

## 4. TENGELYEK

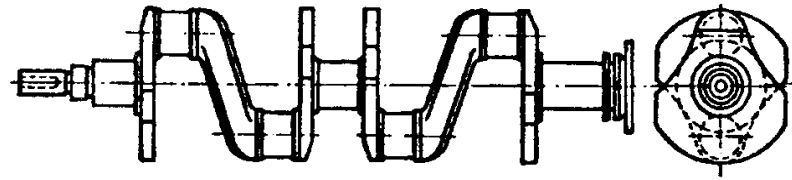
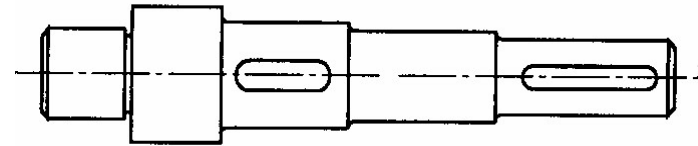
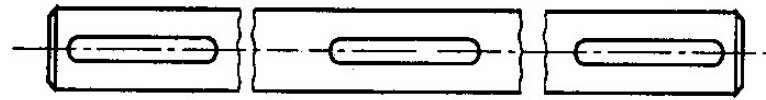
A tengely forgó gépalkatrészeket hord, amelynek feladata általában erőátadás és/vagy csavarónyomaték továbbítás tengelykapcsolón, szíjtárcsán fogaskeréken keresztül.

A tengely és a rászerezelt géprészek egymáshoz képesti mozgás szerint megkülönböztetünk:

- forgó- vagy közlőtengelyt (a rászerezelt alkatrészekkel együtt forog)
- álló- hordozótengelyt (a rászerezelt forgó alkatrészekhez képest áll)

A tengelyek kialakításuk szerint lehetnek:

- ◆ egyenes tengelyek
  - sima (gyakorlatilag állandó keresztmetszetű)
  - vállas (lépcsős)
  - bütykös, excenteres
  - csőtengely
  
- ◆ görbített (könyökös) tengelyek
  - forgattyús
  - hajlékony (flexibilis)



A tengelyek igénybevétele szerint lehetnek:

- csak hajlításra igénybevett (általában álló tengelyek)
- csak csavarásra igénybevett (gépkocsik kardán tengelye)
- hajlítás és csavarásra igénybevett (összetett igénybevétel)

A tengelyek anyaga: acél (szénacél, ötvözött acél) vagy öntöttvas (pl. görbített forgattyús tengely vagy csőtengely).

## **4.1. EGYENES TENGELYEK MÉRETEZÉSE ÉS ELLENŐRZÉSE**

A tengelyek tervezése több lépésben történik:

1. Vázlat készítés, hosszirányú méretek közelítő meghatározása.
2. Tengelyátmérők szakaszonkénti számítása vagy becslése
3. Tengely végleges kialakítása (hornyok, vállak stb.)
4. Tengely ellenőrzése kifáradásra, rugalmas alakváltozásra, kritikus fordulatszámra.
5. Az alkatrészrajz végleges elkészítése.

### 4.1.1. Tengelyek terhelése és igénybevétele

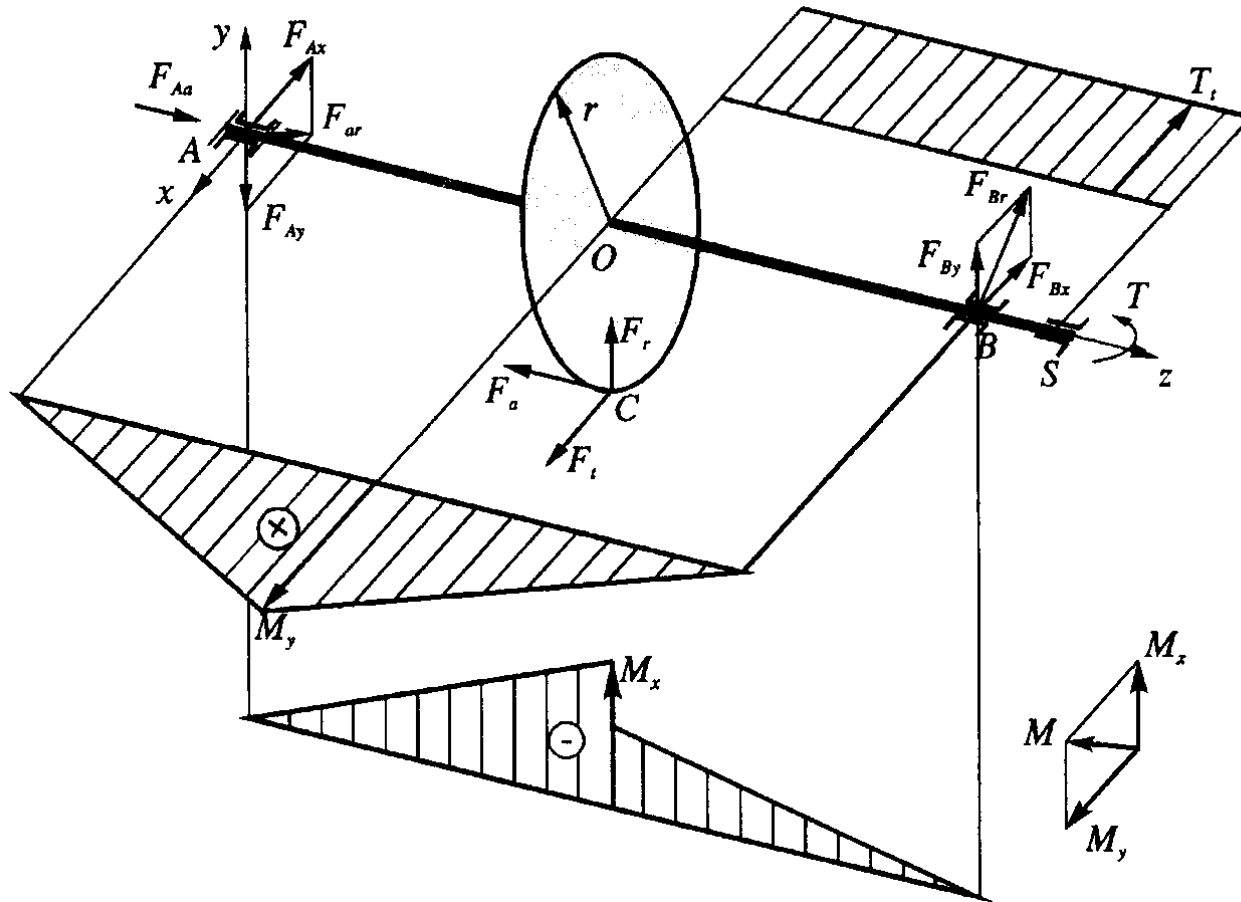
A tengelyek terhelései a rájuk szerelt forgó alkatrészekről származnak.

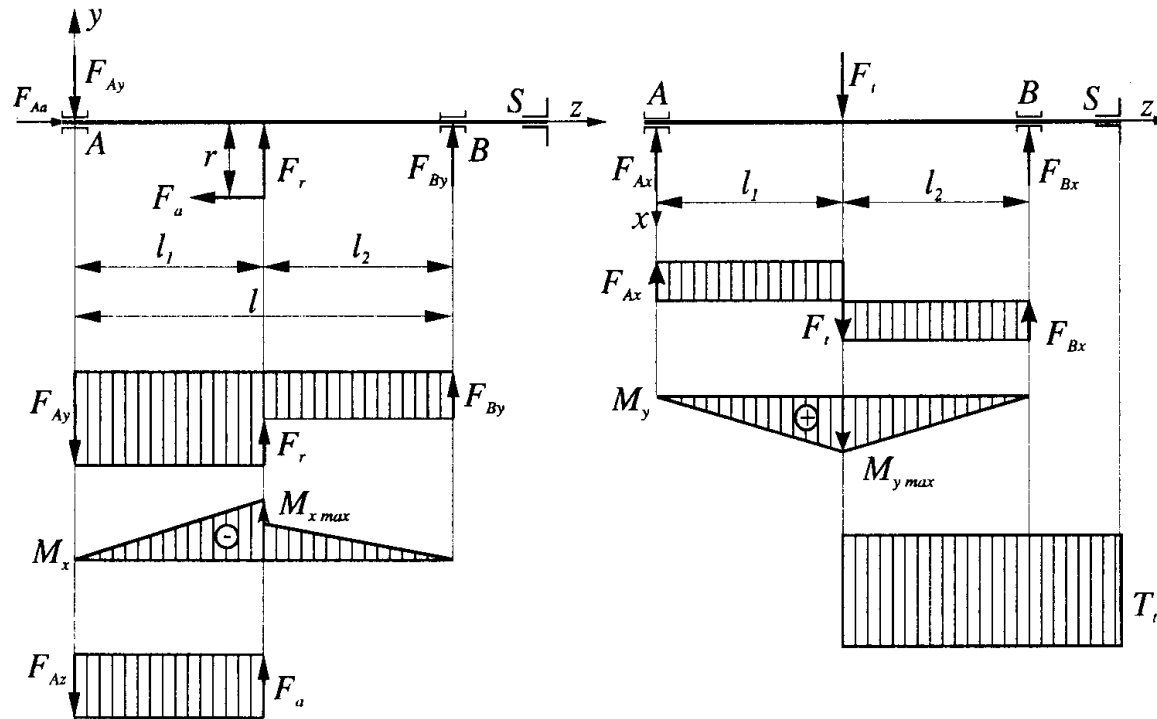
Lehetnek:

- erők,
- erőpárok (nyomatékok),
- a forgórészek súlya,
- kiegyensúlyozatlanságból eredő tehetetlenségi erők.

A terhelő (aktív) erők térbeli erőrendszert képeznek és a forgórészek és tengely érintkezési felületén („agy”) hatnak a tengelyre. A számítás egyszerűsítése végett ezeket koncentrált erőknek tekintjük, amelyek hatáspontja az agy, illetve a csapágy közepén helyezkedik el.

A tengely terhelése és az igénybevételi ábrák térbeli ábrázolása





- Az igénybevételi ábrák felrajzolásánál a tengelyt kéttámaszú tartónak tekintjük.
- A térbeli erőket három, egymásra merőleges összetevőre bontjuk.
- A hajlítónyomatékot először két egymásra merőleges síkban határozzuk meg, majd ezekből

kiszámoljuk az eredő nyomatékot:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

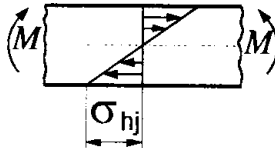
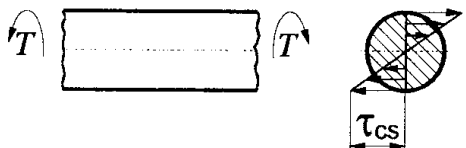
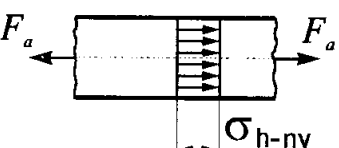
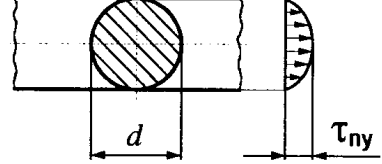
A megfelelő tranzverzális erők eredői:

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

A csavarónyomaték:  $T = \frac{P}{\omega}$

A legtöbb forgó tengely összetett igénybevételű (4-1. táblázat).

4-1. táblázat. Tengelyek igénybevétele

Igénybevétel	Feszültség	Feszültségeloszlás	A feszültség időbeni változása
Hajlítás	$\sigma_{hj} = \frac{M}{K}$		Forgó tengelyeknél mindig lengő.
Csavarás	$\tau_{cs} = \frac{T}{K_p}$		Legtöbb esetben lüktető, de kivételesen lengő is előfordulhat.
Húzás vagy nyomás	$\sigma_{h-ny} = \frac{F_a}{A}$		Lüktető, ritkán lengő.
Nyírás	$\tau_{ny} = \frac{F_T}{A}$		Lüktető, ritkán lengő.

A nyírófeszültség, valamint a húzó- vagy nyomófeszültség rendszerint elhanyagolható a hajlító- és csavarófeszültséghez viszonyítva.



### 4.1.2. Tengelyek méretezése

A hajlításból és csavarásból eredő összetett feszültséget redukált feszültséggel helyettesítve,

fölírható: 
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{hj}^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} \cdot \tau_{cs}\right)^2} \leq \sigma_{meg}$$

A redukált feszültség kifejezhető a redukált nyomatékkal is: 
$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{K} \leq \sigma_{meg}$$

ahol a redukált nyomaték: 
$$M_{red} = \sqrt{M_{hj}^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{2 \cdot \tau_{D(0)}} \cdot T_{cs}\right)^2}.$$

Ahol:  $\sigma_{D(-1)}$  a tengely anyagának kifáradási határa hajlításra, lengő terhelésnél  
 $\tau_{D(0)}$  a tengely anyagának kifáradási határa csavarásra, lüktető terhelésnél

A keresztmetszeti tényező kör keresztmetszetre: 
$$K = \frac{d^3 \cdot \pi}{32} \approx 0,1 \cdot d^3$$

Ezt behelyettesítve, egy-egy tengelyszakasz átmérője kiszámítható:

$$\sigma_{meg} = \frac{M_{red}}{0,1 \cdot d^3} \quad \text{innen} \quad d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{red}}{\sigma_{meg}}}.$$

A megengedett feszültség: 
$$\sigma_{meg} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{s}$$

Ahol:  $s=3...5$  biztonsági tényező

A tiszta csavaró igénybevételnek kitett tengelyek, illetve tengelyszakaszok átmérői:

$$\tau_{cs} = \frac{T}{K_p} \leq \tau_{meg} \quad \text{ahol} \quad K_p = \frac{d^3 \cdot \pi}{16} \approx 0,2 \cdot d^3$$

$$\tau_{meg} = \frac{T}{0,2 \cdot d^3} \quad \text{innen} \quad d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot T}{\tau_{meg}}}$$

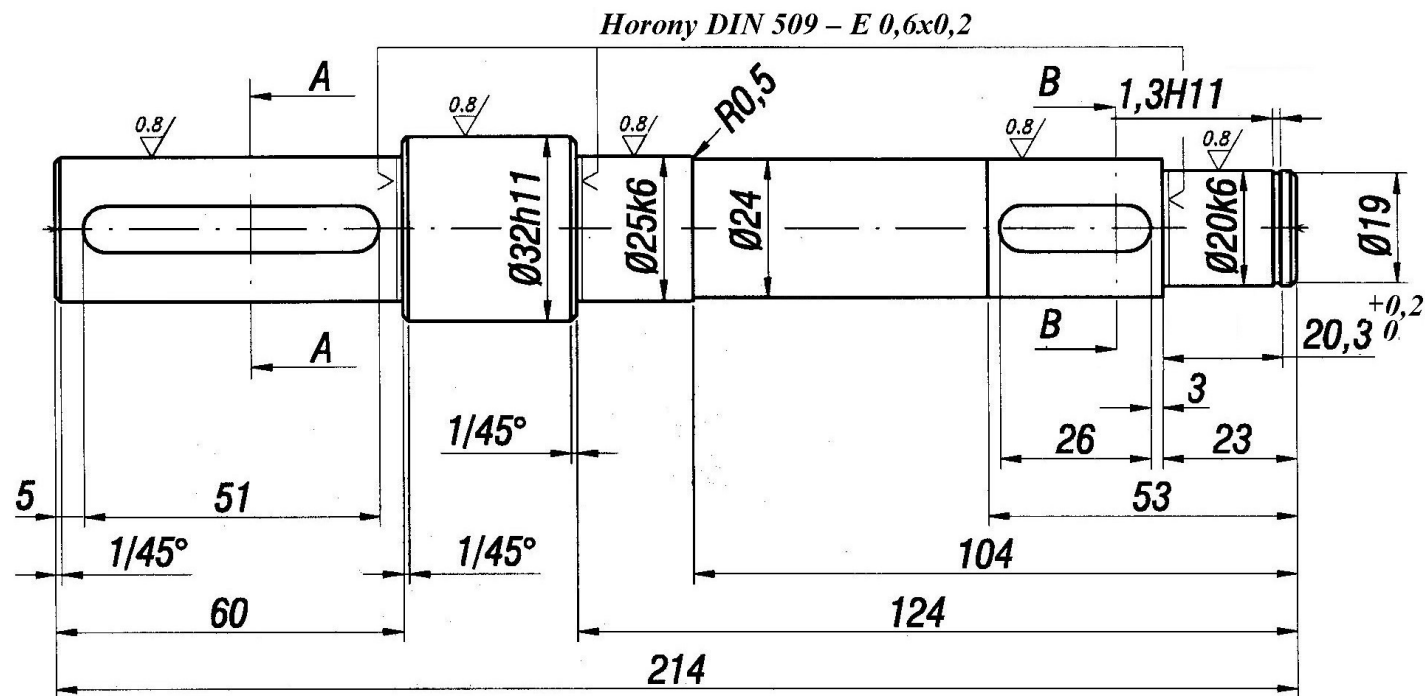
A megengedett csavaró feszültség:  $\tau_{meg} = \frac{\tau_D}{s}$

A biztonsági tényező értékére a számításoknak ebben a szakaszában viszonylag nagy értéket kell választani (s=5-10)

## A tengely kialakítása

A tengelyszakaszok átmérőinek meghatározása után kerül sor a tengely megszerkesztésére:

- pontos értékeket kapunk az előzőleg csak megbecsült hosszméretekre,
- pontosítjuk a különböző átmérőjű szakaszok átmeneti formáit,
- a tengelyre szerelendő alkatrészek rögzítési módját (hornyok, furatok, bemetszések stb.).



### A feszültséggyűjtő hatás

Minél nagyobb a keresztmetszet hirtelen változása, a feszültségtorlódás annál kifejezettebb.

A gyakorlatban szilárdsági számításoknál az ún. **gátlástényező**  $\beta_k$  használatos, amely az anyag tulajdonságait is figyelembe veszi.

A legnagyobb feszültség értéke:  $\sigma_{\max} = \beta_k \sigma$

A gátlástényező  $\beta_k$  értéke kisebb mint a feszültséggyűjtő hatás alaktényező  $\alpha_k$  értéke és a következő képlettel számítandó:

$$\beta_k = (\alpha_k - 1) \eta_k + 1$$

ahol :  $\eta_k$  –érzékenységi tényező (anyagfajtától függő).

## Tengelyek szilárdsági ellenőrzése

A forgó tengely tipikus fárasztó igénybevételt szenved, ezért a biztonsági tényezőt ( $S_D$ ) kifáradásra kell meghatározni a veszélyes keresztmetszetekben.

Összetett igénybevétel esetén (hajlítás és csavarás), az összegzett biztonsági tényező:

$$S_D = \frac{S_{Dhj} \cdot S_{Dcs}}{\sqrt{S_{Dhj}^2 + S_{Dcs}^2}}$$

A biztonsági tényező fárasztó igénybevételnél  $S_D=1,5 \dots 2$  kell, hogy legyen.

A részleges biztonsági tényezők a következő képletekkel határozhatók meg:

- Hajlítás 
$$S_{Dhj} = \frac{\sigma_{D(-1)} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3}{\beta_{khj} \cdot \sigma_{hj}}$$
- Csavarás 
$$S_{Dcs} = \frac{\tau_{D(0)} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3}{\beta_{kcs} \cdot \tau_{cs}}$$

Ahol:

$\sigma_{D(-1)}$  a tengely anyagának próbapálcán mért kifáradási határa hajlításra, lengő terhelésnél

$\tau_{D(0)}$  a tengely anyagának próbapálcán mért kifáradási határa csavarásra, lüktető terhelésnél

$\xi_1 < 1$  mérettényező (értékei a segédletben található),

$\xi_2 < 1$  megmunkálási tényező

$\xi_3$  felületi rétegállapot tényező ( $\xi_3 > 1$  abban az esetben, ha valamilyen a felületi réteget javító kezelést alkalmaztunk,  $\xi_3 = 1$ , ha ilyen kezelés nem történt)

$\beta_{khj}$  gátlástényező hajlításra

$\beta_{kcs}$  gátlástényező csavarásra