TEÓRIA Č.6

TOLEROVANIE A ROZMEROVÉ OBVODY

Tolerovanie

Menovitý rozmer M je teoretický rozmer predpísaný výkresom.

Nulová čiara je priamka odpovedajúca menovitému rozmeru, ku ktorej sú v grafickom znázornení tolerančných zón a uložení vzťahované odchýlky rozmeru (Obr.6.1).

Horný hraničný (medzný) rozmer ${}_{H}M$ (HTM) je najväčší dovolený rozmer skutočnej plochy súčiastky (v úlohe č.3 je definovaný ako horná tolerančná medza *HTM*).

Dolný hraničný (medzný) rozmer ${}_{D}M$ (DTM) je najmenší dovolený rozmer skutočnej plochy súčiastky (v úlohe č.3 je definovaný ako dolná tolerančná medza *DTM*).

Odchýlka je rozdiel medzi rozmerom (skutočným, hraničným atď.) a odpovedajúcim menovitým rozmerom.

Horná hraničná (medzná) odchýlka ${}_{H}T$ je rozdiel medzi horným hraničným a menovitým rozmerom

$$ {}_{H}T = {}_{H}M - M \tag{6.1}$$

Dolná hraničná (medzná) odchýlka ${}_{D}T$ je rozdiel medzi dolným hraničným a menovitým rozmerom

$$ {}_{D}T = {}_{D}M - M \tag{6.2}$$

Tolerancia (veľkosť tolerančnej zóny) T je rozdiel medzi hraničnými rozmermi alebo hraničnými odchýlkami

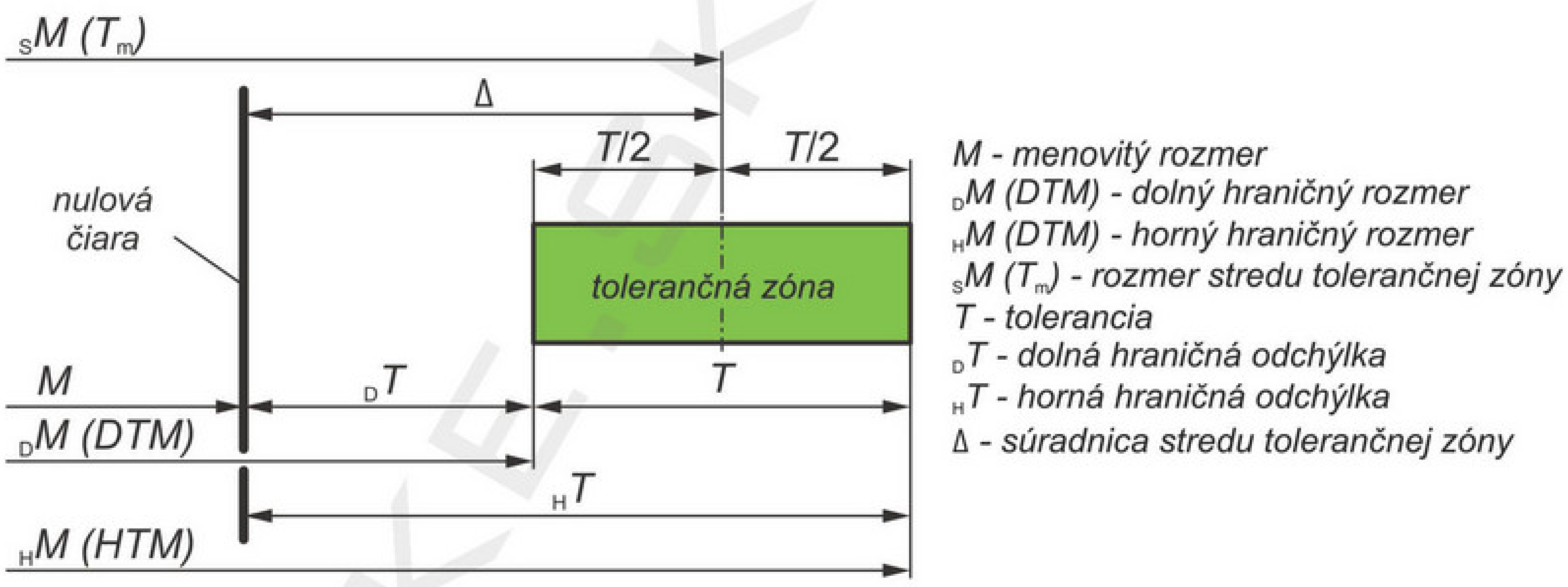
$$ T = {}_{H}M - {}_{D}M = {}_{H}T - {}_{D}T \tag{6.3}$$

Keďže ${}_{H}M > {}_{D}M$ resp. ${}_{H}T > {}_{D}T$ platí, že tolerancia je vždy väčšia ako nula

$$ T > 0 \tag{6.4}$$

Rozmer stredu tolerančnej zóny ${}_{S}M$ (T_m) je súčtom menovitého rozmeru a súradnice stredu tolerančnej zóny

$$ {}_{S}M = \frac{{}_{H}M + {}_{D}M}{2} = M + \frac{{}_{H}T + {}_{D}T}{2} = M + \Delta \tag{6.5}$$



Obr.6.1 Základné parametre zameniteľnosti a ich vzťah k tolerančnej zóne

Tolerančný stupeň sa označuje spojením písmen IT s číslom. Sústava ISO udáva celkovo 20 tolerančných stupňov (IT01 až IT18) (Obr.6.2 vpravo). (Nahradzuje pojem „stupeň presnosti“).

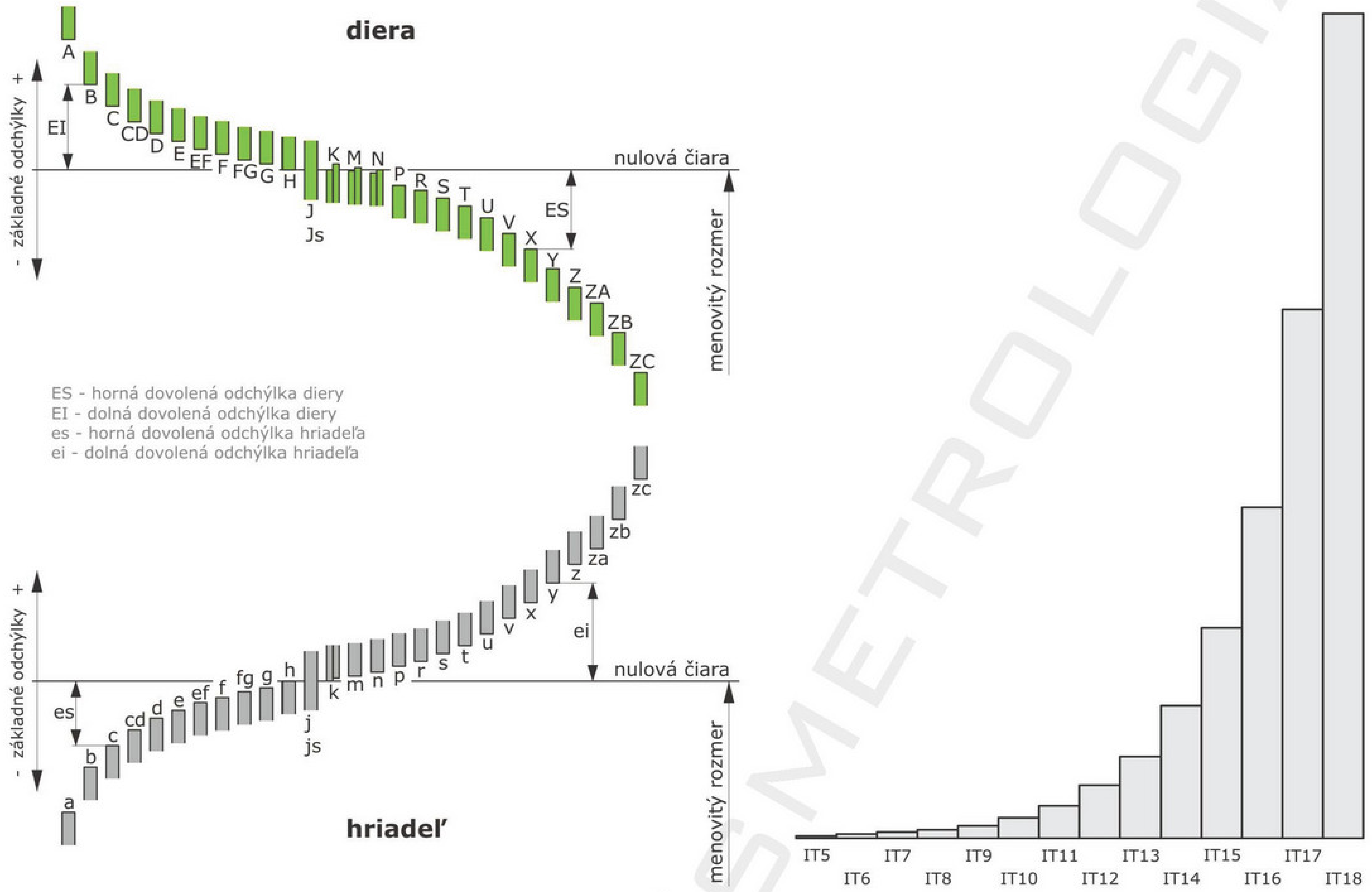
Poloha tolerančnej zóny vzhľadom k nulovej čiare sa označuje písmenami veľkej abecedy pre diery (A ... ZC) alebo malej abecedy pre hriadele (a ... zc) (Obr.6.2 vľavo).

Tolerančná trieda sa zapisuje spojením písmena s číslom, ktoré určujú polohu tolerančnej zóny (písmeno) a tolerančný stupeň (číslo), napr. H8, n6, k7, atď.

Tolerovaný rozmer sa zapisuje tolerančnou triedou priradenou k menovitému rozmeru, napr. 20H6. Tolerančná trieda H6 je označenie pre dieru (veľké písmeno abecedy) v šiestom tolerančnom stupni, ktorej základná odchýlka (v tomto prípade dolná lebo je bližšie k nulovej čiare) je rovná nule.

Hranica maxima materiálu (*MML*) je termín, ktorý sa vzťahuje na ten hraničný rozmer, ktorému odpovedá najväčší objem materiálu, tj. horný hraničný rozmer vonkajších prvkov (hriadele) a dolný hraničný rozmer vnútorných prvkov (dier). (Nahradzuje pojem „dobrá strana“).

Hranica minima materiálu (*LML*) je termín, ktorý sa vzťahuje na ten hraničný rozmer, ktorému odpovedá najmenší objem materiálu, tj. dolný hraničný rozmer vonkajších prvkov (hriadele) a horný hraničný rozmer vnútorných prvkov (dier). (Nahradzuje pojem „nepodarková strana“).



Obr.6.2 Vľavo: Polohy tolerančných zón pre dieru a hriadeľ
Vpravo: Relatívne veľkosti tolerančných zón v závislosti na tolerančnom stupni

Rozmerové obvody

Technické objekty sa povačšine skladajú z množstva súčiastok (prvkov). Súčiastky sa skladajú do montážnych jednotiek, ktorých spájaním sa vytvárajú celky, čiže technické objekty. Montáž jednotlivých súčasti do skupín a skupín do celkov vyžaduje, aby boli dodržiavané rozmerové tolerancie kvôli jednoduchej montáži a funkčnej spôsobilosti výrobku.

Rozmerový obvod (RO) je definovaný ako konečná postupnosť na seba nadväzujúcich mier (rozmerov) vytvárajúcich geometricky uzavretý okruh.

Rozmerové obvody rozoznávame

- podľa toho, k akým prvkom sa vzťahujú	- RO kót na súčiastke, - RO kót na skupine súčiastok,
- podľa usporiadania	- lineárne (priamkové), - nelineárne (plošné, priestorové),
- podľa určenia	- konštrukčné, - technologické, - metrologické,
- podľa závislosti na čase	- statické, - kinematické.

Člen rozmerového obvodu je ktorýkoľvek z rozmerov, ktorý tvorí rozmerový obvod.

Uzatvárací (výsledný) člen je člen RO, ktorý je východiskovým pri zadaní úlohy alebo je posledným pri riešení úlohy.

Zväčšujúci člen je člen RO, ktorého zväčšovaním sa uzatvárací člen zväčšuje.

Zmenšujúci člen je člen RO, ktorého zväčšovaním sa uzatvárací člen zmenšuje.

Pre statický rozmerový obvod platí

$$V = f(M_1, M_2, \cdots, M_i, \cdots, M_n) \tag{6.6}$$

kde V je výsledný rozmer,

M_i je čiastkový rozmer.

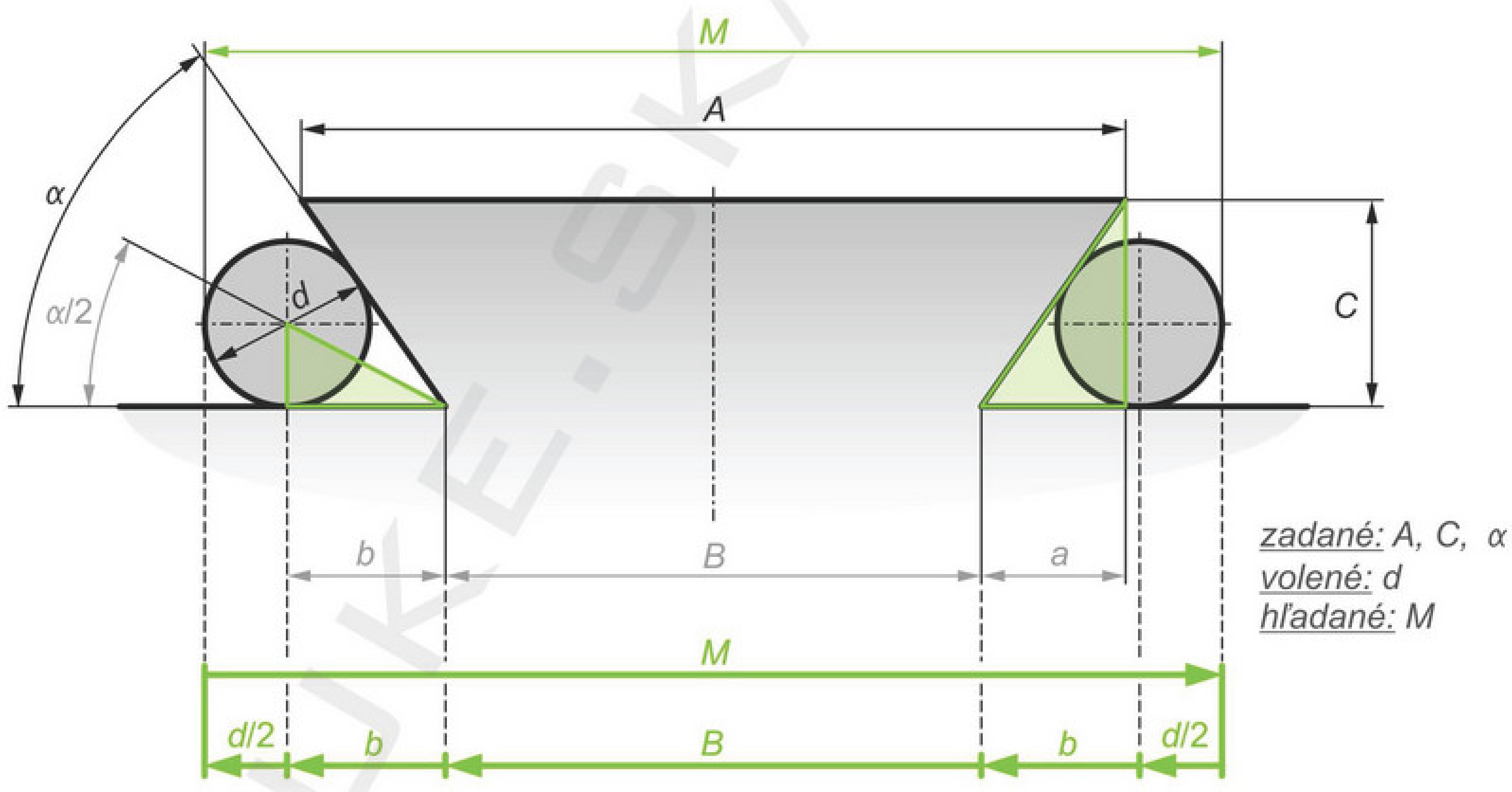
Rozmerové obvody možno obecne riešiť dvoma metódami

- **metódou úplnej zameniteľnosti**, kedy sa využíva metóda výpočtu MAX-MIN,
- **metódou neúplnej zameniteľnosti**, kedy sa využíva štatistická metóda výpočtu.

MAX-MIN – (deterministický prístup) je založená na predpoklade, že sú hľadané krajné hodnoty tolerancií a odchýlok (zabezpečuje plnú vymeniteľnosť súčiastok). Súčiastky sú vyrobené v najnepriaznivejších hodnotách rozmerov (na horný resp. dolný hraničný rozmer). V praxi sa to vyskytuje zriedkavo. Výhodou je, že zaručuje úplnú vzájomnú zameniteľnosť, čo je bežnou požiadavkou, ak sa súčiastky vyrábajú ako náhradné diely. Nevýhodou je, že pri riešení čiastkových rozmerov z výsledného rozmeru dáva zbytočne úzke tolerancie.

Štatistická – (stochastický prístup) berie do úvahy pravdepodobnosť rozdelenia tolerancií a odchýlok. Predpokladá, že odchýlky sa vo výrobnom procese vyskytujú ako náhodné veličiny a že súčiastky sú vyrábané na stredy tolerančných polí. Z toho dôvodu sa pre riešenie uplatňujú vzťahy pre sčítanie stredných hodnôt a smerodajných odchýlok, ktoré platia v teórii pravdepodobnosti a matematickej štatistiky. Táto metóda dáva optimistickejšie výsledky, čo sa týka nepresnosti, ako metóda MAX-MIN. Pri určovaní čiastkových rozmerov z výsledného rozmeru dáva širšie tolerancie, z čoho vyplýva, že sa ušetrí na výrobných nákladoch. Prináša tým väčší zisk, čím je počet členov obvodu väčší a čím je obvod zložitejší. Upozorňuje aj na fakt, že presnosť výsledného člena je najviac ovplyvnená najhorším (najväčším) členom.

Výpočet tolerancie a hraničných odchýlok pre výsledný rozmer prichádza do úvahy len pri kontrolných výpočtoch, tzn. keď je už RO vyriešený. V praxi je častejšia situácia keď sú známe požiadavky na výsledný člen (hraničné odchýlky a tolerancia) a je potrebné navrhnúť tolerancie a hraničné odchýlky čiastkových členov tak aby boli zachované požiadavky na výsledný člen. Takáto úloha je mnohoznačná a jej riešenie sa môže robiť rôzne podľa konkrétnych podmienok. Najčastejšie je uplatnenie metódy skúšobných výpočtov kedy sa vypočíta orientačná stredná hodnota tolerancie na základe ktorej sa podľa uváženia navrhne niekoľko variantov tolerancií pre čiastkové členy.



Obr.6.3 Príklad rozmerového obvodu

Príklad jednoduchého statického rozmerového obvodu je na Obr.6.3. Ide o schému kontroly vonkajšej rybinovej drážky pomocou merania rozmeru cez valčeky pre ktorý platí

$$M - \frac{d}{2} - b - B - b - \frac{d}{2} = 0$$

$$M = B + 2 \cdot b + d = (A - 2 \cdot a) + 2 \cdot b + d = \left(A - 2 \cdot \frac{C}{\operatorname{tg}\alpha}\right) + 2 \cdot \frac{d}{2 \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} + d$$

$$M = A - \frac{2 \cdot C}{\operatorname{tg}\alpha} + d \cdot \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}\right) \tag{6.7}$$

Metóda MAX-MIN

Všeobecne platí

$$MAX = MAX - MIN \tag{6.8}$$

$$MIN = MIN - MAX \tag{6.9}$$

Tolerancia výsledného rozmeru

$$T_{\mathrm{V}} = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial V}{\partial M_i} \right| \cdot T_i \tag{6.10}$$

kde $\frac{\partial V}{\partial M_i}$ je parciálna citlivosť čiastkového rozmeru,

T_i tolerancia čiastkového rozmeru.

Horná a dolná hraničná odchýlka

$$_{\mathrm{H}}T_{\mathrm{V}} = \sum_{i=1}^{k} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot {}_{\mathrm{H}}T_i - \sum_{i=k+1}^{n} \left| \frac{\partial V}{\partial M_i} \right| \cdot {}_{\mathrm{D}}T_i \tag{6.11}$$

$$_{\mathrm{D}}T_{\mathrm{V}} = \sum_{i=1}^{k} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot {}_{\mathrm{D}}T_i - \sum_{i=k+1}^{n} \left| \frac{\partial V}{\partial M_i} \right| \cdot {}_{\mathrm{H}}T_i \tag{6.12}$$

kde $i = 1 \cdots k$ sú zväčšujúce rozmery (členy) RO, pre ktoré platí $\frac{\partial V}{\partial M_i} > 0$,

$i = k+1 \cdots n$ sú zmenšujúce rozmery (členy) RO, pre ktoré platí $\frac{\partial V}{\partial M_i} < 0$.

Ak $\left| \frac{\partial V}{\partial M_i} \right| = 1$ hovoríme o lineárnom RO,

$\left| \frac{\partial V}{\partial M_i} \right| \neq 1$ hovoríme o nelineárnom RO.

Štatistická metóda

Tolerancia výsledného rozmeru

$$T_{\mathrm{V}} = \frac{1}{k_{\mathrm{V}}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot T_i \cdot k_i \right)^2} \tag{6.13}$$

kde k_i je koeficient pomerného rozpätia čiastkového rozmeru,

k_{V} je koeficient pomerného rozpätia výsledného rozmeru.

pričom všeobecne platí $k = \frac{6s}{T}$ (pre koeficient spoľahlivosti 0,997), v zjednodušenom prípade je $k_i = k_{\mathrm{V}} = 1$.

Horná a dolná hraničná odchýlka

$$_{\mathrm{H}}T_{\mathrm{V}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot \left(\Delta_i + \frac{1}{2} \cdot \alpha_i \cdot T_i \right) - \frac{1}{2} \cdot \alpha_{\mathrm{V}} \cdot T_{\mathrm{V}} + \frac{1}{2} \cdot T_{\mathrm{V}} \tag{6.14}$$

$$ {}_{D}T_V = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot \left(\Delta_i + \frac{1}{2} \cdot \alpha_i \cdot T_i \right) - \frac{1}{2} \cdot \alpha_V \cdot T_V - \frac{1}{2} \cdot T_V \tag{6.15} $$

kde Δ_i je súradnica stredu tolerančnej zóny čiastkového rozmeru,

α_i, α_V sú koeficienty pomernej asymetrie čiastkového a výsledného rozmeru.

Súradnica stredu tolerančnej zóny čiastkového rozmeru

$$ \Delta_i = \frac{{}_{H}T_i + {}_{D}T_i}{2} \tag{6.16} $$

Súradnica stredu tolerančnej zóny výsledného rozmeru

$$ \Delta_V = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot \left(\Delta_i + \frac{1}{2} \cdot \alpha_i \cdot T_i \right) - \frac{1}{2} \cdot \alpha_V \cdot T_V \tag{6.17} $$

Pre hornú a dolnú hraničnú odchýlku platí

$$ {}_{H,D}T_V = \Delta_V \pm \frac{1}{2} \cdot T_V \tag{6.18} $$

Za predpokladu, že $\alpha_i = \alpha_V = 0$ platí

$$ \Delta_V = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial V}{\partial M_i} \cdot \Delta_i \tag{6.19} $$

<u>**Výsledok**</u> pre obe metódy je možné zapísať v tvare pre

- <u>hraničné odchýlky</u>

$$ V = M_{V\,{}_{D}T_V}^{\;\;{}_{H}T_V} \text{ [jednotka]} \tag{6.20} $$

- <u>hraničné rozmery</u>

$$ {}_{H}V = \left(M_V + {}_{H}T_V \right) \text{ [jednotka]} \tag{6.21} $$

$$ {}_{D}V = \left(M_V + {}_{D}T_V \right) \text{ [jednotka]} \tag{6.22} $$

kde M_V menovitá hodnota výsledného rozmeru,

${}_{H}T_V$ hodnota hornej hraničnej odchýlky výsledného rozmeru,

${}_{D}T_V$ hodnota dolnej hraničnej odchýlky výsledného rozmeru.