadný systém výrobku. Podle určovaného souboru jsou pak základny označovány. Prioritní jsou základny konstrukční, určující polohu funkčních prvků výrobku. Technologické základny určují polohu prvků, které jsou předmětem technologického působení. V daném případě základna montážní určuje polohu montované plochy, resp. jejích charakteristických prvků (vůči sobě a přes technologickou soustavu vůči sdružené ploše, resp. jejím charakteristickým bodům).

Aby byla úchylka $(\vec{\xi}, \vec{\eta})_s$ minimální, je třeba minimalizovat příslušné rozměrové řetězce (A_1 a A_3 na obr. 2) součástí S_1 a S_2 .

Z toho důvodu je žádoucí, aby montážní základna byla shodná s konstrukční základnou montované plochy, resp. jejího charakteristického prvku. V případě, že je s tímto prvkem shodná, dojde k úplné eliminaci této úchytky.

Je zřejmé, že uvedenému požadavku nelze vždy dostát, protože volba základny je podmíněna nejen konfigurací dané součásti, ale i součásti sdružené a kinematikou procesu jejich spojování a také možnostmi konstrukčního řešení příslušných montážních přípravků.

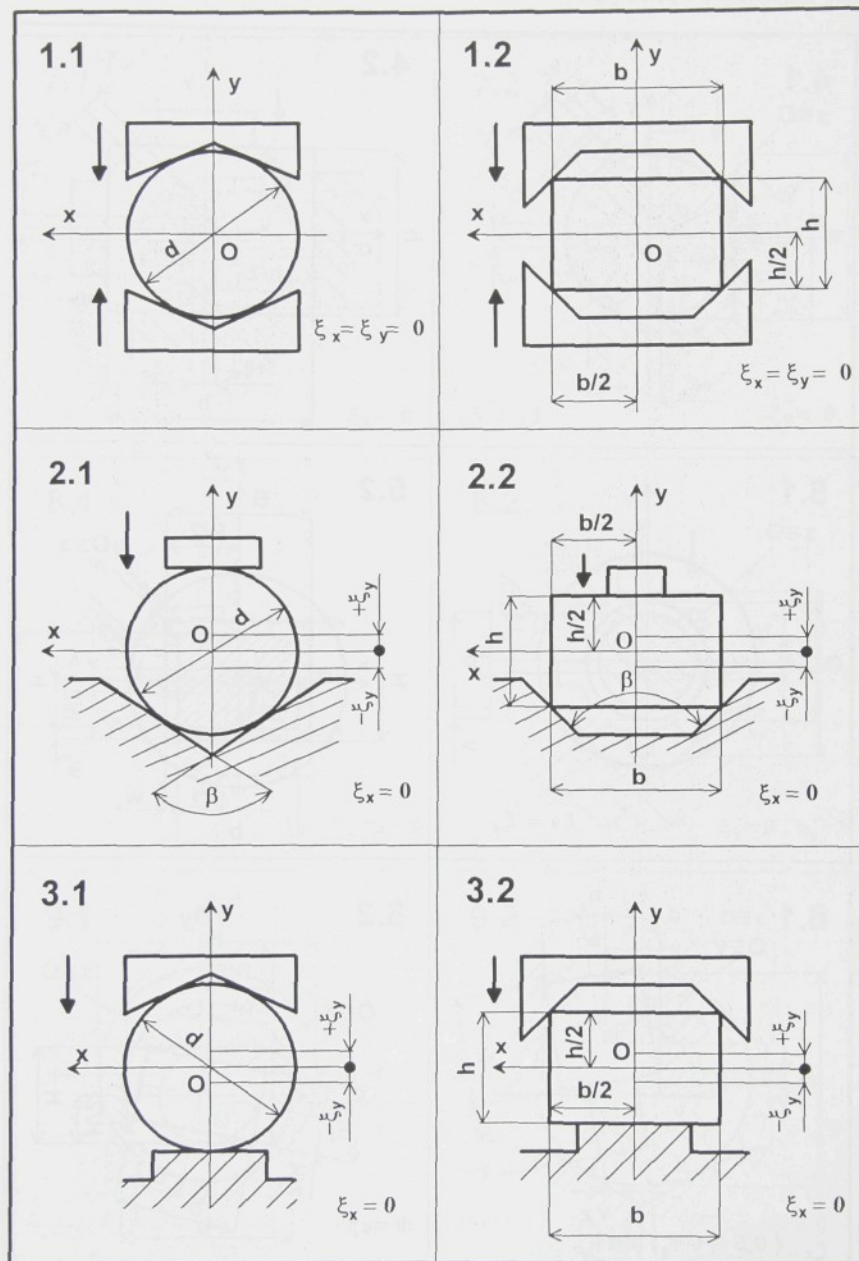
Na montážní pozici bývá každá z dvojice montovaných součástí obvykle ustavena jiným způsobem. Volba způsobu ustavení má na velikost úchytky ξ_s podstatný vliv.

Způsoby ustavení součástí jsou dostatečně známy z projektování procesů obrábění součástí. Některé z nich, charakteristické pro montáž jsou schematicky znázorněny v tabulce 1.

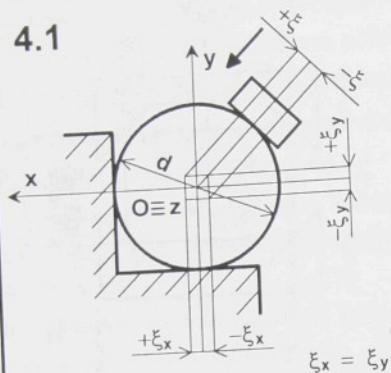
Uvedená schémata představují varianty nejjednodušších, ale také nejčastěji se vyskytujících případů ustavení montovaných součástí, kdy montážní základnou resp. ustavovací plochou je plocha montovaná. Ta se pak ve schématech vyskytuje v typových, tj. nejčastěji se v praxi vyskytujících tvarech (válcový, prizmatický a kombinovaný). Úchytky vyznačené ve schématech jdou označeny pro jednoduchost symbolem složky celkové úchytky vzájemné orientace, k níž přísluší bez indexu označujícího, že jde o úchytku součásti.

Schémat č. 1.1 - 7.1 znázorňují ustavení na válcovou plochu a to s výjimkou schématu č. 5.1 vnější. Schémata č. 1.2 - 7.2 znázorňují analogická ustavení na prizmatickou plochu vnější s výjimkou schématu č. 5.2, kde ustavovací plocha je vnitřní. Z nich pak schémata č. 1.1 - 4.1, resp. 1.2 - 4.2 představují ustavení s vymezením vůle a v případě ustavení dle schématu č. 2.1 a 3.1, resp. 2.2 a 3.2 se zachováním jedné a v případě ustavení dle schémat 1.1 resp. 1.2 dvou os symetrie. Schémata č. 5.1 a 6.1 resp. 5.2 a 6.2 představují ustavení s vůlí na vnitřní válcovou, resp. prizmatickou plochu, kdy ustavovacím prvkem je válcový, resp. prizmatický trn. V případě, že takový ustavovací prvek je kuželový či rozpínací, tj. $d > D$, resp. $h(b) > H(B)$ je toto ustavení analogické ustavení dle schématu 1.1, resp. 1.2. Principiálně stejné je pak ustavení s vůlí na vnější válcovou, resp. prizmatickou plochu, kdy ustavovacím prvkem je odpovídající pouzdro. Schémata č. 5.1 a 6.1 znázorňují jediné ustavení s tím, že schéma č. 6.1

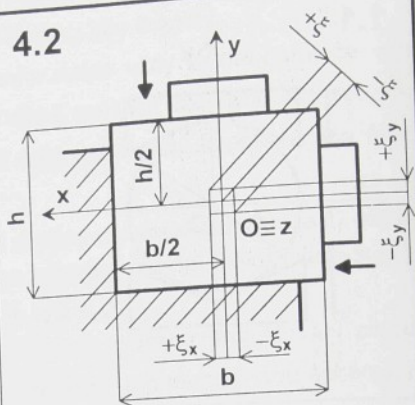
Tabulka 1



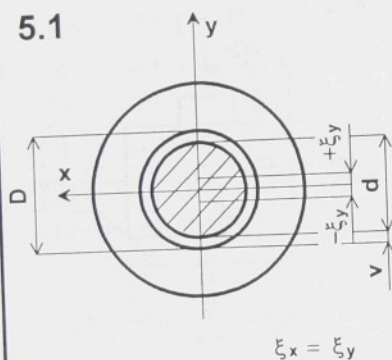
4.1



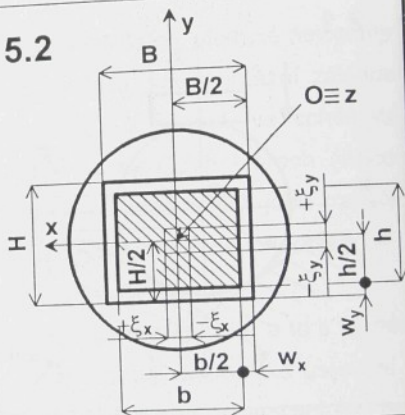
4.2



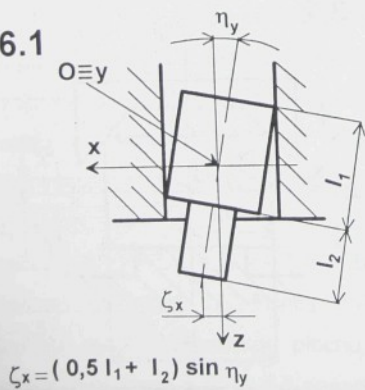
5.1



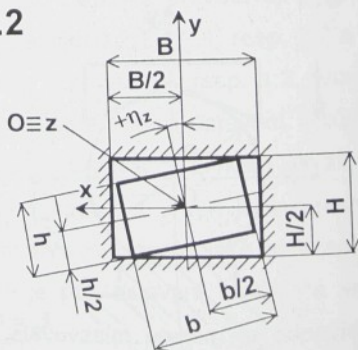
5.2



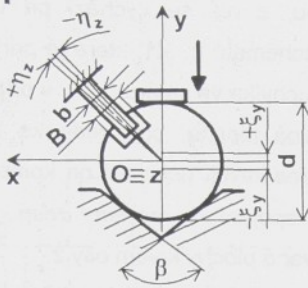
6.1



6.2

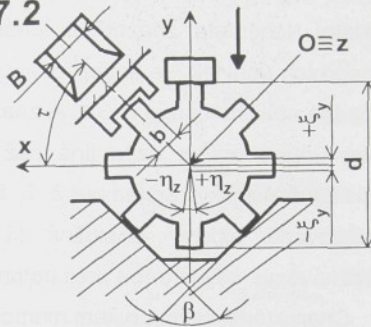


7.1



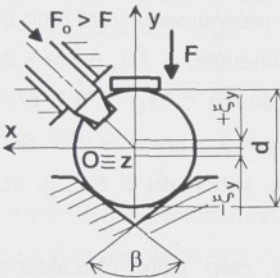
$$\xi_x = 0$$

7.2



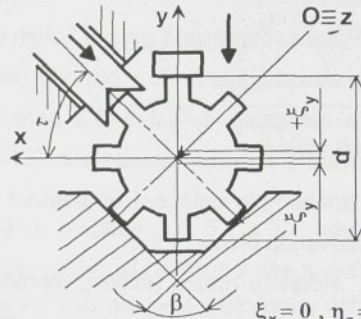
$$\xi_x = 0$$

8.1



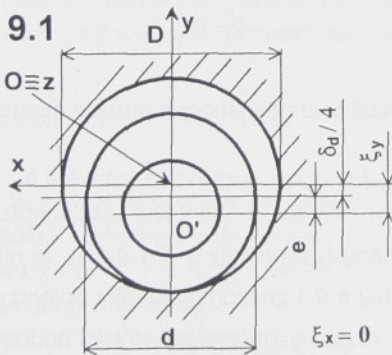
$$\xi_x = 0, \eta_z = 0$$

8.2



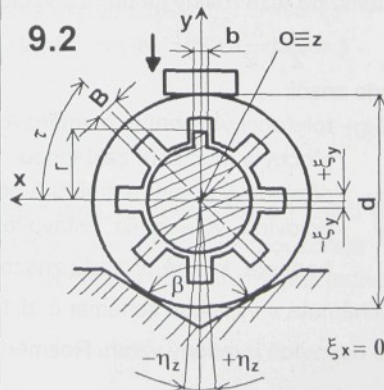
$$\xi_x = 0, \eta_z = 0$$

9.1



$$\xi_x = 0$$

9.2



$$\xi_x = 0$$

znázorňuje úhlovou úchylku odpovídající náklonu součásti kolem osy y. Podobně schémata č. 5.2 a 6.2 znázorňují stejné ustavení s tím, že schéma č. 6.2 znázorňuje úhlovou úchylku odpovídající natočení součásti kolem osy z. Všechna ostatní schémata znázorňují ideální polohu, z níž se vychází při určování lineárních úchylek, ve směru osy x a y. Na schématu č. 9.1, které je principiálně shodné se schématem č. 5.1, je znázorněna úchylka ve směru osy y v případě, že jako ustavovací je užitá jiná než montovaná plocha, což vede ke zvětšení příslušné úchylky. Schémata č. 7, 8 a 9.2 představují ustavení na kombinované montované plochy, příslušné klínovému spojení s perem, resp. spojení drážkovému, kdy je třeba určit polohu montované plochy kolem osy z.

Charakteristickým prvkem montované plochy, který určuje její polohu vzhledem k osám x a y, je jako v předchozích případech střed (průmět osy z do roviny xy) válcové části průřezu. Tomu odpovídá i ustavení, které je stejné jako v případě schématu č. 2.1.

Poloha montované plochy kolem osy z je pak určena osou tvarového prvku na jejím obvodu, kterým je v případě ustavení dle schématu č. 7.1, 8.1 a 9.2 drážka a dle schématu č. 7.2 a 8.2 pero. Přitom schémata č. 8.1 a 8.2 představují ustavení s vymezením vůle a č. 7.1 a 7.2 analogická ustavení s vůlí. Schéma č. 9.2 znázorňuje ustavení analogické ustavení dle schématu č. 5.2, tj. na vnitřní montovanou plochu s vůlí.

Hodnota mezní úchylky montované plochy, resp. jejího charakteristického prvku, kterým je průmět její osy o do roviny xy, od průmětu osy o' ustavovacího systému do téže roviny se určí ze vztahu:

$$\xi = \frac{\varepsilon_A}{2} \left(\frac{\delta_A}{2} + v \right), \quad (8)$$

kde značí:

δ_A - toleranci vazebního rozměru A mezi charakteristickým prvkem montované plochy a montážní základnou,

ε_A - převodový poměr rozměru A poplatný danému způsobu ustavení a

v - polovinu vůle mezi ustavovacím prvkem a montážní základnou. Její hodnota, kromě případů znázorněných schématy č. 5.1 a 5.2, je nulová.

Schémat s výjimkou schémat č. 6.1, 6.2 a 9.1 znázorňují ideální polohu, které také odpovídá uvedený vztah. Rozměr A v nich vyznačený má střední hodnotu:

$$A_{\text{stř}} = N_A + \Delta_{A\text{stř}},$$

na kterou je nastavená osa o' ustavovacího prvku příslušného přípravku.

Identifikace parametrů A a ε_A pro jednotlivá schémata je na tabulce č. 2.

Parametry příslušné ustavovacímu systému přípravku se považují za konstantní.

Tabulka 2

Schéma č.	ξ_x		ξ_y		Poznámka
	ε_A	A	ε_A	A	
1.1, 1.2	0	-	0	-	$\beta = \text{konst.}$
2.1, 7.1, 7.2, 8.1, 8.2, 9.2	0	-	$1/\sin(\beta/2)$	d	
3.1	0	-	1	d	
4.1	1	d	1	d	
5.1	1	D	1	D	$d = \text{konst.}$
2.2	0	-	$1/\tan(\beta/2)$	b	$\beta = \text{konst.}$
3.2	0	-	1	h	
4.2	1	b	1	h	
5.2	1	B	1	H	$w_x = w_y = v$ $b = \text{konst.}, h = \text{konst.}$

Při ustavení dle těchto schémat, s výjimkou schémat č. 5.1 a 5.2, kdy není vymezena vůle, lze pominout, zvláště u součástí s menší délkou l v ose z , úchyly η_x a η_y , protože se jedná o obrobky, kde se tyto náklony v důsledku úchylek tvaru (kuželovitosti apod.) montážní základny v mezích obalových ploch daných rozměrovými tolerancemi, projeví minimálně a to jako složky ξ_y , resp. ξ_x .

Při ustavení s vůlí se mezní hodnoty těchto úchylek určí ze vztahu:

$$\eta = \arcsin \frac{\delta_A + 2v}{l}, \quad \text{kde} \quad (9)$$

δ_A , v a návazně A mají stejný význam jako ve vztahu (8) a l značí délku montážní základny v dotyku s ustavovacím prvkem přípravku (pouzdem nebo trnem) v ose z . Převodový poměr $\varepsilon_A = 1$. Identifikace rozměru A pro jednotlivá schémata je na tabulce 3.

Tabulka 3.

Schéma č.	η_x	η_y	Poznámka
	A		
5.1	D	D	d = konst.
5.2	B	H	$w_x=w_y=v$ B=konst,H=konst

Úchylku η_z lze u válcových ploch a ostatních ploch v případě, že jsou ustaveny s vymezením vůle, s výjimkou ploch kombinovaných typu drážkového spojení (schéma č. 8.2) pominout.

Při ustavení dle schématu č. 8.2 je třeba vzít v úvahu vzájemná dílčí natočení jednotlivých charakteristických prvků na obvodu (v tomto případě per a drážek) průřezu montované plochy v důsledku úchylky úhlové rozteče τ mezi jejich osami, která se projeví u tohoto typu plochy také v případě ustavení s vůlí.

Při ustavení prizmatických (schéma č. 5.2-6.2) a kombinovaných (schéma č. 7.1, 7.2 a 9.2) montovaných ploch s vůlí se mezní hodnota této úchylky určí ze vztahu:

$$\eta_z = \arctg \frac{\delta_{A_1} + 2v}{A_2} + \frac{\delta_\tau}{2}, \quad \text{kde} \quad (10)$$

δ_τ - tolerance úhlové rozteče τ charakteristických prvků na obvodu průřezu.

Identifikace rozměrů A_1 a A_2 pro uvedená schémata je na tabulce 4.

Vzhledem k malým maximálním hodnotám úchylky η_z lze užít pro její určení s postačující přesností vztah:

$$\eta_z = \frac{\delta_{A_1} + 2v}{A_2}, \quad \text{kde} \quad (11)$$

pro případ č. 5.2, resp. 6.2 bude pro $b > h$ $A_1 = H$, resp h a $A_2 = b$.

Schém
6.2
5.2
7.1
7.2
9.2
8.2

maxir
určov
toler

Tabulka 4

Schéma č.	A_1	A_2	τ	Poznámka
6.2	h	$\sqrt{b^2 + h^2}$	0	$w_x = w_y = v, \delta_h < \delta_b$ $B = \text{konst}, H = \text{konst}$
5.2	H	$\sqrt{b^2 + h^2}$	0	$w_x = w_y = v, \delta_h < \delta_B$ $b = \text{konst}, h = \text{konst}$
7.1	B	d	0	$b = \text{konst}$
7.2	b	d	$\neq 0$	$B = \text{konst}$
9.2	B	$2r$	$\neq 0$	$b = \text{konst}$
8.2	-	-	$\neq 0$	

Vzorce (8) - (11) jsou představeny ve tvaru odpovídajícím aplikaci metody maxima-minima, tj. úchyly dle nich vypočtené budou maximální. V případě určování pravděpodobných úchylek ustavení je třeba v souladu s částí 3 namísto tolerancí aplikovat variační rozpětí.

6. PODMÍNKA SMONTOVATELNOSTI

Proces automatického spojení součástí závisí na přesnosti jejich vzájemné orientace. Protože tato přesnost nemůže být absolutní, je třeba vždy počítat s jistou úchylnou $(\vec{\xi}, \vec{\eta})$. Příčiny, způsob jejího vzniku a určení její hodnoty byly vysvětleny v částech 3-5.

Vzniká otázka stanovení podmínky, za níž lze uskutečnit montáž i při existenci zmíněné úchylny, tj. odvození konkrétní podoby vztahu

$$(\vec{\xi}, \vec{\eta}) \leq (\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}}$$

pro určení její dovolené hodnoty.

Tento vztah nazývaný podmínka smontovatelnosti je dále konkretizován pro typové tvary montovaných sdružených ploch a vůle v , resp. w , mezi nimi. Závislost maximální přípustné úchylny vzájemné orientace na vůli je zřejmá a lze ji vyjádřit funkcí postihující právě tvar ploch vytvářejících uložení, tj.

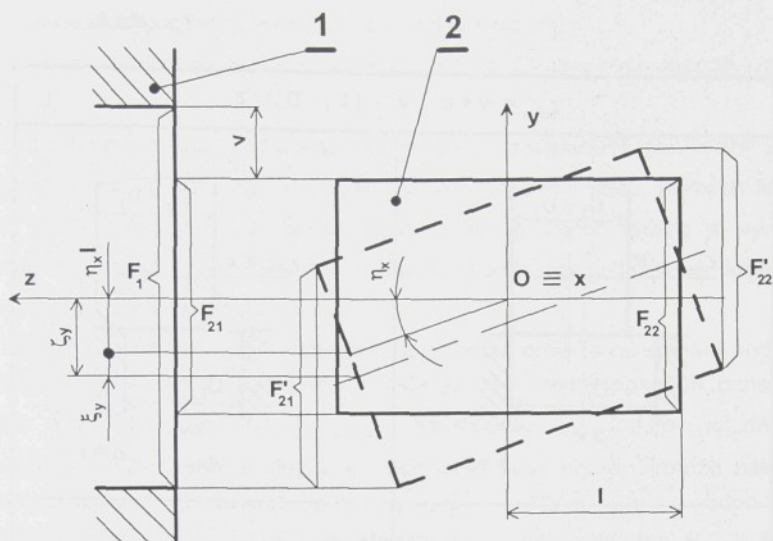
$$(\vec{\xi}, \vec{\eta})_{\text{dov}} = f(v, w)$$

Pro odvození konkrétní podoby tohoto vztahu předpokládáme (viz obr. 4), že jedna z montovaných součástí, např. 1 je základní a přiřadíme ji souřadný systém s počátkem v těžišti součásti 2 v ideální poloze a osou z ve směru hlavního montážního pohybu.

Součást 1 lze tak považovat za pevnou a 2 za pohyblivou. Odvození pak vychází z geometrické představy montáže, podle které spojení součástí 1 a 2 je možné při jakémkoli posuvu či natočení součásti 2 vůči součásti 1, jestliže průměty F'_{21} a F'_{22} základny F_{21} a F_{22} její montované plochy do roviny xy kolmé na směr hlavního montážního pohybu. nepřekročí průmět základny F_1 sdružené plochy součásti 1 do téže roviny, tj.

$$F'_{21} \subset F_1 \cap F'_{22} \subset F_1$$

F_{21} je základna bližší k součásti 1 a F_{22} vzdálenější. U součásti 1 $F'_{11} \equiv F_{11} \equiv F'_{21} \equiv F_1$ (viz obr. 4).



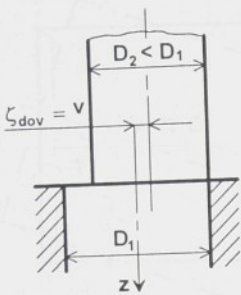
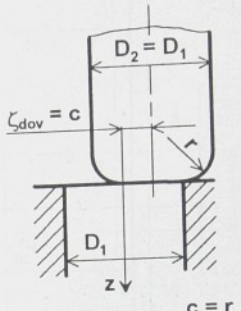
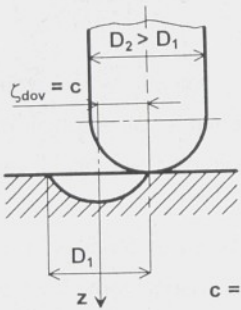
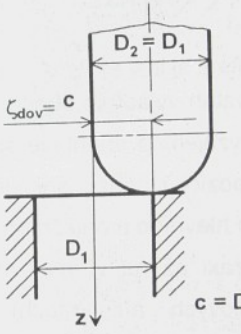
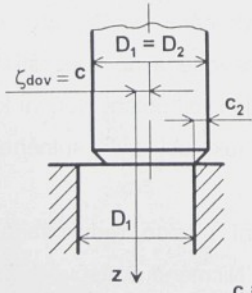
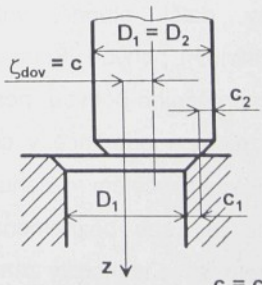
obr. 4

Tento vztah vyjadřuje obecně geometrickou podmínku smontovatelnosti, které odpovídá vzájemná orientace součástí s uložením s vůlí a tuhým ustavením na montážní pozici, s ponecháním jednoho stupně volnosti součásti 2 ve směru osy z k vykonání hlavního montážního pohybu.

V praxi až na výjimky (montáž jednotek se značnou vůlí v uložení na jednoplošových automatech) nelze takto přísně formulované podmínky smontovatelnosti vyhovět. Ukazuje se však, že pro úspěšnou montáž postačuje pouze splnění první části podmínky, tj. $F'_{21} \subset F_1$, jestliže jsou součásti 2 ponechány další stupně volnosti k vykonání vedlejších montážních (kompenzačních) pohybů. Součást 2 je pak navedena do součásti 1 a během hlavního montážního pohybu postupně koriguje svoji polohu vůči ní kompenzací úchytky vzájemné orientace v celé délce $2l$ tak, aby byla splněna podmínka smontovatelnosti v celém rozsahu.

Zde je třeba poznamenat, že splnění i takto redukované podmínky smontovatelnosti je technicky značně náročné. Nicméně skutečnost, že součást 2 může vykonávat kompenzační pohyb, připouští zvětšení dovolené úchytky vzájemné orientace na hodnotu překračující hodnotu vyplývající ze samotné vůle v (w) v uložení součástí 1 a 2. Tuto vůli lze totiž, za těchto okolností, fiktivně

Tabulka 5.

$\zeta_{\text{dov}} = v + c$, $v = (D_1 - D_2) / 2$	
 $c = 0$	 $c = r$
 $c = D_1 / 2$	 $c = D_2 / 2$
 $c = c_2$	 $c = c_1 + c_2$

rozšířit o hodnotu tzv. kompenzace c konstrukční úpravou náběhové hrany montované plochy alespoň jedné ze součástí (viz tab. 5).

Způsoby technické realizace kompenzačního pohybu byly obecně zmíněny v části 4.

Při odvozování podmínky smontovatelnosti pro konkrétní montované plochy dále předpokládáme, že tyto mají tvar kolmých rotačních válců, kolmých hranolů nebo jejich kombinací s podélnou osou v ose z. Jejich průřez je vymezen obvodovou křivkou k (kružnice, n-úhelník, kombinace úseček a kruhových oblouků o společném středu).

Kromě toho složku ξ_z považujeme za nulovou, protože na splnění podmínky smontovatelnosti nemá vliv. Proto nadále je jako vektor posunutí označován vektor $\vec{\xi}(\xi_x, \xi_y)$ a náklonu $\vec{\eta}(\eta_x, \eta_y)$. Se složkou η_z představující natočení součástí 2 kolem podélné osy z je operováno samostatně. Protože náklon $\vec{\eta}$ kolem počátku 0 je řádově malý ($\vec{\eta} \rightarrow 0$), je $\text{tg } \vec{\eta} \doteq \vec{\eta}$ a odpovídající oblouková přemístění $\pm l \cdot \vec{\eta}$ charakteristických bodů základen F_{21} a F_{22} lze považovat za lineární a složit je s jejich lineárním posuvem $\vec{\xi}$ v nový vektor posuvu:

$$\vec{\zeta}(\zeta_x, \zeta_y) = \vec{\xi} \pm l \vec{\eta}, \quad \text{kde}$$

$$\zeta_x = \xi_x \pm l \eta_y, \quad \zeta_y = \xi_y \pm l \eta_x, \quad \zeta = \sqrt{\zeta_x^2 + \zeta_y^2}$$

Hledanou podmínku smontovatelnosti lze pak symbolicky vyjádřit ve tvaru:

$$(\vec{\zeta}, \eta_z) \leq f(v, w).$$

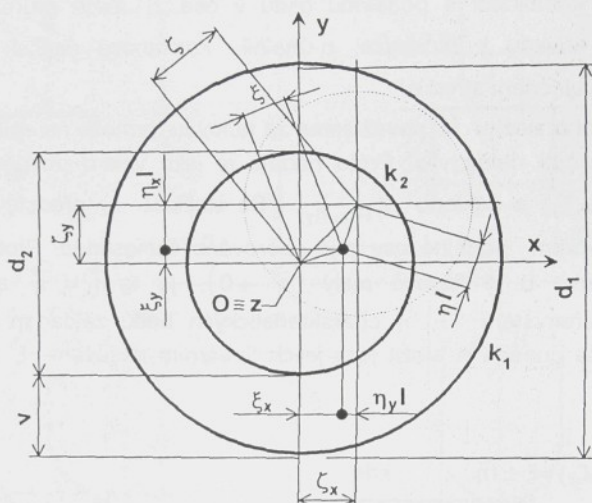
6.1 Podmínka smontovatelnosti válcových montovaných ploch

V tomto případě je obvodová křivka k sdružených montovaných ploch kružnice. Vůle mezi montovanými plochami $v = \text{konst.}$ Natočení součástí 2 kolem osy z nemá na smontovatelnost vliv a lze je tedy zanedbat ($\eta_z = 0$).

Podmínku smontovatelnosti lze odvodit přímo z obr. 5 znázorňujícího vzájemnou orientaci součástí 1 a 2 v rovině xy, jako

$$\zeta = |\vec{\zeta}| = |\vec{\xi} \pm l \vec{\eta}| \leq v, \quad \text{pro } F'_{21} \subset F_1 \cap F'_{22} \subset F_1 \quad (12)$$

Prakticky lze vystačit s první částí této podmínky, která předpokládá navedení součásti 2 základnou F_{21} , válce montované plochy, bližší k součásti 1



obr. 5

do součásti 2 a následující vyrovnávání (kompenzaci) její polohy, tj.

$$\zeta = |\vec{\xi} + l \vec{\eta}| \leq v, \quad \text{pro } F_{21} \subset F_1.$$

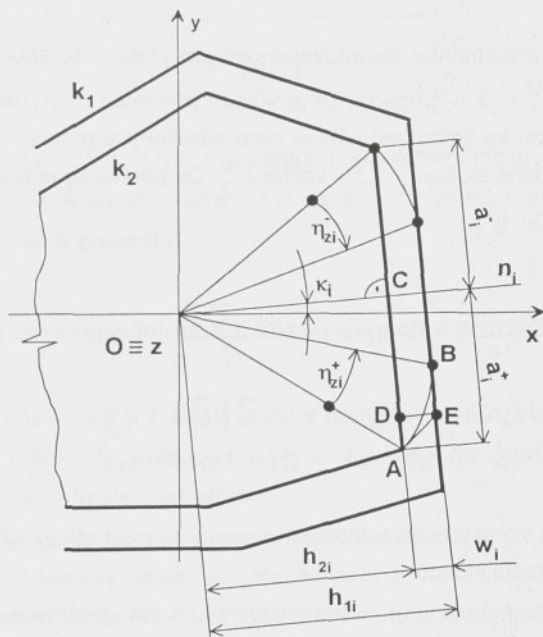
Tento předpoklad bude uplatněn i v případě dalších typových ploch. V případě konstrukční úpravy náběhových hran montovaných ploch o hodnotu kompenzace c bude ve vzorci místo v ule v figurovat hodnota $v+c$.

6.2 Podmínka smontovatelnosti prizmatických montovaných ploch

V tomto případě je obvodová křivka k průřezu sdružených montovaných ploch n -úhelník. Podmínku smontovatelnosti lze odvodit z obrázku 6,

Značení obrázku odpovídá značení obrázků 4 a 5 s tím, že vůle mezi i-tými rovinnými částmi ($i=1+n$) sdružených montovaných ploch je w_i a natočení η_z součásti 2 vůči 1 kolem osy z ovlivňuje smontovatelnost, takže je třeba s ním počítat. Natočení v kladném, resp. záporném smyslu je označeno η_z^+ , resp. η_z^- .

Strana a_i obvodového n -úhelníku průřezu je rozdělena normálou n_i z počátku 0 na dvě úsečky a_i^+ a a_i^- označené podle polohové příslušných natočení. Protože vůle $w_i \ll a_i^{\pm}$, příslušné natočení $\eta_{zi}^{\pm} \rightarrow 0$ takže



obr. 6

$$\eta_{zi}^+ = \frac{\overline{AB}}{\overline{AO}} = \operatorname{tg} \eta_{zi}^+ = \frac{\overline{AE}}{\overline{AO}} = \frac{w_i}{a_i^+}, \quad \text{kde}$$

$$\overline{AE} = \frac{\overline{DE}}{\sin AOC} = \frac{w_i}{\sin AOC} \quad , \quad \overline{AO} = \frac{\overline{AC}}{\sin AOC} = \frac{a_i^+}{\sin AOC} \quad ,$$

analogicky $\eta_{zi}^- = \frac{w_i}{a_i^-}$,

což jsou maximální natočení součástí 2 vůči součásti 1 kolem osy z, limitovaná i-tou stranou průřezu. Skutečné natočení bude však odpovídat minimálnímu z takto zjištěných natočení, tj.

$$\eta_z^\pm = \min_i \eta_{zi}^\pm = \min_i \frac{w_i}{a_i^\pm}, \quad a_i^\pm > 0, \quad \text{nebo}$$

$$- \min_i \frac{w_i}{a_i^-} < \eta_z < \min_i \frac{w_i}{a_i^+},$$

což je hledaná podmínka smontovatelnosti pro případ, že součást 2 není vůči 1 vyosena, tj. $\vec{\zeta} = 0$. V případě, že je vůči ní posunuta resp. nakloněna, o vektor $\vec{\zeta} \neq 0$, dochází ke zmenšení vůle w mezi sdruženými polohami obou součástí o hodnotu příslušné složky $\left(\frac{\vec{\lambda}_i \vec{\zeta}}{\lambda_i}\right)$ vektoru $\vec{\zeta}$. Do podmínky je pak třeba dosazovat zmenšenou vůli, tj.

$$- \min_i \frac{w_i - \frac{\vec{\lambda}_i \vec{\zeta}}{\lambda_i}}{a_i^-} < \eta_z < \min_i \frac{w_i - \frac{\vec{\lambda}_i \vec{\zeta}}{\lambda_i}}{a_i^+}, \quad \text{kde} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\vec{\lambda}_i \vec{\zeta}}{\lambda_i} &= \zeta_x \cos \kappa_i + \zeta_y \sin \kappa_i = \lambda_i \left(\frac{\vec{\zeta}}{\lambda_i} + l \frac{\vec{\eta}}{\lambda_i} \right) = \\ &= (\zeta_x + l \eta_y) \cos \kappa_i + (\zeta_y + l \eta_x) \sin \kappa_i, \end{aligned}$$

$\frac{\vec{\lambda}_i}{\lambda_i} (\cos \kappa_i, \sin \kappa_i)$ je jednotkový vektor normály $n_i \perp a_i$ a κ_i úhel, který svírá tato normála s osou x.

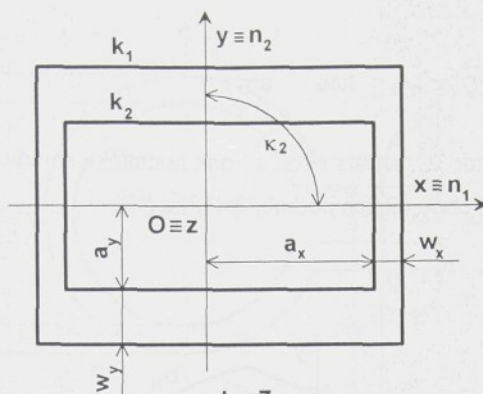
Pro případ, že hranol vymezený křivkou k má obdélníkový průřez ($n=4$), je schéma orientace sdružených montovaných ploch součástí 1 a 2 v ideální poloze v rovině xy na obr. 7, ze kterého je patrné, že

$$a_1 = a_3 = 2a_y, \quad w_1 = w_3 = w_x, \quad \kappa_1 = 0, \quad \kappa_3 = \pi,$$

$$a_2 = a_4 = 2a_x, \quad w_2 = w_4 = w_y, \quad \kappa_2 = \pi/2, \quad \kappa_4 = 3\pi/2,$$

takže podmínka smontovatelnosti (13) nabývá tvar:

$$|\eta_z| \leq \min \left(\frac{w_x - \zeta_x}{a_y}, \frac{w_y - \zeta_y}{a_x} \right). \quad (14)$$



obr. 7

Obdobným způsobem lze odvodit podmínku smontovatelnosti pro libovolné prizmatické montované plochy. Vztah (13) se pro případ konkrétní plochy, jak patrně, vždy podstatně zjednoduší.

6.3. Podmínka smontovatelnosti kombinovaných montovaných ploch

Kombinovanými jsou v daném případě myšleny sdružené montované plochy, jejichž průřez je vymezen křivkou k , která je kombinací přímek a kruhových oblouků o společném středu.

Tento případ, představující kombinaci obou předchozích, je znázorněn v ideální poloze v rovině xy na obr. 8. Jeho značení odpovídá značení obrázků 4, 5 a 6 s tím, že přímkové části křivky k jsou značeny a_i a obloukové b_j . Mezi i -tými přímkovými, resp. j -tými obloukovými, částmi sdružených křivek k_1 a k_2 jsou vůle w_i , resp. v_j , přičemž j -tá oblouková část je vymezena paprsky z O svírajícími s osou úhly ψ_{j1} a ψ_{j2} .

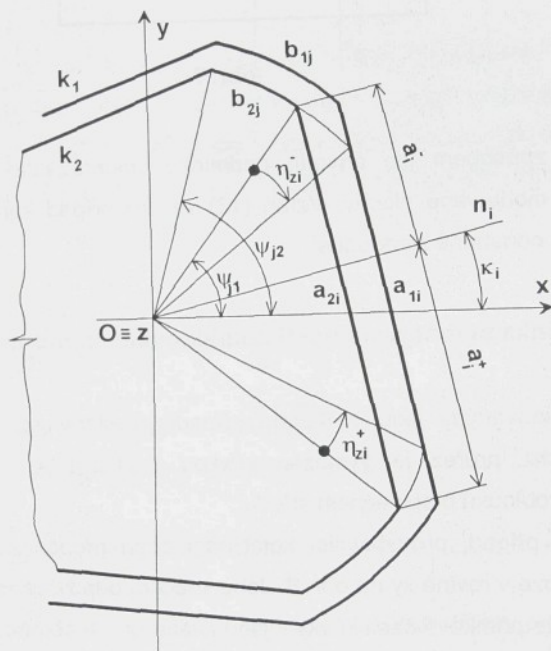
Spojení takovýchto sdružených montovaných ploch v jejich rovinných (v průřezu přímkových) částech vylučuje jejich průnik ($A_i \equiv a_{i1} \times a_{i2}$) pro jakékoli i , tj. musí platit podmínka (13) pro prizmatické plochy.

Analogicky ani v jejich válcových (obloukových) částech nesmí dojít k jejich průniku ($B_j \equiv b_{j1} \times b_{j2}$) pro žádné j , tj. musí platit podmínka (12) pro válcové plochy.

Jestliže nyní vektor $\vec{\zeta}$ úchylky směřuje do některé z válcových částí, tj. pro nějaké j platí:

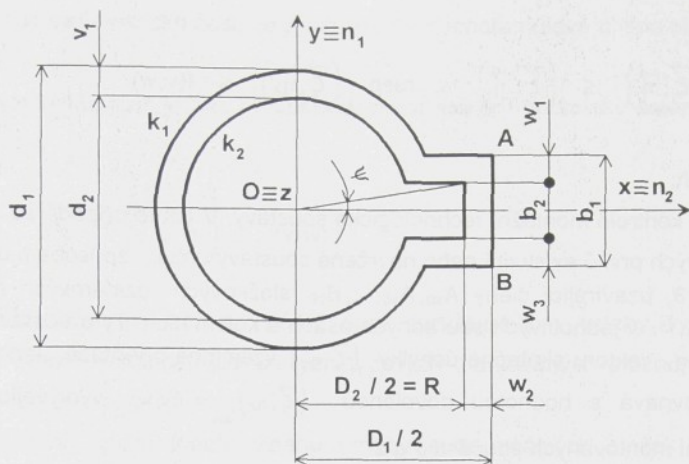
$$\psi_{j1} < \arg \vec{\zeta} < \psi_{j2}, \text{ kde } \arg \vec{\zeta}$$

je úhel, který vektor $\vec{\zeta}$ svírá s osou x , pak podmínka smontovatelnosti vyžaduje současné splnění obou dílčích podmínek (12) a (13).



obr. 8

V opačném případě, kdy uvedená nerovnost neplatí pro žádné j , tj. vektor $\vec{\zeta}$ směřuje do některé z rovinných částí, je postačující splnění podmínky (13), a to proto, že plochy smontovatelné ve svých rovinných částech ($\bar{A}$) nemohou být současně nesmontovatelné (B) ve svých částech válcových ($\bar{A} \rightarrow \bar{B}$). Pro případ, kdy kombinované sdružené plochy tvoří klínové spojení (součást 1 je objímka s drážkou a 2 hřídel s nalisovaným perem; $i=1,2,3; j=1$) je schéma orientace těchto ploch v ideální poloze v rovině xy znázorněno na obr. 9. Protože úhel ψ je řádově malý, lze přímkovou část $\bar{A}\bar{B}$ v případě dna drážky i pera nahradit



obr. 9

obloukem, takže křivka k vymezující průřez sdružených ploch, bude složena ze dvou oblouků ($j=1,2$) a dvou přímek ($i=1,3$). Dále zavedeme s ohledem na skutečné spojení:

$$a_1 = a_3 = a, \quad a^+ = a^- = R, \quad w_1 = w_3 = w, \quad w_2 = v_1 = v$$

$$\kappa_1 = \pi/2, \quad \kappa_2 = 0, \quad \kappa_3 = -\pi/2.$$

Pak podmínka smontovatelnosti dle (12) a (13) nabývá tvar:

$$\zeta \leq v \wedge |R \eta_z + \zeta_y| < w \quad \text{nebo} \quad (15)$$

$$\zeta \leq v \wedge \frac{w + \zeta_y}{R} < \eta_z < \frac{w - \zeta_y}{R}.$$

Tuto podmínku lze aplikovat i na případ drážkových spojení.

6.4. Smontovatelnost a užití podmínky smontovatelnosti.

Podmínky smontovatelnosti odvozené způsobem ukázaným v části 6.1. - 6.3 ve tvaru:

$$\left(\begin{matrix} \vec{\xi} \\ \vec{\eta} \end{matrix} \right) \leq \left(\begin{matrix} \vec{\xi} \\ \vec{\eta} \end{matrix} \right)_{\text{dov}}, \text{ resp. } \left(\begin{matrix} \vec{\zeta} \\ \vec{\eta}_z \end{matrix} \right) \leq f(v, w) \quad (16)$$

lze využít:

a) ke kontrole montážní technologické soustavy. V tomto případě se z úchylek jednotlivých prvků existující nebo navržené soustavy určují, způsobem uvedeným v části 3, uzavírající členy $A_{x0}, A_{y0}, \dots, B_{z0}$ složkových rozměrových řetězců $A_x, A_y, \dots, B_z$ v jednotlivých souřadných osách a kolem nich. Ty představují složky $\xi_x, \xi_y, \dots, \eta_z$ vektoru skutečné úchyly $\left(\begin{matrix} \vec{\zeta} \\ \vec{\eta}_z \end{matrix} \right)$ vzájemné orientace. Jeho hodnota se porovnává s hodnotou dovolenou $\left(\begin{matrix} \vec{\zeta} \\ \vec{\eta}_z \end{matrix} \right)_{\text{dov}} = f(v, w)$, vyplývající z vůle v uložení montovaných součástí 1 a 2.

Z porovnání vyplyne, zda je dodržena platnost podmínky smontovatelnosti a soustava je schopná uskutečňovat automatickou montáž či nikoli. Takto se využívá podmínka smontovatelnosti při projektování montážního automatu ke kontrole návrhu jeho konstrukce.

b) při projekci montážní technologické soustavy, kdy se z dovolené hodnoty vektoru úchyly vzájemné orientace $\left(\begin{matrix} \vec{\zeta} \\ \vec{\eta}_z \end{matrix} \right)_{\text{dov}} = f(v, w)$ určují dovolené hodnoty jeho složek $\xi_{xdov}, \xi_{ydov}, \dots, \eta_{zdov}$, coby výchozích členů uvedených složkových rozměrových řetězců k určení jejich sestavných členů, tj. rozměrů jednotlivých prvků soustavy. Toto využití podmínky smontovatelnosti je prioritní a z hlediska technologického projektování významnější.

Při vlastním výpočtu, ať kontrolním či projekčním, je třeba zohlednit skutečnost, že veličiny figurující v podmínce smontovatelnosti jsou náhodné. Hodnota vůle závisí na hodnotách rozměrů sdružených montovaných ploch, které jsou zatíženy výrobními úchyly předchozích operací výroby součástí 1 a 2. Tyto rozměry jsou tedy veličiny náhodné s rozdělením, jak ukázala statistická sledování, blízkým normálnímu. Pak vůle je také náhodnou veličinou s normálním rozdělením $N(E_v, \sigma_v^2)$, resp. $N(E_w, \sigma_w^2)$.

Podobně složky vektoru úchyly vzájemné orientace $\left(\begin{matrix} \vec{\zeta} \\ \vec{\eta}_z \end{matrix} \right)$ závisí, jak bylo uvedeno v části 3, na značném počtu náhodných veličin, tj. rozměrů prvků montážní technologické soustavy, podmíněných jejich výrobou a seřazením. Lze tedy i tyto složky považovat dle centrální limitní věty za náhodné veličiny s normálním rozdělením. Kromě toho, protože jsou symetrické vůči ideální poloze,

tj. nevykazují systematické části, je jejich střední hodnota nulová a jsou statisticky nezávislé.

Smontovatelnost je pak pravděpodobnost splnění podmínky smontovatelnosti, obecně:

$$P_s = P \left[\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right) \leq f(v, w) \right] \quad (17)$$

Tento vztah je možné vyjádřit opět konkrétně pro vztahy vyjadřující podmínku smontovatelnosti jednotlivých typových montovaných ploch (viz část 6.1 - 6.3).

Kontrolní využití tohoto vztahu umožňuje ze známých složek úchyly $\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)$ vzájemné orientace stanovit smontovatelnost P_s dané montážní jednotky a tuto porovnat s požadovanou, stanovenou z technickoekonomických aspektů.

Naopak, projekční užití umožňuje, pro požadovanou smontovatelnost, stanovit složky úchyly vzájemné orientace, coby dovolené, tj. $\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right) = \left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_{\text{dov}}$

Pro praktickou potřebu je však vhodnější přímé užití podmínky smontovatelnosti, dosazením mezních hodnot. Podmínka smontovatelnosti pak nabývá tvar

$$\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_{\text{max}} \leq f(v, w)_{\text{min}} \quad (18)$$

kde mezní hodnoty představují buď hodnoty možné a splnění podmínky znamená absolutní smontovatelnost ($P_s=1$) nebo hodnoty pravděpodobné pro určitou, předem zvolenou, resp. požadovanou pravděpodobnost P_s a splnění podmínky znamená částečnou smontovatelnost $P_s < 1$.

V prvním případě jsou mezní hodnoty dány tolerancemi příslušných veličin a v druhém jejich variačními rozpětími, udávanými v násobcích jejich směrodatných úchylek odpovídajících požadované smontovatelnosti. Všeobecně se v praxi za postačující považuje $P_s=0,9973$, což odpovídá rozpětí $\pm 3\sigma$. V takovém případě je nesmontovatelnost, tj. riziko výskytu sdružených součástí, které nelze smontovat, ještě malá, avšak požadavky na přesnost prvků montážní technologické soustavy včetně montovaných součástí se znatelně snižují.

7. DOVOLENÁ ÚCHYLKA VZÁJEMNÉ ORIENTACE A JEJÍ SLOŽKY

Při hodnocení technologičnosti montážní jednotky z hlediska reálnosti její automatické montáže je třeba stanovit nároky, které bude klást na konstrukci příslušného automatu. Jde tedy v podstatě o určení dovolené úchyly automatu, která je determinována dovolenou hodnotou úchyly vzájemné orientace. Proto je dále ukázán postup určení složek maximální dovolené úchyly $(\vec{\zeta}, \eta_z)_{dov} = (\vec{\zeta}, \eta_z)_{max}$ z podmínky (18) aplikované na typové montované plochy, metodou maxima-minima, pro absolutní smontovatelnost $P_s=1$ a pravděpodobnostní, pro částečnou smontovatelnost $P_s = 0,9973$.

7.1. Složky dovolené úchyly vzájemné orientace válcových montovaných ploch

Složky vektoru dovolené úchyly vzájemné orientace $\vec{\zeta}_{dov}$ se určí z podmínky smontovatelnosti (12) pro tento případ, tj. :

$$\zeta \leq \zeta_{dov} = \zeta_{max} = v_{min}, \text{ kde}$$

$$\zeta = \sqrt{\zeta_x^2 + \zeta_y^2} = \xi + \eta,$$

$$\xi = \sqrt{\xi_x^2 + \xi_y^2}, \quad \eta = \sqrt{\eta_x^2 + \eta_y^2}.$$

V tomto a v dalších případech $\xi_z=0$, dále v tomto případě $\eta_z=0$. Určení složek lze provést dvojí metodou.

7.1.1. Určení složek metodou maxima-minima

Při této metodě se složky dovolené úchyly určují přímo z podmínky (12) a to tak, že hledaná složka ξ_{dov} , resp. η_{dov} se vyjádří z tohoto vztahu po dosazení

$$v = v_{min} = \frac{d_{1min} - d_{2max}}{2}$$

a zbývající (zadané) složky jako maximální, tj.

$$\eta_{\text{dov}} = \eta_{\text{max}} , \quad \text{resp.} \quad \xi_{\text{dov}} = \xi_{\text{max}} , \quad \text{takže}$$

$$\xi_{\text{dov}} = \frac{d_{1\text{min}} - d_{2\text{max}}}{2} - l \eta_{\text{max}} , \quad \text{resp.} \quad (19)$$

$$\eta_{\text{dov}} = \frac{1}{l} \left(\frac{d_{1\text{min}} - d_{2\text{max}}}{2} - \xi_{\text{max}} \right). \quad (20)$$

Složky ve směru souřadných os x a y , za předpokladu kruhového rozdělení skutečných úchylek, budou

$$\zeta_{\text{xdov}} = \zeta_{\text{ydov}} = \frac{d_{1\text{min}} - d_{2\text{max}}}{2\sqrt{2}} \quad \text{a} \quad (21)$$

$$\xi_{\text{xdov}} = \xi_{\text{ydov}} = \frac{d_{1\text{min}} - d_{2\text{max}}}{2\sqrt{2}} - l \eta_{\text{xy max}} \quad (22)$$

pro zadané $\eta_{\text{xdov}} = \eta_{\text{ydov}} = \eta_{\text{xy max}} , \quad \text{resp.}$

$$\eta_{\text{xdov}} = \eta_{\text{ydov}} = \frac{1}{l} \left(\frac{d_{1\text{min}} - d_{2\text{max}}}{2\sqrt{2}} - \xi_{\text{xy max}} \right) \quad (23)$$

pro zadané $\xi_{\text{xdov}} = \xi_{\text{ydov}} = \xi_{\text{xy max}} .$

7.1.2. Určení složek metodou pravděpodobnostní

Analogicky k postupu dle 7.1.1 určujeme hledané složky z podmínky (12), tj.

$$\zeta_{\text{dov}} = \xi_{\text{dov}} + l \eta_{\text{dov}} \leq v_{\text{min}} \Rightarrow \xi_{\text{dov}} = v_{\text{min}} - l \eta_{\text{dov}} \quad \text{pro zadané } \eta_{\text{dov}} , \text{ přičemž}$$

$$v_{\text{min}} = Ev - 3\sigma_v, \quad \eta_{\text{dov}} = \eta_{\text{max}} = E\eta - 3\sigma_\eta ,$$

$$\xi_{\text{dov}} = E\xi - 3\sigma_\xi, \quad E\xi = Ev - l E\eta, \quad \sigma_\xi^2 = \sigma_v^2 + 2l^2 \sigma_\eta^2.$$

Za předpokladu, že rozdělení skutečných úchylek je vícerozměrné normální

$$\sigma_{\zeta_x} = \sigma_{\zeta_y} = \sigma_\zeta.$$

Zbývá ještě určit střední hodnotu $E\eta$ dvourozměrné náhodné veličiny $\eta = \sqrt{\eta_x^2 + \eta_y^2}$, která má Rayleighovo rozdělení o hustotě

$$p_\eta(r) = \frac{r}{\sigma_\eta^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_\eta^2}\right), \quad \text{takže} \quad E\eta = \int_0^\infty r p_\eta(r) dr = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_\eta, \quad (24)$$

$$\text{potom } \xi_{\text{dov}} = Ev - l\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_\eta - 3\sqrt{\sigma_v^2 + 2l^2\sigma_\eta^2}.$$

$$\text{Analogicky } \eta_{\text{dov}} = \frac{1}{l}\left(Ev - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_\xi - 3\sqrt{\sigma_v^2 + 2\sigma_\xi^2}\right) \quad (25)$$

pro zadané $\xi_{\text{dov}} = \xi_{\text{max}}$, resp. σ_ξ .

Složky dovolené úchytky v ose x a y určíme z podmínky smontovatelnosti ve tvaru $v - \zeta \geq 0$. Pro platnost této nerovnosti je postačující platnost vztahu, $E(v - \zeta) \geq 3\sigma_{(v - \zeta)}$, kde

$$E(v - \zeta) = Ev - E\zeta, \quad E\zeta = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_\zeta, \quad \sigma_\zeta = \sqrt{\sigma_\xi^2 + l^2\sigma_\eta^2},$$

$$\sigma_{(v - \zeta)} = \sqrt{D(v - \zeta)}, \quad D(v - \zeta) = \sigma_v^2 + D\zeta, \quad D\zeta = E\zeta^2 - (E\zeta)^2.$$

Výraz pro $E\zeta$ plyne z analogie pro uvedené Rayleighovo rozdělení a výraz pro $E\zeta^2$ se určí jako

$$\begin{aligned} E\zeta^2 &= E(\vec{\xi} + l\vec{\eta})^2 = E(\xi^2 + 2l\vec{\xi}\vec{\eta} + l^2\eta^2) = \\ &= E(\xi_x^2 + \xi_y^2) + l^2 E(\eta_x^2 + \eta_y^2) = \\ &= E(\xi_x^2 + l^2\eta_y^2) + E(\xi_y^2 + l^2\eta_x^2) = \sigma_{\xi_x}^2 + \sigma_{\xi_y}^2 = 2\sigma_\zeta^2. \end{aligned}$$

Dosažením do výchozího vztahu dostáváme rovnici:

$$Ev - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_\zeta = 3\sqrt{\sigma_v^2 + \frac{4-\pi}{2} \sigma_\zeta^2} \quad \text{a z ní separací}$$

$$\sigma_\zeta = \frac{1}{18 - 5\pi} \left[3\sqrt{\left(2 - \frac{\pi}{2}\right) Ev^2 - (18 - 5\pi)\sigma_v^2} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} Ev \right] \quad (26)$$

$$\text{pak } \zeta_{x \text{ dov}} = \zeta_{y \text{ dov}} = 3\sigma_{\zeta}. \quad (27)$$

Analogicky zadáním $\eta_{\text{dov}}, (\sigma_{\eta})$, resp. $\xi_{\text{dov}}, (\sigma_{\xi})$ a řešením rovnice (26) vzhledem ke zbývajícimu parametru σ_{ξ} , resp. σ_{η} lze získat hodnoty pro určení

$$\xi_{x \text{ dov}} = \xi_{y \text{ dov}} = 3\sigma_{\xi}, \text{ resp.} \quad (28)$$

$$\eta_{x \text{ dov}} = \eta_{y \text{ dov}} = 3\sigma_{\eta}. \quad (29)$$

7.2 Složky dovolené úchytky vzájemné orientace prizmatických montovaných ploch

Složky dovolené úchytky vzájemné orientace, vč. složky $\eta_z \neq 0$, se určí z podmínky (13), resp. jejího tvaru:

$$\vec{\zeta} \vec{\lambda}_i < w_i - \tau_i \eta_z, \text{ kde } \tau_i = \max(a_i^+, -a_i^-) \quad (30)$$

$$\text{nebo } \zeta_x \cos \kappa_i + \zeta_y \sin \kappa_i + \tau_i \eta_z < w_i \quad (31)$$

7.2.1 Určení složek metodou maxima-minima

Složky se určují přímo z podmínky (13) nebo jejího tvaru (31) po dosazení za w_i minimální hodnoty nejmenší z n vůlí mezi montovanými plochami, tj.

$$w_i \min = \min_i (h_{1i \min} - h_{2i \max})$$

a zbývajících (zadaných) složek jako maximálních.

Např. při určování složky ξ_x , která figuruje ve vztahu (31) prostřednictvím složky $\zeta_x = \xi_x + \ln_y$ je třeba do (31) dosadit $\eta_y \text{ dov} = \eta_y \max$, $\eta_z \text{ dov} = \eta_z \max$ a $\zeta_y \text{ dov} = \zeta_y \max$.

$$\text{Potom separací } \xi_{x \text{ dov}} = \min_i \left(\frac{w_i \min - \tau_i \eta_z \text{ dov}}{|\cos \kappa_i|} - \zeta_y \text{ dov} |\operatorname{tg} \kappa_i| \right) - \ln_y \text{ dov}.$$

7.2.2 Určení složek metodou pravděpodobnostní

Hledané složky se určují z podmínky (13), resp. jejího tvaru (30), tj.

$$r_i = -\vec{\lambda}_i \vec{\zeta} + w_i - \tau_i \geq 0, \text{ kde } \tau_i = \max(a_i^+ \eta_z, -a_i^- \eta_z)$$

a r_i je náhodná veličina, která má v souladu s centrální limitní větou rozdělení přibližně normální, takže zvolíme-li smontovatelnost, v daném případě, např. $P_s = 0,9973$, je tím stanovena pravděpodobnost výskytu hodnot r_i v intervalu $\pm 3\sigma_{r_i}$ či platnosti nerovnosti $E r_i - 3\sigma_{r_i} \geq 0$.

Potom hledané složky lze určit z rovnice

$$E r_i = 3\sigma_{r_i}, \text{ kde } E r_i = E w_i - E \tau_i, \quad E \tau_i = \int_0^{\infty} t p_{\tau_i}(t) dt,$$

hustota pravděpodobnosti $p_{\tau_i}(t)$ se určí z distribuční funkce $F_{\tau_i}(t) = P(\tau_i < t)$ a

$$\sigma_{r_i} = \sqrt{D_{r_i}}, \quad D_{r_i} = \sigma_{w_i}^2 + \sigma_{\zeta_x}^2 \cos^2 \kappa_i + \sigma_{\zeta_x}^2 \sin^2 \kappa_i + D_{\tau_i}, \quad \text{kde}$$

$$D_{\tau_i} = E \tau_i^2 - (E \tau_i)^2 \quad \text{a} \quad E \tau_i^2 = \int_0^{\infty} t^2 p_{\tau_i}(t) dt.$$

Dosazením naznačeným způsobem vypočtených parametrů do výchozí rovnice a její úpravou dostáváme rovnici:

$$\begin{aligned} E w_i^2 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} E w_i \sigma_{\eta_z} a_i = \\ = 9\sigma_{w_i}^2 + 9\sigma_{\zeta_x}^2 \cos \kappa_i + 9\sigma_{\zeta_y}^2 \sin \kappa_i + \frac{\sigma_{\eta_z}^2}{\pi} \left[(9\pi - 10)(a_i^{+2} + a_i^{-2}) - 20a_i^+ a_i^- \right], \end{aligned} \quad (32)$$

ze které lze určit směrodatnou odchylku libovolné ze složek úchyly vzájemné orientace po dosazení směrodatných odchylek zbývajících, tj. zadaných složek coby maximálních. Např.:

$$\begin{aligned} \sigma_{\xi_x} = \min \left\{ \frac{1}{3 \cos \kappa_i} \left(E w_i^2 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} E w_i E a_i \sigma_{\eta_z} - 9\sigma_{w_i}^2 - \frac{\sigma_{\eta_z}^2}{2\pi} C_i - \sigma_{\zeta_y}^2 \operatorname{tg} \kappa_i - l^2 \sigma_{\eta_x}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\}, \\ \text{kde } C_i = (9\pi - 10)(a_i^{+2} + a_i^{-2}) - 20 E a_i^+ a_i^-, \end{aligned}$$

$$\text{pak } \xi_{x \text{ dov}} = 3\sigma_{\xi_x}. \quad (33)$$

Analogicky lze dospět k výrazům pro ostatní složky.

Je třeba poznamenat, že se rovnice (32) pro konkrétní tvar montované plochy zjednoduší. Např. pro plochy obdélníkového průřezu (viz obr. 7), kterých je mezi prizmatickými montovanými plochami většina, bude:

$$\sigma_{\xi_x} = \left\{ \frac{1}{9} \left[\left(E w_x - \sqrt{\frac{2}{\pi}} E a_y \sigma_{\eta_z} \right)^2 - \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \sigma_{\eta_z}^2 E a_y^2 \right] - \sigma_{w_x}^2 - l^2 \sigma_{\eta_x}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

7.3 Složky dovolené úchytky vzájemné orientace kombinovaných montovaných ploch

Způsob určování složek úchytky vzájemné orientace lze považovat v tomto případě za principiálně daný. Složky se určují z podmínek smontovatelnosti, kterým musí vyhovovat válcové i rovinné části montovaných ploch. Na válcové plochy aplikujeme podmínku (12) a na rovinné (13). Požadovaná složka se určuje metodami ukázanými v části 7.1 a 7.2. Za dovolenou se bere menší z vypočtených hodnot. Postup určení složek pro tento případ bude ukázán na spojení hřídele s nalisovaným perem a objímky s drážkou, které je uvedeno v části 5.3. Jde o velmi častý případ spojení strojních částí s kombinovanými montovanými plochami.

7.3.1 Určení složek metodou maxima-minima

Požadovaná složka dovolené úchytky vzájemné orientace se určí z podmínky (12) a (15) po dosazení

$$v_{\min} = \frac{d_{1 \min} - d_{2 \max}}{2}, \quad w_{\min} = \frac{b_{1 \min} - b_{2 \max}}{2}$$

a zbývajících (zadaných) složek jako maximálních.

To znamená dle jednoho ze vztahů (19) - (23) a současně dle odpovídajícího z následujících vztahů:

$$\zeta_{y \text{ dov}} = \frac{1}{2} (b_{1 \min} - b_{2 \max} - 2R_{2 \max} \eta_{z \max}) \quad , \quad (34)$$

pro zadané $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \max}$, resp.

$$\eta_{z \text{ dov}} = \frac{1}{2R_{2 \max}} (b_{1 \min} - b_{2 \max} - 2\zeta_{y \max}), \quad (35)$$

pro zadané $\zeta_{y \text{ dov}} = \zeta_{y \text{ max}}$,

$$\xi_{y \text{ dov}} = \frac{1}{2} (b_{1 \text{ min}} - b_{2 \text{ max}} - D_{2 \text{ max}} \eta_{z \text{ max}} - 2l_{\text{max}} \eta_{x \text{ max}}) \quad (36)$$

pro zadané $\eta_{x \text{ dov}} = \eta_{x \text{ max}}$ a $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \text{ max}}$, resp.

$$\eta_{x \text{ dov}} = \frac{1}{2l_{\text{max}}} (b_{1 \text{ min}} - b_{2 \text{ max}} - D_{2 \text{ max}} \eta_{z \text{ max}} - 2\xi_{y \text{ max}}) \quad (37)$$

pro zadané $\xi_{y \text{ dov}} = \xi_{y \text{ max}}$ a $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \text{ max}}$.

7.3.2 Určení složek metodou pravděpodobnostní

Požadovaná složka dovolené úchyly vzájemné orientace se určí podle jednoho ze vztahů (24), (25), případně pomocí (26) ze vztahů (27) - (29), odvozených z podmínky (12), vždy po dosazení parametrů zbývajících (zadaných) složek a současně dle jednoho z následujících vztahů odvozených z podmínky (4), pomocí (32) a výrazů analogických k výrazu (33):

$$\zeta_{y \text{ dov}} = \left(Ew^2 - 9\sigma_w^2 - \frac{2R^2}{\pi} (9\pi - 10) \sigma_{\eta_z}^2 - \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} R Ew \sigma_{\eta_z} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

pro zadané $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \text{ max}}$, (σ_{η_z}) , resp.

$$\eta_{z \text{ dov}} = \frac{3\sqrt{2}}{\sqrt{\pi} (9\pi - 20)R} \left\{ \left[(Ew)^2 + (20 - 9\pi) (9\sigma_w^2 + 9\sigma_{\zeta_y}^2 - Ew^2) \right]^{\frac{1}{2}} - Ew \right\} \quad (39)$$

pro zadané $\zeta_{y \text{ dov}} = \zeta_{y \text{ max}}$, (σ_{ζ_y}) ,

$$\xi_{y \text{ dov}} = \left[Ew^2 - 9\sigma_w^2 - \frac{2R^2}{\pi} (9\pi - 10) \sigma_{\eta_z}^2 - \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} R Ew \sigma_{\eta_z} - 9l^2 \sigma_{\eta_x}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

pro zadané $\eta_{x \text{ dov}} = \eta_{x \text{ max}}$, (σ_{η_x}) a $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \text{ max}}$, (σ_{η_z}) , resp.

$$\eta_{x \text{ dov}} = \frac{1}{I} \left[Ew^2 - 9\sigma_w^2 - \frac{2R^2}{\pi}(9\pi - 10)\sigma_{\eta_z}^2 - \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} R Ew \sigma_{\eta_z} - 9\sigma_{\xi_y}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (41)$$

pro zadané $\xi_{y \text{ dov}} = \xi_{y \text{ max}}$, (σ_{ξ_y}) a $\eta_{z \text{ dov}} = \eta_{z \text{ max}}$, (σ_{η_z}) .

7.3.3 Volba výsledné hodnoty složek

Jako výslednou dovolenou hodnotu složky volíme menší z hodnot určených dle podmínky (12) a (13), tj. v daném případě

$$\zeta_{y \text{ dov}} = \min(\zeta_{y \text{ dov}(12)}, \zeta_{y \text{ dov}(13)}), \quad \text{kde}$$

$\zeta_{y \text{ dov}(12)}$ a $\zeta_{y \text{ dov}(13)}$ jsou hodnoty složky určené z podmínky (12) a (13). Analogicky se postupuje i v případě složek ξ_y a η_x .

Výsledné hodnoty ostatních složek se berou tak, jak byly určeny, resp. zadány, tj. $\zeta_{x(1)}$, $\xi_{x(1)}$, $\eta_{y(1)}$ a $\eta_{z(4)}$. Tento postup se aplikuje na hodnoty určené metodou podle části 7.3.1 i 7.3.2.

8. SHRUTÍ

Metodický postup při posuzování technologičnosti konstrukce dané montážní jednotky vyplývající z obsahu částí 5 až 7 je následující :

1. Provedení analýzy konstrukce dané montážní jednotky dle konstrukční dokumentace, tj. :

1.1 Zjištění tvaru, rozměrů a charakteristických geometrických prvků sdružených ploch montovaných součástí příslušných dané montážní jednotce.

1.2 Navržení schematu ustavení montovaných součástí na pozici montáže se zřetelem na směr hlavního montážního pohybu a parametry zjištěné dle bodu 1.1, při respektování zásad uvedených v části 5.

1.3 Zjištění tvaru, rozměrů a charakteristických geometrických prvků ustavovacích ploch montovaných součástí.

1.4 Stanovení technologických základů na ustavovacích plochách a jejich rozměrových vazeb na příslušné charakteristické geometrické prvky sdružených ploch montovaných součástí.

2. Stanovení úchylky $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_s$ dané montážní jednotky, tj. :

2.1 Stanovení složek úchylky ustavení $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{s_1}$ a $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{s_2}$ každé z montovaných součástí na pozici montáže pro schema ustavení navržené v bodě 1.2, způsobem uvedeným v části 5.

2.2 Stanovení složek výsledné úchylky ustavení

$$\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_s = f_s \left[\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{s_1}, \left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{s_2} \right].$$

3. Stanovení dovolené úchylky $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{dov}$ vzájemné orientace, tj. :

3.1 Odvození podmínky smontovatelnosti $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right) \leq \left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{dov}$ pro typ sdružených montovaných ploch zjištěný dle bodu 1.1 způsobem uvedeným v části 6.

3.2 Stanovení složek úchylky vzájemné orientace z rovnice $\left(\vec{\zeta}, \eta_z\right)_{dov} = f_v(V, W)$ a omezujících podmínek vyplývajících z navrženého schematu ustavení, parametrů montovaných a ustavovacích ploch a dalších předpokladů, způsobem uvedeným v části 7.

4. Stanovení dovolené úchylky automatu (ukazatelé technologičnosti)

$$\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_{A \text{ dov}} = f_A \left[\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_S, \left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_{\text{dov}} \right]$$

z hodnot určených dle bodu 2 a 3.

5. Posouzení technologičnosti konstrukce dle vztahu

$$\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_{A \text{ dov}} > \left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_A,$$

kde $\left(\vec{\zeta}, \eta_z \right)_A$ je hodnota úchyly běžně u automatů v obdobných technickoeekonomických podmínkách dosahovaná.

V případě, že hodnota ukazatele danému vztahu nevyhovuje je třeba zajistit možnost jejího zvýšení korekcí vůle V (W) mezi sdruženými montovanými plochami, případně změnou schematu ustavení montovaných součástí na pozici montáže.

Celý postup lze provádět pro požadavek absolutní smontovatelnosti $P_s = 1$ metodou maxima-minima nebo částečné ekonomicky přijatelné smontovatelnosti $P_s < 1$ metodou pravděpodobnostní. Funkce f_s , f_v a f_A pak představují aritmetický nebo geometrický součet.

Aplikace tohoto postupu je ukázána na příkladu v části 9.

9. APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE MONTÁŽNÍ JEDNOTKY

Metodika hodnocení technologičnosti montážní jednotky je demonstrována na příkladě montážní jednotky složené ze dvou částí. Část 1 je náboj (ozubeného kola, řemenice, objímky apod.) s drážkou a 2 je hřídel s namontovaným perem. Část 1 je tedy součástí a 2 montážní jednotka, smluvně považovaná rovněž za součást.

Sdružené montované plochy součástí 1 a 2 jsou kombinované z válcové a prizmatické části. Rozměry ploch jsou přiřazeny k průměru D hřídele a normalizovány ČSN 01 4990, 02 2507, 02 2562, 02 2570 a 02 2575, což nepřímo signalizuje častý výskyt tohoto montážního spojení v různých strojních konstrukcích.

Pro ukázkou byl volen průměr hřídele, který je základní součástí, $D=10, 20, 30, 40, 50$ a 60 mm s běžně se vyskytujícím točným uložením $H7 / f7$ v líčovací soustavě jednotné díry dle ČSN-ISO.

Jmenovité hodnoty a mezní úchytky $\Delta_{\max}$ ($\Delta_{\min}$) rozměrů daného spojení dle citovaných norem jsou uvedeny variantně pro různé těsná pera v tabulce 6, doplněné příslušným obrázkem. V této a všech následujících tabulkách symboly jednotlivých veličin odpovídají značení v textu, pokud není uvedeno jinak, jejich maximální, minimální a střední hodnoty jsou označovány indexy max, min a stř u těchto symbolů, zatímco hodnoty jmenovité jsou bez příslušného indexu.

V tabulce 7, resp. 8 jsou vstupní hodnoty uložení válcové, resp. prizmatické, části průřezu montované plochy, určené z normativních hodnot uvedených v tabulce 6. Jsou to: střední úchytky Δ_{str} a tolerance δ rozměru D , resp. b a příslušná kompenzace c_v , resp. c_w , u obou součástí (1 a 2) a minimální vůle $v_{\min}$ resp. $w_{\min}$, mezi nimi.

Tabulky jsou opět doplněny obrázky, z nichž je patrný význam tabelovaných rozměrů a také vztahy, podle kterých byly získány jejich hodnoty. Vztahy představují aplikace vztahů z úvodu části 3.

V tabulce 9 jsou obsaženy hodnoty složek $\zeta_{x \text{ dov}}$, $\zeta_{y \text{ dov}}$ a $\eta_{z \text{ dov}}$ dovolené úchytky vzájemné orientace součástí 1 a 2 na pozici montáže. Hodnoty byly

získány výpočtem metodou maxima-minima pomocí vztahů (21) a (35) z hodnot uvedených v tabulkách 7 a 8.

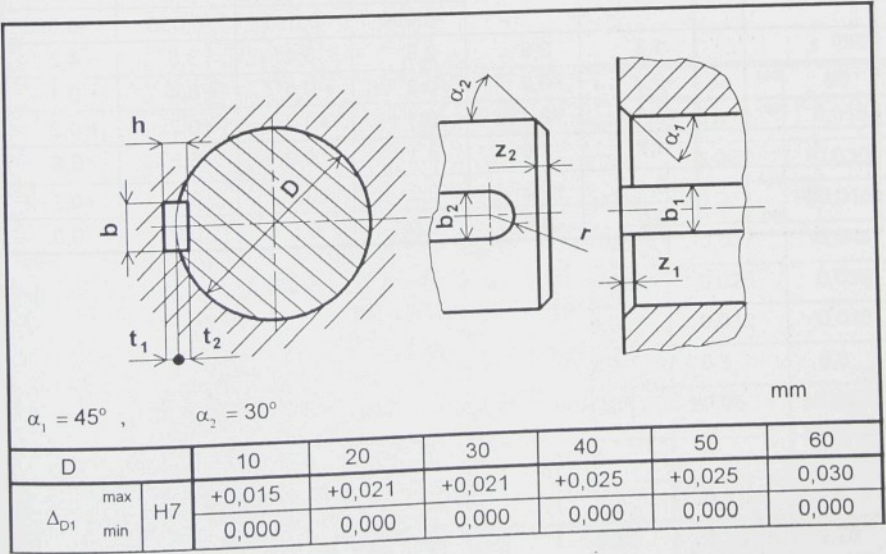
Protože není známa konkrétní konstrukce montážního automatu a z ní vyplývající omezení jeho přesnosti v souřadných osách x a y, předpokládá se stejné rozdělení skutečné úchytky v obou osách, tj. $\zeta_x = \zeta_y = \zeta_{xy}$ a tedy i $\zeta_{x\,dov} = \zeta_{y\,dov} = \zeta_{xy\,dov}$. Předpoklad vychází z konstrukce montážní jednotky, která je rotační, té je pak nutně poplatná i konstrukce automatu.

Dále z hodnot v tabulce 6 a 7 je zřejmé, že z hlediska smontovatelnosti je, v tomto případě, limitující kruhová část průřezu. Proto ve vztahu (35) pro $\eta_{z\,dov}$ je jako daná hodnota $\zeta_{y\,dov}$ volena hodnota $\zeta_{xy\,dov}$, vyplývající ze vztahu (21).

Pro zajímavost jsou v tabulce uvedeny extrémní hodnoty $\eta_{z\,dov}$, kdy vzájemné posunutí není rozděleno středově symetricky. Maximální natočení předpokládá nulové posunutí $\zeta_{x\,dov} = 0$ a minimální natočení předpokládá maximální posunutí, v daném případě $\zeta_{x\,dov} = \zeta_{dov}$, které může nastat jen v případě, že $\zeta_{y\,dov} = 0$. Oba předpoklady jsou nereálné, ale ze srovnání extrémních hodnot s hodnotami odpovídajícími symetrickému rozdělení $\zeta_{y\,dov}$ vyplývá, že rozdíl není velký.

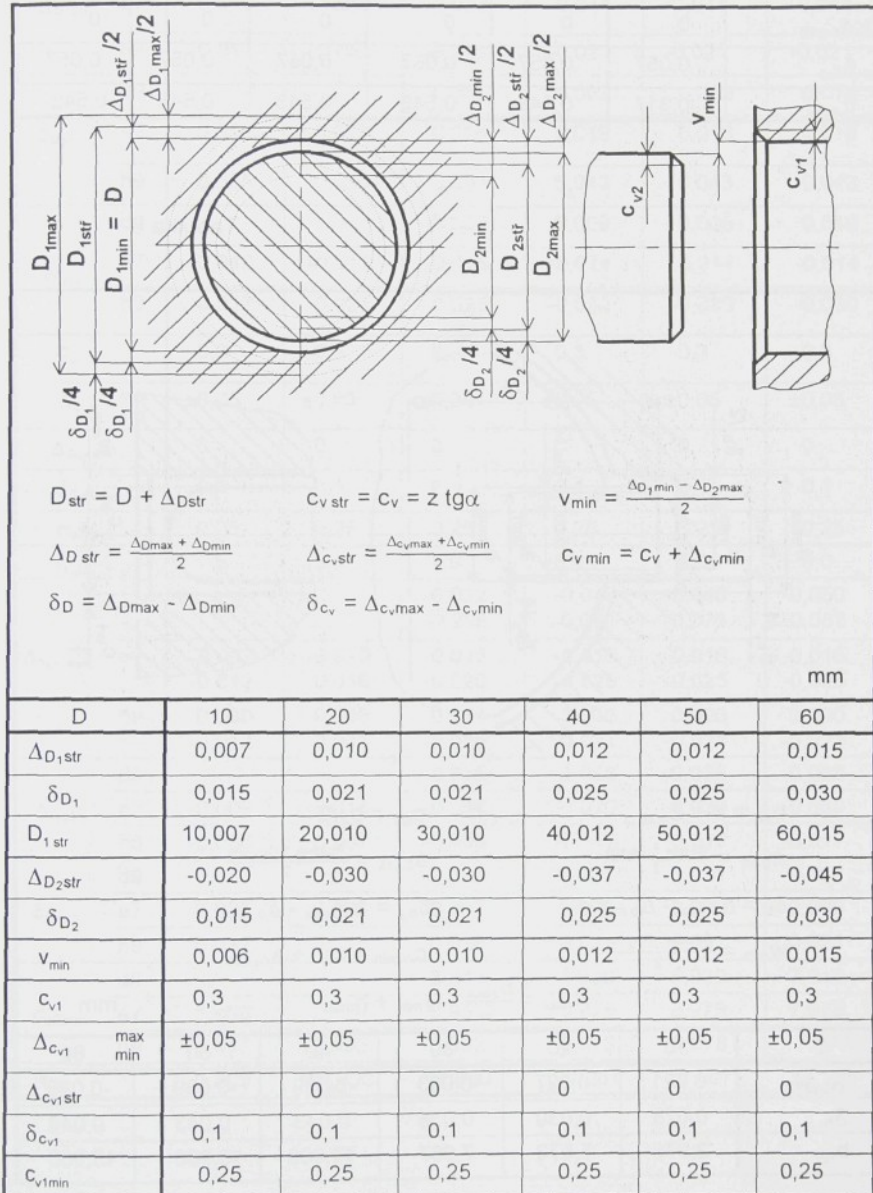
K tabulce 9 jsou opět připojeny upravené vztahy (21) a (35), pomocí kterých byly tabelované hodnoty bezprostředně určeny a obrázky, z nichž je patrný význam jednotlivých rozměrů.

Tabulka 6.



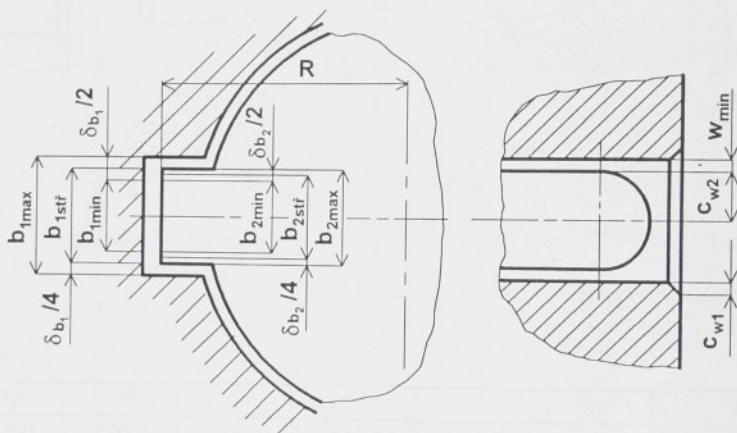
Δ_{D2} max min	f7	-0,013	-0,020	-0,020	-0,025	-0,025	-0,030
		-0,028	-0,041	-0,041	-0,050	-0,050	-0,060
z_1		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Δ_{z1} max min		$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
z_2		0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Δ_{z2} max min		$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
b		3	6	8	12	14	16
Δ_{b1} max min	P9	-0,009	-0,012	-0,015	-0,018	-0,018	-0,018
		-0,034	-0,042	-0,051	-0,061	-0,061	-0,061
Δ_{b2} max min	d9	-	-	-0,065	-0,080	-0,080	-0,100
				-0,117	-0,142	-0,142	-0,174
	e7	-	-	-0,025	-0,032	-0,032	-0,032
				-0,040	-0,050	-0,050	-0,050
	h9	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000
				-0,025	-0,030	-0,036	-0,043
h		3	6	7	8	9	10
Δh_2 max min	h9	0,000	0,000	-	-	-	-
		-0,025	-0,030				
	h11	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000
				-0,090	-0,090	-0,090	-0,090
t_1		1,3	2,5	2,9	3,1	3,5	4,2
Δ_{t1} max min		+0,2	+0,2	+0,2	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4
		+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+ 0,2
t_2		1,7	3,5	4,1	4,9	5,5	6,8
Δ_{t2} max min		+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabulka 7



c_{v2}	0,346	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
$\Delta_{c_{v2}}$ max min	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$	$\pm 0,028$
$\Delta_{c_{v2}str}$	0	0	0	0	0	0
$\delta_{c_{v2}}$	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
$c_{v2, min}$	0,317	0,548	0,548	0,548	0,548	0,548

Tabulka 8



$$b_{str} = b + \Delta_{b, str}$$

$$\Delta_{b, str} = \frac{\Delta_{b, max} + \Delta_{b, min}}{2}$$

$$\delta_b = \Delta_{b, max} - \Delta_{b, min}$$

$$w_{min} = \frac{\Delta_{b_1, min} - \Delta_{b_2, max}}{2}$$

$$c_{w2} = b_2/2$$

$$\Delta_{c_{wstr}} = \frac{\Delta_{c_{wmax}} + \Delta_{c_{wmin}}}{2}$$

$$\delta_{c_w} = \Delta_{c_{wmax}} - \Delta_{c_{wmin}}$$

$$c_{wmin} = c_w + \Delta_{c_{wmin}}$$

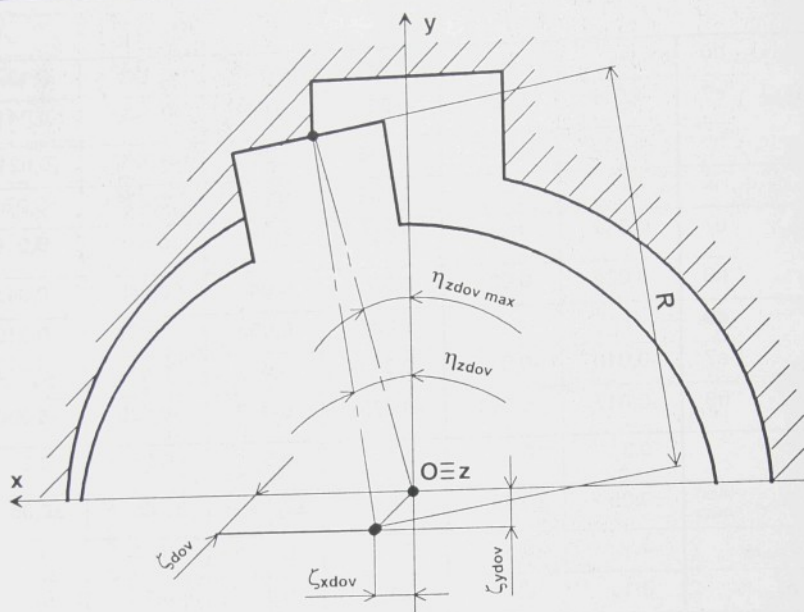
$$R_{max} = \frac{D_{2, max}}{2} - t_{2, min} + h_{max}$$

mm

D	10	20	30	40	50	60
$\Delta_{b, str}$	-0,021	-0,027	-0,033	-0,039	-0,039	-0,039
δ_{b_1}	0,025	0,030	0,036	0,043	0,043	0,043
b_{1str}	2,978	5,973	7,967	11,960	13,960	15,960

Δ_{b2str}	d9	-	-	-0,091	-0,111	-0,111	-0,137
	e7	-0,019	-0,026	-0,032	-0,041	-0,041	-0,041
	h9	-0,012	-0,015	-0,018	-0,021	-0,021	-0,021
δ_{b2}	d9	-	-	0,052	0,062	0,062	0,074
	e7	0,010	0,012	0,015	0,018	0,018	0,018
	h9	0,025	0,030	0,036	0,043	0,043	0,043
w_{min}	d9	-	-	0,007	0,009	0,009	0,019
	e7	-0,010	-0,011	-0,013	-0,014	-0,014	-0,014
	h9	-0,017	-0,021	-0,025	-0,030	-0,030	-0,030
c_{w1}		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$\Delta_{c_{w1}}^{max}_{min}$		$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
$\Delta_{c_{w1}str}$		0	0	0	0	0	0
$\delta_{c_{w1}}$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
c_{w1min}		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
c_{w2}		1,5	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0
$\Delta_{c_{w2}}^{max}_{min}$	d9	-	-	-0,032 -0,058	-0,040 -0,071	-0,040 -0,071	-0,050 -0,087
	e7	-0,007 -0,012	-0,010 -0,016	-0,012 -0,020	-0,016 -0,025	-0,016 -0,025	-0,016 -0,025
	h9	0,000 -0,012	0,000 -0,015	0,000 -0,018	0,000 -0,021	0,000 -0,021	0,000 -0,021
$\Delta_{c_{w2}str}$	d9	-	-	-0,045	-0,055	-0,055	-0,068
	e7	-0,009	-0,013	-0,016	-0,020	-0,020	-0,020
	h9	-0,006	-0,007	-0,009	-0,017	-0,017	-0,017
$\delta_{c_{w2}}$	d9	-	-	0,026	0,031	0,031	0,037
	e7	0,005	0,006	0,007	0,009	0,009	0,009
	h9	0,012	0,015	0,018	0,021	0,021	0,021
c_{w2min}	d9	-	-	3,941	5,939	6,939	7,913
	e7	1,488	2,984	3,980	5,975	6,975	7,975
	h9	1,487	2,985	3,982	5,978	6,978	7,978
R_{max}		6,293	12,490	17,890	23,087	28,487	33,185

Tabulka 9



$$\zeta_{dov} = V_{\Sigma \min}$$

$$\eta_{z \text{ dov}} = \frac{W_{\Sigma \min} - \zeta_{xy \text{ max}}}{R_{\max}}$$

$$\eta_{z \text{ dov max}} \text{ pro } \zeta_{xy \text{ max}} = 0$$

$$V_{\Sigma} = V + C_{v1} + C_{v2}$$

$$W_{\Sigma} = W + C_{w1} + C_{w2}$$

$$\eta_{z \text{ dov min}} \text{ pro } \zeta_{xy \text{ max}} = \zeta_{dov}$$

$$\zeta_{xy \text{ dov}} = \zeta_{dov} / \sqrt{2}$$

$$\zeta_{xy \text{ max}} = \zeta_{xy \text{ dov}}$$

mm, rad

D		10	20	30	40	50	60
ζ_{dov}		0,573	0,808	0,808	0,810	0,810	0,813
$\zeta_{xy \text{ dov}}$		0,405	0,571	0,571	0,572	0,572	0,574
$\eta_{z \text{ dov}}$	d9	-	-	0,2027	0,2440	0,2329	0,2292
	e7	0,2102	0,2126	0,2038	0,2442	0,2330	0,2301
	h9	0,2089	0,2116	0,2032	0,2436	0,2325	0,2297
$\eta_{z \text{ dov max}}$	d9	-	-	-0,2346	-0,2688	-0,2529	-0,2465
	e7	0,2745	0,2583	0,2357	0,2690	0,2531	0,2474
	h9	0,2733	0,2573	0,2351	0,2679	0,2526	0,2470
$\eta_{z \text{ dov min}}$	d9	-	-	0,1894	0,1719	0,2245	0,2220
	e7	0,1835	0,1936	0,1905	0,2239	0,2246	0,2229
	h9	0,1822	0,1928	0,1899	0,2333	0,2242	0,2225

Z výsledků v tabulce 9 je patrné, že montované součásti vybrané skupiny montážních jednotek mohou podle průměru být na pozici montáže vzájemně vertikálně i horizontálně vyoseny o 0,40-0,57 mm a natočeny kolem podélné osy, podle uložení pera v drážce o $11^{\circ}34' - 13^{\circ}57'$.

Pro dokreslení celého případu je dále určena část, která připadá z dovolené hodnoty úchyly vzájemné orientace těchto montovaných součástí na součásti samotné a na automat.

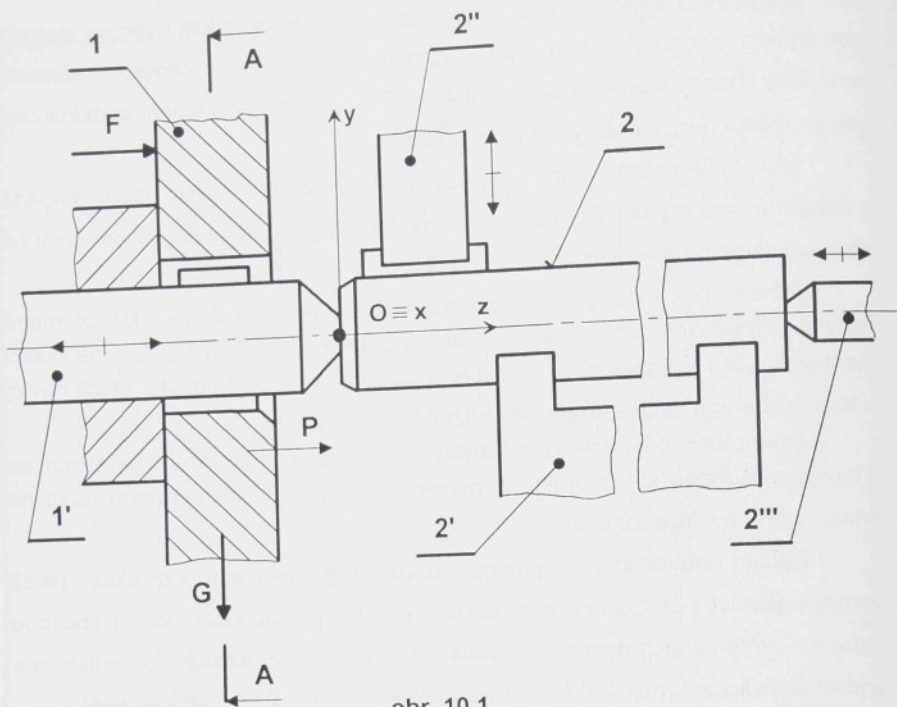
Důvodem k tomu je, jak bylo naznačeno, skutečnost, že část dovolené úchyly připadající na součásti, tj. úchyly ustavení součástí (ζ_s, η_{sz}) na pozici montáže, může vykazovat, v určitých případech značnou hodnotu, která navíc, a to je významné, kolísá, takže se obtížně kompenzuje.

Oproti tomu část dovolené úchyly ($\zeta_{Adov}, \eta_{Azdov}$) připadající na automat, se z hlediska jednoho stroje prakticky nemění a lze ji tedy kompenzovat relativně snadno, především seřízením.

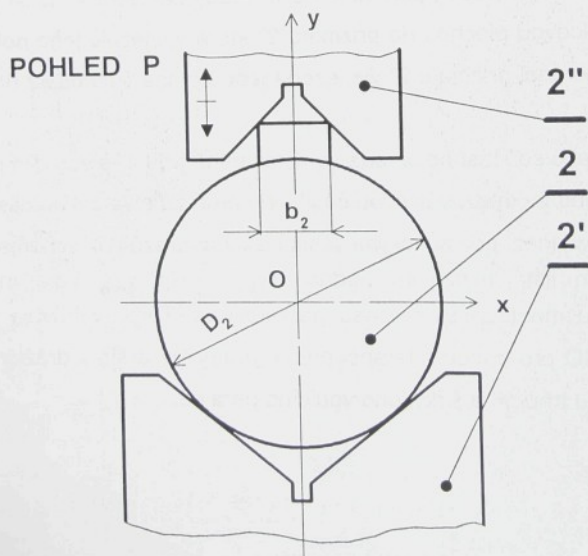
Dalším důvodem je příslušnost úchyly ustavení k objektu, jehož technologičnost posuzujeme a možnost ovlivnění její hodnoty volbou způsobu ustavení. Přitom vliv přesnosti ustavovacích prvků, pokud existuje, zanedbáváme a jejich úchyly zahrnujeme do celkové úchyly automatu, kam také přísluší.

V daném případě jako optimální se jeví schéma ustavení dle obrázku 10. Hřídel 2 (viz obr. 10.1 a 10.2) jako hmotnější a tedy základní součást je ustaven nejprve svou válcovou plochou do prizmatu 2', které vymezuje jeho polohu v ose x. Následně je pomocí prizmatu 2'' vymezena jeho poloha vůči ose z (viz schéma 8.2 tabulky 1).

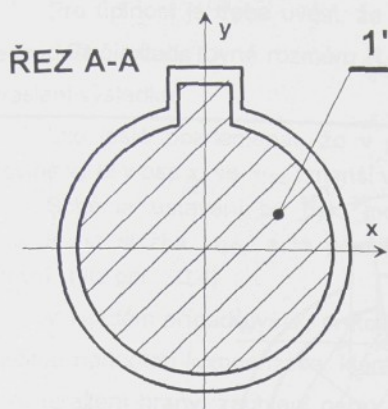
Náboj 1, jako součást podávaná, je ustaven na trnu 1' s vodicím perem (viz též obr. 10.3) s vůlí 2v' mezi válcovou částí jeho průřezu a válcovou částí průřezu trnu 1' a s vůlí 2w' mezi prizmatickými částmi jejich průřezů (viz schéma 5.2 a 9.2 tabulky 1). Přitom jistá minimální hodnota v'_{min} , resp. w'_{min} vůle musí být z hlediska průběhu montážního procesu garantována. Tomu vyhovuje v lícovací soustavě ČSN-ISO pro danou toleranci průměru díry H7 a šířky drážky P9 např. tolerance průměru trnu g6 a šířky jeho vodicího pera c8.



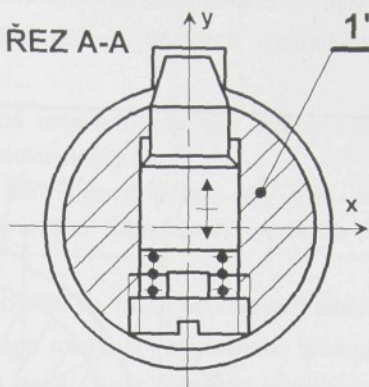
obr. 10.1



obr. 10.2



obr. 10.3



obr. 10.4

Následně je součást 2 ustavena do hrotu 2'' a hrotu trnu 1' a montážním pohybem součásti 1, silou F , při současném odsuvu prizmatu 2'', je náboj nasunut na hřídel.

Ustavením součásti 2 do hrotů je zcela vymezena její poloha v ose x , y i kolem osy z . Úchylka jejího ustavení v souřadných osách pak je pak $\zeta_{S2x} = 0$, $\zeta_{S2y} = 0$ a $\eta_{S2z} = 0$.

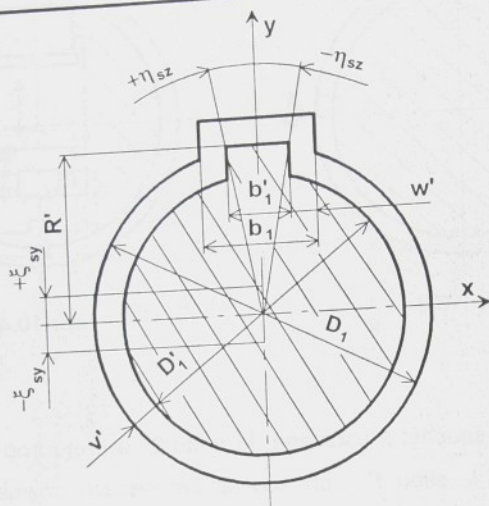
U součásti 1, v daném případě horizontální montáže, působením tíhové síly G dochází k vymezení vůle v ose y a mezní úchylka jejího ustavení v jednotlivých osách je :

$$\zeta_{S1x} = 0, \quad \zeta_{S1y} = v'_{\max} \quad \text{a} \quad \eta_{S1z} = \frac{w'_{\max}}{R}.$$

Tyto vztahy vyplývají z podmínky (12) a (15). Složky mezní úchylky montážní jednotky, která je součtem složek úchylek ustavení součástí 1 a 2, pak jsou

$\zeta_{Sx} = 0$, $\zeta_{Sy} = \zeta_{S1y}$ a $\eta_{Sz} = \eta_{S1z}$. Jejich hodnoty jsou v tabulce 10 a byly určeny pomocí připojených vztahů z hodnot v tabulce 6, 7 a 8. V těchto vztazích jsou pro vůli mezi součásti 1 a trnem 1' uváděny kromě maximálních hodnot $v'_{\max}$ pro válcovou a $w'_{\max}$ pro prizmatickou část průřezu hodnoty $v'_{(\max)}$ a $w'_{(\max)}$, což jsou maximální hodnoty za předpokladu, že rozměry trnu jsou $D_1 = D'_{1\max} = \text{konst.}$ a $b_1 = b'_{1\max} = \text{konst.}$ Mezní hodnoty složek úchylky montážní jednotky pak byly určeny právě z těchto hodnot, aby byl pokud možno vyloučen vliv nepřesností trnu na tyto hodnoty.

Tabulka č.10



$$v'_{\max} = \frac{\Delta_{D_1, \max} - \Delta_{D_1, \min}}{2}, \quad v'_{\min} = \frac{\Delta_{D_1, \min} - \Delta_{D_1, \max}}{2}, \quad v'_{(\max)} = \frac{\Delta_{D_1, \max} - \Delta_{D_1, \min}}{2}$$

$$w'_{\max} = \frac{\Delta_{b_1, \max} - \Delta_{b_1, \min}}{2}, \quad w'_{\min} = \frac{\Delta_{b_1, \min} - \Delta_{b_1, \max}}{2}, \quad w'_{(\max)} = \frac{\Delta_{b_1, \max} - \Delta_{b_1, \min}}{2}$$

$$\zeta_s = \zeta_{sy} = v'_{(\max)}, \quad \zeta_{sx} = 0, \quad \eta_{sz} = \frac{w'_{(\max)}}{R}$$

mm, rad

D		10	20	30	40	50	60
Δ_{D_1}	max	-0,005	-0,007	-0,007	-0,009	-0,009	-0,010
	min	-0,014	-0,020	-0,020	-0,025	-0,025	-0,03
$v'_{\max}$		0,014	0,020	0,020	0,025	0,025	0,029
$v'_{\min}$		0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005
ζ_{sy}		0,010	0,014	0,014	0,017	0,017	0,020
b		3	6	8	12	14	16
Δ_{b_1}	max	-0,060	-0,070	-0,080	-0,095	-0,095	-0,095
	min	-0,074	-0,088	-0,102	-0,122	-0,122	-0,122
$w'_{\max}$		0,032	0,038	0,043	0,052	0,052	0,052
$w'_{\min}$		0,013	0,014	0,014	0,017	0,017	0,017
$w'_{(\max)}$		0,025	0,029	0,032	0,038	0,038	0,038
η_{sz}		0,0040	0,0023	0,0018	0,0016	0,0013	0,0011

Pro úplnost je třeba uvést, že hodnoty výpočtového rozměru R' byly pro zjednodušení vzaty rovné rozměru R , tj. větší, což ale nevede k podstatnějšímu zkreslení výsledku.

Lze ještě poznamenat, že v případě ustavení, kdy osa drážky náboje v rovině xy je v ose x , se η_{sz} zmenší v důsledku složky ζ_{sy} .

Schéma ustavení by bylo možné také pozměnit tak, aby byla zcela eliminována složka η_{sz} a to použitím klínového odpruženého vodícího pera v trnu $1'$ (viz obr. 10.4).

V každém případě však, protože se počítá ve všech souřadných směrech s určitou hodnotou kompenzace, která je dána rozměrem příslušného tvarového prvku (sražení hrany, zaoblení pera), bude třeba zajistit příslušné kompenzační pohyby konstrukcí odpovídajících ustavovacích a dalších prvků přípravku.

Z tabulky 10 je patrné, že mezní úchytky ustavení u dané skupiny montážních jednotek představuje nesouosost a natočení kolem podélné osy, které mohou, v závislosti na průměru a uložení pera, dosahovat hodnot 0,01-0,02 mm a $3'$ až $13'$.

Tabulka 11 obsahuje hodnoty složek dovolené úchytky automatu pro vybranou skupinu montážních jednotek a zvolené schéma ustavení. Tyto hodnoty byly získány pomocí vztahů, které jsou k tabulce připojeny z hodnot uvedených v tabulkách 9 a 10.

Z tabulky vyplývá, že pro danou skupinu výrobků, jako celek, by bylo zapotřebí automat, který je schopen v rovině kolmé na směr montáže polohovat součásti do osy s přesností do $\pm 0,39$ mm a kolem této osy s přesností do $\pm 11^\circ 28'$.

Pro ilustraci je tabulka opět doplněna o hypotetické hodnoty $\eta_{Az \max}$ a $\eta_{Az \min}$, které odpovídají hodnotám $\eta_{z \text{ dov } \max}$ a $\eta_{z \text{ dov } \min}$ v tabulce 9. Úpravou schéma ustavení součásti 1 dle obr. 10.4 by se vyloučilo natočení součásti vůči trnu ($\eta_{sz} = 0$) a dovolená úchytky automatu by dosáhla maximální hodnoty ($\eta_{Az \text{ dov}} = \eta_{z \text{ dov}}$).

Tabulka č. 11

$\zeta_{Ax \text{ dov}} = \zeta_{xy \text{ dov}}, \zeta_{Ay \text{ dov}} = \zeta_{xy \text{ dov}} - \zeta_{sy}, \eta_{Az \text{ dov}} = \eta_{z \text{ dov}} - \eta_{sz}$ $\eta_{Az \max} = \eta_{z \text{ dov } \max} - \eta_{sz}, \eta_{Az \min} = \eta_{z \text{ dov } \min} - \eta_{sz}$						
						mm, rad
D	10	20	30	40	50	60
$\zeta_{Ax \text{ dov}}$	0,405	0,571	0,571	0,572	0,572	0,574

$\zeta_{Ay \text{ dov}}$		0,395	0,557	0,557	0,555	0,555	0,554
$\eta_{Az \text{ dov}}$	d9	-	-	0,2009	0,2424	0,2316	0,2281
	e7	0,2062	0,2103	0,2020	0,2426	0,2317	0,2290
	h9	0,2049	0,2093	0,2014	0,2420	0,2312	0,2286
$\eta_{Az \text{ dov max}}$	d9	-	-	0,2328	0,2672	0,2516	0,2454
	e7	0,2705	0,2560	0,2339	0,2574	0,2518	0,2463
	h9	0,2693	0,2550	0,2333	0,2663	0,2513	0,2459
$\eta_{Az \text{ dov min}}$	d9	-	-	0,1876	0,1703	0,2232	0,2209
	e7	0,1795	0,1913	0,1887	0,2323	0,2233	0,2218
	h9	0,1782	0,1903	0,1881	0,2317	0,2229	0,2214

Dále je ukázáno variantní určení dovolené úchytky vzájemné orientace součástí 1 a 2 a jejich složek pravděpodobnostní metodou, za předpokladů formulovaných v části 6.4.

Tento postup vyžaduje znalost charakteristik (středních hodnot, směrodatných odchylek) rozdělení celkových polovičních "vůlí" mezi válcovými a prizmatickými částmi montovaných ploch součástí 1 a 2, tj. Ev_{Σ} , $\sigma_{v_{\Sigma}}$ a Ew_{Σ} , $\sigma_{w_{\Sigma}}$, kde

$$V_{\Sigma} = V + C_{v1} + C_{v2} \quad \text{a} \quad W_{\Sigma} = W + C_{w1} + C_{w2}.$$

Minimální hodnoty těchto náhodných veličin

$$v_{\Sigma \text{ min}} = Ev_{\Sigma} - \frac{\delta_{v_{\Sigma}}}{2}, \quad \delta_{v_{\Sigma}} = 6\sigma_{v_{\Sigma}} \quad \text{a}$$

$$w_{\Sigma \text{ min}} = Ew_{\Sigma} - \frac{\delta_{w_{\Sigma}}}{2}, \quad \delta_{w_{\Sigma}} = 6\sigma_{w_{\Sigma}}$$

se určí jako uzavírající členy příslušných rozměrových řetězců aplikací vztahů (5) - (7) na tyto výrazy, tj.

$$V_{\Sigma \text{ min}} = C_{v1} + C_{v2} + \Delta_{(C_{v1}+C_{v2})\text{str}} + \Delta_{v \text{ str}} - \frac{\delta_{v_{\Sigma}}}{2}, \quad \text{kde}$$

$$\Delta_{(C_{v1}+C_{v2})\text{str}} = \Delta_{C_{v1}\text{str}} + \Delta_{C_{v2}\text{str}} + \frac{\alpha_{C_{v1}}\delta_{C_{v1}} + \alpha_{C_{v2}}\delta_{C_{v2}}}{2} - \frac{\alpha_{(C_{v1}+C_{v2})}\delta_{(C_{v1}+C_{v2})}}{2}, \quad \text{kde}$$

$$\delta_{(C_{v1}+C_{v2})} = \frac{1}{\lambda_{(C_{v1}+C_{v2})}} \sqrt{\lambda_{C_{v1}}^2 \delta_{C_{v1}}^2 + \lambda_{C_{v2}}^2 \delta_{C_{v2}}^2},$$

$$\Delta_{v \text{ str}} = \frac{1}{2} \left(\Delta_{D_1 \text{ str}} - \Delta_{D_2 \text{ str}} + \frac{\alpha_{D_1} \delta_{D_1} - \alpha_{D_2} \delta_{D_2}}{2} \right) - \frac{\alpha_v \delta_v}{2}, \quad \text{kde}$$

$$\delta_v = \frac{1}{2\lambda_v} \sqrt{\lambda_{D_1}^2 \delta_{D_1}^2 + \lambda_{D_2}^2 \delta_{D_2}^2} \quad \text{a}$$

$$\delta_{v_\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{v_\Sigma}} \sqrt{\lambda_{(c_{v1}+c_{v2})}^2 \delta_{(c_{v1}+c_{v2})}^2 + \lambda_v^2 \delta_v^2}.$$

Vzhledem k předpokladu o rozdělení vůlí (viz 6.4) je možné v daném případě považovat:

$$\alpha_{c_{v1}} = \alpha_{c_{v2}} = \alpha_{(c_{v1}+c_{v2})} = \alpha_v = \alpha_{D_1} = \alpha_{D_2} = 0 \quad \text{a}$$

$$\lambda_{c_{v1}} = \lambda_{c_{v2}} = \lambda_{(c_{v1}+c_{v2})} = \lambda_{v_\Sigma} = \lambda_v = \lambda_{D_1} = \lambda_{D_2} = 1.$$

Tyto vztahy, upravené pro daný případ, jsou připojeny k tabulce 12, která obsahuje výpočtové hodnoty, dle nich získané z výchozích hodnot obsažených v tabulce 7.

Analogické vztahy pro $w_{\Sigma \min}$ lze získat z uvedených formální záměnou v za w a D za b. Jejich upravené tvary, pro daný případ, jsou připojeny k tabulce 13, která obsahuje výpočtové hodnoty dle nich získané z výchozích hodnot obsažených v tabulce 8.

V tabulce 14 jsou uvedeny hodnoty složky $\zeta_{xy \text{ dov}}$, úchyly vzájemné orientace válcové části průřezů montovaných ploch, určené pomocí vztahů (26) a (27) z hodnot uvedených v tabulce 12. Dále hodnoty složky $\eta_{z \text{ dov}}$, úchyly vzájemné orientace prizmatické části průřezů montovaných ploch, určené pomocí vztahu (39) z hodnot uvedených v tabulce 13.

Při určování hodnot $\zeta_{xy \text{ dov}}$ se předpokládalo, stejně jako při aplikaci metody maxima-minima, že $\zeta_{x \text{ dov}} = \zeta_{y \text{ dov}} = \zeta_{xy \text{ dov}}$ a dále, že tato hodnota je limitující a tudíž určující jako maximální přípustná pro zjištění hodnoty η_z .

Tabulka 14 je doplněna o upravené vztahy (26), (27) a (39). Z výsledků obsažených v tabulce je patrné, že montované součásti vybrané skupiny montážních jednotek mohou podle průměru být na pozici montáže vzájemně

Tabulka 12

$$\Delta_{(c_{v1}+c_{v2})str} = \Delta_{c_{v1}str} + \Delta_{c_{v2}str}$$

$$\Delta_{vstr} = \frac{\Delta_{D1str} - \Delta_{D2str}}{2}$$

$$\delta_{(c_{v1}+c_{v2})} = \sqrt{\delta_{c_{v1}}^2 + \delta_{c_{v2}}^2}$$

$$\delta_v = \frac{1}{2} \sqrt{\delta_{D1}^2 + \delta_{D2}^2}$$

$$\delta_{v\Sigma} = \sqrt{\delta^2_{(c_{v1}+c_{v2})} + \delta_v^2} = 6\sigma_{v\Sigma}$$

$$Ev_{\Sigma} = c_{v1} + c_{v2} + \Delta_{(c_{v1}+c_{v2})str} + \Delta_{vstr}$$

$$Ev_{\Sigma}^2 = \sigma_{v\Sigma}^2 + (Ev_{\Sigma})^2$$

mm

D	10	20	30	40	50	60
$c_{v1} + c_{v2}$	0,64	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
$\Delta_{(c_{v1}+c_{v2})str}$	0	0	0	0	0	0
Δ_{vstr}	0,014	0,020	0,020	0,025	0,025	0,030
Ev_{Σ}	0,654	0,890	0,890	0,895	0,895	0,900
$\delta_{v\Sigma}$	0,112	0,113	0,113	0,113	0,113	0,114
$\sigma_{v\Sigma}$	0,0186	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	0,0190
Ev_{Σ}^2	0,428	0,792	0,792	0,801	0,801	0,810

vertikálně i horizontálně vyoseny o 0,60 až 0,80 mm a natočeny kolem podélné osy podle uložení pera v drážce o $7^{\circ}51'$ až $9^{\circ}7'$.

Úchylku montážní jednotky pro dané schéma ustavení lze určit rovněž pravděpodobnostní metodou a to ze vztahů analogických vztahům v tabulce 10, tj.

$$\zeta_{Sy} = v_{\max} = \zeta_s, \quad \eta_{sz} = \frac{w_{\max}}{R},$$

Tabulka 13

$$\Delta_{(c_{w1}+c_{w2})str} = \Delta_{c_{w1}str} + \Delta_{c_{w2}str}$$

$$\Delta_{wstr} = \frac{\Delta_{b1str} - \Delta_{b2str}}{2}$$

$$\delta_{(c_{w1}+c_{w2})} = \sqrt{\delta_{c_{w1}}^2 + \delta_{c_{w2}}^2}$$

$$\delta_w = \frac{1}{2} \sqrt{\delta_{b1}^2 + \delta_{b2}^2}$$

$$\delta_{w\Sigma} = \sqrt{\delta^2_{(c_{w1}+c_{w2})} + \delta_w^2} = 6\sigma_{w\Sigma}$$

$$Ew_{\Sigma} = c_{w1} + c_{w2} + \Delta_{(c_{w1}+c_{w2})str} + \Delta_{wstr}$$

$$Ew_{\Sigma}^2 = \sigma_{w\Sigma}^2 + (Ew_{\Sigma})^2$$

mm

D		10	20	30	40	50	60
$c_{w1} + c_{w2}$		1,8	3,3	4,3	6,3	7,3	8,3
$\Delta_{(c_{w1}+c_{w2})str}$		viz $\Delta_{c_{w2}str}$ v tab. 8					
Δ_{wstr}	d9	-	-	0,058	0,071	0,071	0,071
	e7	-0,002	-0,001	-0,001	+0,001	+0,001	+0,001
	h9	-0,009	-0,012	-0,015	-0,018	-0,018	-0,018
Ew_{Σ}	d9	-	-	4,312	6,316	7,316	8,303
	e7	1,788	3,286	4,283	6,281	7,281	8,289
	h9	1,784	3,280	4,276	6,265	7,265	8,265
$\delta_{w\Sigma}$	d9	-	-	0,108	0,111	0,111	0,11
	e7	0,101	0,101	0,102	0,103	0,103	0,103
	h9	0,102	0,103	0,104	0,106	0,106	0,106
$\sigma_{w\Sigma}$	d9	-	-	0,0180	0,0185	0,0185	0,0191
	e7	0,0168	0,0169	0,0170	0,0171	0,0171	0,0171
	h9	0,0170	0,0172	0,0174	0,0177	0,0177	0,0177
Ew_{Σ}^2	d9	-	-	18,597	39,892	53,524	68,940
	e7	3,197	10,797	18,348	39,892	53,020	68,583
	h9	3,185	10,761	18,284	39,250	52,780	68,310

Tabulka 14

$$\sigma_{\zeta} = 1,308 \sqrt{0,429 E v_{\Sigma}^2 - 2,292 \sigma_{v_{\Sigma}}^2} - 0,547 E v_{\Sigma}$$

$$\zeta_{xy \text{ dov}} = 3 \sigma_{\zeta}$$

$$\eta_{z \text{ dov}} = \frac{0,289}{R} \left\{ \sqrt{(E w_{\Sigma}^2 - 74,469 (\sigma_{w_{\Sigma}}^2 + \sigma_{\zeta}^2) + 8,274 (E w_{\Sigma})^2 - E w_{\Sigma})^2} \right.$$

mm, rad

D	10	20	30	40	50	60
σ_{ζ}	0,200	0,275	0,275	0,275	0,275	0,277
$\zeta_{xy \text{ dov}}$	0,600	0,825	0,825	0,826	0,826	0,833
$\eta_{z \text{ dov}}$	d9	-	0,1389	0,1597	0,1504	0,1467
	e7	0,1547	0,1484	0,1379	0,1588	0,1497
	h9	0,1545	0,1485	0,1376	0,1584	0,1493

Tabulka 15

$$\zeta_{Ax \text{ dov}} = \zeta_{xy \text{ dov}} \quad , \quad \zeta_{Ay \text{ dov}} = \sqrt{\zeta_{xy \text{ dov}}^2 - \zeta_{Sy}^2} \quad , \quad \eta_{Az \text{ dov}} = \sqrt{\eta_{z \text{ dov}}^2 - \eta_{Sz}^2}$$

mm, rad

D	10	20	30	40	50	60
$\zeta_{Ax \text{ dov}}$	0,600	0,825	0,825	0,826	0,826	0,833
$\zeta_{Ay \text{ dov}}$	0,599	0,824	0,824	0,825	0,825	0,832
$\eta_{Az \text{ dov}}$	d9	-	0,1389	0,1596	0,1503	0,1466
	e7	0,1546	0,1483	0,1378	0,1587	0,1496
	h9	0,1544	0,1484	0,1375	0,1583	0,1492

kde hodnoty $v'_{\max}$ a $w'_{\max}$ se určí opět jako uzavírající členy řetězce příslušných rozměrů sdužených montovaných ploch. V tomto případě se však aplikují vztahy (5), (6) a (7), tj.

$$v'_{\max} = \Delta'_{v \text{ str}} + \frac{\delta_v}{2} \quad , \quad \text{kde}$$

$$\Delta_{v'str} = \frac{1}{2} \left[\left(\Delta_{D_1'str} - \Delta_{D_1'str} \right) + \frac{\alpha_{D_1} \delta_{D_1} - \alpha_{D_1'} \delta_{D_1'}}{2} \right] - \frac{\alpha_v \delta_v}{2},$$

$$\delta_v = \frac{1}{2\lambda_v} \sqrt{\lambda_{D_1}^2 \delta_{D_1}^2 + \lambda_{D_1'}^2 \delta_{D_1'}^2}.$$

Zde lze předpokládat, že $\alpha_{D_1} = \alpha_{D_1'} = \alpha_v = 0$ a $\lambda_{D_1} = \lambda_{D_1'} = \lambda_v = 1$.

Analogicky lze formální záměnou symbolu v za w a D za b v těchto vztazích, získat vztahy pro w'_{max} .

Aby byl omezen vliv nepřesností trnu $1'$ na úchytku montážní jednotky, bereme opět rozměry D_1 a b_1' trnu jako konstantní, rovné jejich maximálním hodnotám. Potom maximální hodnota poloviny vůle $v_{(max)}$ a $w_{(max)}$ bude dána součtem polovičních hodnot garantované minimální vůle a rozptylu rozměrů D_1 a b_1 montované plochy součásti 1. Za uvedených předpokladů je hodnota poloviny minimální vůle shodná s hodnotami uvedenými v tabulce 10 a rozptyl rozměru D_1 , resp. b_1 je roven jeho toleranci δ_{D_1} , resp. δ_{b_1} . Proto lze hodnoty složek úchytky montážní jednotky i v tomto případě brát z tabulky 10.

Dovolené hodnoty úchytky automatu určené pravděpodobnostní metodou jsou uvedeny v tabulce 15. Tyto hodnoty byly získány pomocí vztahů v záhlaví tabulky z dovolených hodnot uvedených v tabulce 14 a 10. Z tabulky 15 je zřejmé, že požadovaná minimální přesnost polohování automatu pro danou skupinu montážních jednotek činí $\pm 0,59$ mm v ose x a y a $\pm 7^\circ 45'$ kolem osy z . Z porovnání těchto hodnot s hodnotami v tabulce 11 získanými metodou maxima-minima vyplývá, že požadovaná přesnost automatu v ose x a y , určená metodou pravděpodobnostní, je asi 1,5x nižší. Naopak požadavek na přesnost polohy kolem osy z roste zhruba stejně i přes rozšíření vůle uložení pera v drážce. V daném případě je tato relace příznivá, protože limitující je právě přípustný posuv v ose x a y , odvozený z vůle ve válcové části profilu, která je relativně malá. Zmenšení možného natočení kolem osy z , vzhledem k jeho značným hodnotám, nepředstavuje prakticky žádné omezení. Takováto změna dovolených hodnot složek úchytky vzájemné orientace může mít v určitých případech vliv na rozhodování o reálnosti automatické montáže. Je třeba si však uvědomit, že nese riziko určitého množství (v tomto případě 0,27 %) nesmontovaných jednotek.

Celkově pak lze vyvodit pro daný typ montážní jednotky závěr, že i požadovaná přesnost stanovená metodou maxima - minima, která zaručuje

100 % smontovatelnost, je přijatelná a není třeba se uchýlovat k pravděpodobnostní metodě.

Z porovnání hodnot požadované přesnosti získané metodou maxima-minima s charakteristikami přesnosti montážních strojů totiž vyplývá, že daná skupina montážních jednotek jako celek, na přesnost automatu klade nároky, které nevybočují z rozsahu přesnosti v praxi běžně dosahované. Automatickou montáž takových výrobků je tedy možné uskutečnit bez větších obtíží, což svědčí o značné míře jejich technologičnosti.

Je třeba však poznamenat, že tato technologičnost je dána značně propracovanou, normalizovanou konstrukcí. Na druhé straně nebyla tato konstrukce řešena z aspektu automatické montáže, což je zajímavé a potenciálně skrývá z obecného pohledu ještě další možnosti zvýšení technologičnosti.

Také je třeba si uvědomit skutečnost, že požadovaná přesnost automatu se vztahuje na celou skupinu výrobků. Tzn., že se jedná o přesnost universálního stroje pro montáž celé skupiny. V případě jediného výrobku z dané skupiny by se požadavek na přesnost automatu ve většině případů snížil.

10. ZÁVĚR

Navržená metodika umožňuje hodnocení technologičnosti konstrukce montážní jednotky z pohledu automatické montáže jejích částí.

Hladký průběh procesu automatické montáže strojních součástí závisí na řadě faktorů, z nich rozhodující je rozměrová přesnost montážní jednotky, ze které navržená metodika vychází.

Tento přístup umožňuje technologičnost konstrukce montážní jednotky vyjádřit kvantitativně, jako velikost maximální vzájemné úchyly jejích částí na pozici montáže, před jejich spojením v danou jednotku, při které je toto spojení ještě možné. Tato úchylna je nazývána dovolenou.

Postup hodnocení je takový, že pro danou montážní jednotku, tj. konkrétní tvar sdružených montovaných ploch jejích částí, se stanoví podmínka smontovatelnosti představující matematický vztah mezi vzájemnou úchylnou částí montážní jednotky před jejich spojením a její dovolenou hodnotou. Potom se provede analýza parametrů částí montážní jednotky, tj. rozměrů jejích montovaných ploch a současně ploch ustavovacích, vč. rozměrů udávajících jejich polohu na těchto částech. Přitom ustavovací plochy obecně nejsou dány, ale vyplývají ze zvoleného schématu ustavení částí montážní jednotky na pozici montáže. Volba optimálního schématu je rovněž předmětem analýzy.

Aplikací zjištěných parametrů montážní jednotky na příslušnou podmínku smontovatelnosti lze zjistit dovolenou hodnotu úchyly vzájemné orientace jejích částí na pozici montáže. Současně lze zjistit maximální úchylnu ustavení těchto částí na montážní pozici.

Dovolená úchylna, kterou determinuje vůle mezi montovanými plochami, musí pokrýt skutečnou úchylnu, vyvolanou nepřesností montážního automatu (úchylnu automatu) a montážní jednotky samotné (úchylnu montážní jednotky).

Snížením dovolené hodnoty vzájemné úchyly o hodnotu úchyly montážní jednotky lze zjistit dovolenou úchylnu automatu. Tu pak je možné použít k posouzení technologičnosti dané montážní jednotky. Přitom kritériem je běžně dosahovaná přesnost automatu, který přichází v daných podmínkách v úvahu.

Tato metodika je obecná, její vstupy mají pouze technický charakter a výstup je tedy objektivní. Nicméně existuje jistá závislost výsledků její aplikace na ekonomických faktorech hromadnosti montáže, na kterou je aplikována.

Zde je možné pouze uvést, že se tyto faktory projeví v konkrétní hodnotě kritériální přesnosti, která bude obecně s rostoucí hromadností výroby dané montážní jednotky, ale především příslušného automatu, resp. jeho funkčních jednotek, vyšší.

Hromadnost se potom projevuje prostřednictvím takových vlivů, jako je míra konstrukční a technologické normalizace dané montážní jednotky, normalizace a specializace výroby universálních částí automatů dodávaných na trh, ale také situace u výrobce konkrétního automatu jako celku, tj. úroveň jeho projekce a výroby, zejména co se týče přesnosti.

V případě, že technologičnost konstrukce výrobku, zjištěná výše uvedeným způsobem, je nízká, tj. dovolená úchylna automatu je relativně malá, je třeba ji zvýšit zásahem do konstrukce výrobku.

Tento zásah spočívá v rozšíření "vůle" mezi montovanými plochami jeho částí. Jestliže pomineme možnost změny uložení, na kterém závisí funkce výrobku, naskýtají se dvě možnosti. První spočívá v zúžení tolerancí rozměrů montovaných ploch na tolerance operační, někdy nazývané tolerance pro automatickou montáž. Tím se však snižuje technologičnost konstrukce výrobku z hlediska obrábění jeho částí, tj. zvyšují se náklady na toto obrábění. Zde je třeba poznamenat, že tato možnost sama o sobě neumožňuje podstatně dovolenou úchylnu zvětšit. Druhá, běžně využívaná, možnost spočívá v konstrukční úpravě náběhů montovaných ploch, případně v její korekci, pokud již byla navržena, ale je nedostatečná. Tato úprava vyžaduje adekvátní, tj. pružné, ustavení alespoň jedné z částí montážní jednotky na pozici montáže. To umožní pohyb kompenzující vzájemnou úchylnu v mezích její dovolené hodnoty, tímto způsobem zvětšené.

Obě možnosti zvýšení technologičnosti lze kombinovat a navrhovaná metodika je akceptuje. Umožňuje přesné určení velikosti příslušných zásahů do konstrukce výrobku a kontrolu jejich výsledků.

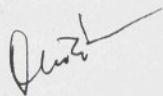
Teprve po vyčerpání těchto možností lze otázku stanovení technologičnosti konstrukce montážní jednotky uzavřít.

Jestliže ani pak dovolená úchylna automatu, kompenzovaná usměrněným relativním pohybem částí montovaného výrobku odvozeným od hlavního montážního pohybu, není dostačující, je třeba od automatické montáže upustit nebo volit automat s vyšší adaptabilitou, vymykající se běžnému provedení. Ten pak realizuje zmíněný kompenzační pohyb nezávisle na hlavním montážním pohybu a tedy, přísně vzato, i konstrukci montážní jednotky. Obecně jde tedy o zásah do automatu, který nespádá do problematiky technologičnosti konstrukce výrobku.

Je však nutno podotknout, že míra adaptability, a tím i cena automatu může být různá právě v závislosti na technologičnosti montovaného výrobku.

Z toho plyne, že prioritním při technologickém projektování procesu automatické montáže je stanovení technologičnosti konstrukce montovaného výrobku a prověření možnosti jejího zvýšení. Poté je třeba formulovat požadavky na příslušný automat a na jejich základě uskutečnit jeho volbu či vývoj v případě, že automatická montáž je reálná.

I když v praxi lze očekávat potřebu dalších, doplňujících, technicko-ekonomických propočtů, prokazujících efektivnost nasazení montážního automatu v konkrétních podmínkách, představuje navržená metodika důležitý nástroj pro rozhodování. Dovoluje poměrně rychlou orientaci v dané problematice a vyjeví především opodstatněnost případných dalších kalkulací, nebo nákladných experimentů. V tom lze spatřovat její smysl.



[1]

[2]

[3]

[4]

[5]

[6]

[7]

[8]

[9]

[10]

[11]

[12]

[13]

[14]

[15]

[16]

[17]

[18]

LITERATURA

- [1] ČSN 01 3204 Výkresy ve strojírenství. Druhy výrobků. Praha, ÚNM 1980.
- [2] ČSN 01 4201 Základní pravidla zaměnitelnosti. Jednotná soustava tolerancí a uložení RVHP. Všeobecná ustanovení, řady tolerancí a základních úchylek (eqv. ISO 286-1:1988). Praha, ÚNM 1990.
- [3] ČSN 01 4240 Základní pravidla vyměnitelnosti. Mezní úchytky netolero-
vaných rozměrů. Praha, ÚNM 1982.
- [4] ČSN 01 4990. Válcové konce hřídelů. Praha, ÚNM 1988.
- [5] ČSN 02 2507. Pera a drážky. Přiřazení k hřídelům. Praha, ÚNM 1962.
- [6] ČSN 02 2565. Pera těsná s mezními úchytkami e7 nebo h9. Praha, ÚNM
1964.
- [7] ČSN 02 2570. Pera výměnná s 2 přídržnými šrouby. Praha, ÚNM 1964.
- [8] ČSN 02 2575. Pera výměnná s 1 přídržným šroubem. Praha, ÚNM 1964.
- [9] Dobrzański, T.: Przyrządy i uchwyty obróbkowe. Warszawa, WNT 1963.
- [10] Dunajev, P.F.: Rozměrnyje cepji. Moskva, Mašgiz 1963.
- [11] Dušák, K.: Pravděpodobnost smontovatelnosti při automatické montáži.
Strojírenství, 28, 1978, čís. 12.
- [12] Dušák, K.: Přesnost vzájemné orientace při automatické montáži.
Strojírenství 29, 1979, čís. 3.
- [13] Dušák, K.: Struktura rozměrových řetězců strojírenských výrobků.
Strojírenství 35, 1985, čís. 5.
- [14] Dušák, K.: Technologičnost konstrukce při automatické montáži z hlediska
přesnosti. Strojírenství, 28, 1978, čís. 11.
- [15] Dušák, K.: Terminologie v oblasti teorie montáže. Československá
standardizace (9), 1984, č. 3.
- [16] Dušák, K.: Vzájemná orientace při automatické montáži. Kandidátská
disertační práce. Liberec, VŠST 1977.

- [17] Dvojnych, N.A.- Peterson, A.A.: Rotorno-konvejernyje avtomatičeskije liniji v gybkich avtomatizirovannyh proizvodstvach. Kiev, Téchnika 1987.
- [18] Fu, K. - Gonzales, R. - Li, K.: Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. New York, McGraw -Hill Book Company 1987.
- [19] Gerasimov, A.G.: Točnosť sboročnyh avtomatov. Moskva, Mašinostrojenije 1972.
- [20] GOST 16319-80. Cepji rozměrnije (těrminy, opredělenija i oboznačeniya). Moskva, Gostandart 1972.
- [21] GOST 16320-80 Cepji rozměrnije (metody račeta ploskich cepjej). Moskva, Gostandart 1972.
- [22] Heginbotham, W.B.: Programmable assembly. New York, IFS Ltd. 1984.
- [23] Chvála, B.-Nedbal, J.-Dunay, G.: Automatizace. Praha, SNTL 1987.
- [24] Jachimovič, V.A.: Orientační mechanismy montážních automatů a robotů. Praha, SNTL 1980.
- [25] Lebedovskij, M.S.-Vejc, V.L -Fedotov, A.I.: Naučnyje osnovy avtomatičeskoj sborki. Leningrad, Mašinostrojenije 1985.
- [26] Matička, R.-Talácko, J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. Praha, SNTL 1980.