

## 6.4. Kūginė krumplinė perdava

Šiame poskyryje kūginės krumplinės perdavos greitaegio krumpliaračio (mažojo, reduktoriuose – varančiojo) geometriniai ir jėginiai parametrai žymimi apatiniu indeksu „1“, o lėtaegio (didžiojo, reduktoriuose – varomojo) – apatiniu indeksu „2“.

Šiame skyriuje pateikta kūginės perdavos su tiesiaisiais ( $\beta = 0$ ) ir apskritaisiais ( $\beta = 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ$ ) krumpliais projektavimo metodika, kai tarpašinis kampas  $\Sigma = 90^\circ$ , o krumplių viršūnių ir pašaknų kūgių viršūnės sutampa. Praktikoje kartais naudojami kūginiai krumpliaračiai su įstrižaisiais krumpliais.

Kūginės krumplinės perdavos projektavimo **pradiniai duomenys**:

- perdavos tipas (atviroji ar uždaroji, krumpliai tiesūs ar apskriti, krumpliaračių padėtis atramų atžvilgiu). Atvirąsias krumplines perdasas rekomenduojama gaminti tiesiakrumples;
- apkrovos grafikas arba tipinis darbo režimas ir apkrovos pobūdis;
- $T_1$  ir  $T_2$  – perdavos mažojo ir didžiojo krumpliaračių perduodami sukimo momentai, Nm;
- $n_1$  ir  $n_2$  – perdavos mažojo ir didžiojo krumpliaračių sukimosi dažniai,  $\text{min}^{-1}$ ;
- $u$  – kūginės krumplinės perdavos perdavimo skaičius;
- $t_h$  – perdavos eksploatavimo laikas, h.

### 6.4.1. Medžiagų parinkimas ir leistinųjų įtempių nustatymas

Kūginių krumpliaračių medžiagų leistinieji įtempiai nustatomi pagal 6.3.1 poskyryje pateiktą metodiką.

### 6.4.2. Projektiniai skaičiavimai

Krumpliaračių su apskritaisiais krumpliais įstrižumo kampas:

$$\beta = 30^\circ, \text{ kai } T_1 < 100 \text{ Nm};$$

$$\beta = 35^\circ, \text{ kai } 100 \leq T_1 \leq 1\,000 \text{ Nm};$$

$$\beta = 40^\circ, \text{ kai } T_1 > 1\,000 \text{ Nm}.$$

**Didžiojo krumpliaračio išorinio dalijamojo skersmens nustatymas.** Pradžioje krumplio pločio koeficientą imame  $\psi_{bR} = b / R_e = 0,3$ .

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientas (apskaičiuoti 0,01 tikslumu)

$$K_{H\beta} = \min \left( 2,25; 1,5 + C_{H\beta} \left( \frac{\psi_{bR} u}{2 - \psi_{bR}} \right)^{1,25} \right); \quad (6.50)$$

čia  $C_{H\beta}$  – empirinis koeficientas (žr. 6.21 lent.).

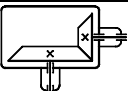
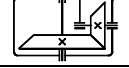
Didžiojo krumpliaračio išorinis dalijamasis skersmuo

$$d_{e2} = 1\,650 \sqrt[3]{\frac{K_A K_{H\beta} T_2 (u+1)}{\sigma_{H adm}^2}}, \text{ mm};$$

čia:  $K_A$  – apkrovos pobūdžio koeficientas (žr. 6.14 lent.);  $T_2$ , Nm;  $\sigma_{H adm}$ , MPa.

Gautą  $d_{e2}$  vertę apvalinama (rekomenduojama į didesnę pusę) iki artimiausio didesniojo skaičiaus iš pirmenybinių skaičių eilės R40 ([http://stud.ppf.ktu.lt/vaiculis/paskaitos/pirmenybiniai\\_skaiciai.pdf](http://stud.ppf.ktu.lt/vaiculis/paskaitos/pirmenybiniai_skaiciai.pdf)).

6.21 lentelė. Koeficiento  $C_{H\beta}$  vertės

Krumpliaračių poros padėtis atramų atžvilgiu	Didžiojo krumpliaračio kietumas $H_{HB m 2}$	$C_{H\beta}$	
		Tiesūs krumpliai	Apskriti krumpliai
 Abu krumpliaračiai gembiniai	$\leq 330 \text{ HB}$	0,361	0
	$> 330 \text{ HB}$	0,859	0,418
 Vienas krumpliaratis gembinis, kitas – dviatramis	$\leq 330 \text{ HB}$	0,306	0
	$> 330 \text{ HB}$	0,710	0,361
 Abu krumpliaračiai dviatramiai	$\leq 330 \text{ HB}$	0,106	0
	$> 330 \text{ HB}$	0,176	0,152

**Išorinis kūginis atstumas ir krumplių vainiko plotis.** Išorinis kūginis atstumas

$$R_e = \frac{d_{e2} \sqrt{1+u^2}}{2u}, \text{ mm.} \quad (6.51)$$

Krumplių vainiko plotis

$$b = \psi_{bR} R_e, \text{ mm.}$$

Gauta  $b$  vertė apvalinama iki artimiausio skaičiaus iš pirmenybinių skaičių eilės  $R40$  taip, kad būtų tenkinama sąlyga:

$$b < 0,35 R_e.$$

**Modulio nustatymas.** Apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientas

$$K_{F\beta} = K_{H\beta}.$$

Apskritakrumplių krumpliaračių mažiausias išorinis apskritiminis modulis (krumpliaračiams su tiesiais krumpliais vietoje „ $m_{te}$ “ visur reikia naudoti „ $m_e$ “ – išorinį modulį):

$$m_{te} = \frac{14 \cdot 10^3 K_A K_{F\beta} T_2}{d_{e2} b \sigma_{F adm}}, \text{ mm;} \quad (6.52)$$

čia  $T_2$ , Nm;  $d_{e2}$ , mm;  $b$ , mm;  $\sigma_{F adm}$ , MPa.

Atvirųjų perdavų (jų krumpliaračių dilimas yra intensyvesnis nei uždarųjų) modulio vertę reikia padidinti 30 %, t. y. (6.52) formulėje vietoje „14“ reikia naudoti „18“.

Išorinio modulio  $m_{te}$  vertės galima neapvalinti, tada ji turi būti apskaičiuota 0,001 ( $10^{-3}$ ) tikslumu. Priešingu atveju  $m_{te}$  vertę reiktų apvalinti iki artimiausios didesnės standartinės modulio vertės (žr. 6.16 lent.). Be to, rekomenduojama, kad jėginių krumplinių perdavų (prie jų priskiriami reduktoriai)  $m_{te} \geq 2,0$  mm.

Kaip cilindriniams, taip ir kūginiams krumpliaračiams, didinant modulį mažėja jautrumas įvairiems defektams (pavyzdžiui, terminio apdorojimo, liejimo ir kt.), o atsparumas dilimui didėja. Todėl rekomenduojama modulio vertė yra:

$$m_{te} = \frac{d_{e2}}{z'_1 u}, \text{ mm;} \quad (6.53)$$

čia:  $d_{e2}$ , mm;  $z'_1$  – rekomenduojamas mažojo krumpliaračio krumplių skaičius (apvalinti iki sveikojo skaičiaus);  $z_{1 min}$  ir  $z_{1 max}$  – mažiausias ir rekomenduojamas didžiausias mažojo krumpliaračio krumplių skaičiai (apvalinami iki artimiausio sveikojo skaičiaus):

$$z'_1 = z_{1 min} + z_{1 max} \left( 1 - \frac{\beta}{60^\circ} \right) \cdot \min \left( 0,1; 1 - \frac{H_{HVm1} + H_{HVm2}}{1600} \right);$$

$$z_{1 min} = \max[8; 5 + 17,8 \exp(-0,3 u)];$$

$$z_{1 max} = \max[11; 3 + 49,5 \exp(-0,3 u)].$$

Skaičiuojant pagal (6.53) formulę modulio  $m_{te}$  vertę rekomenduojama apvalinti iki artimiausios standartinės vertės (žr. 6.16 lent.), kuri turėtų būti nemažesnė už apskaičiuotąją pagal (6.52) formulę.

Krumpliaračio vainiko plotis  $b$  turi tenkinti sąlygą:

$$b \leq 10 m_{te}.$$

Kai ši sąlyga netenkinama, tai mažinama  $b$  vertė ir toliau skaičiuojama nuo (6.52) formulės. Kai to nepakanka, reikia didinti  $d_{e2}$ , o skaičiavimus tęsti nuo (6.51) išraiškos.

**Krumplių skaičiai.** Didžiojo krumpliaračio krumplių skaičius

$$z_2 = \frac{d_{e2}}{m_{te}}.$$

Gauta  $z_2$  vertė apvalinama iki artimiausio sveikojo skaičiaus.

Mažojo krumpliaračio krumplių skaičius (apvalinamas iki artimiausio sveikojo skaičiaus):

$$z_1 = \frac{z_2}{u} \geq z_{1 min}. \quad (6.54)$$

Jei (6.54) sąlyga netenkinama, tai imama  $z_1 = z_{1 min}$  ir patikslinama  $z_2$  vertė:  $z_2 = u z_1$ . Rekomenduojama, kad  $z_1 \leq z_{1 max}$ . Jei ši sąlyga netenkinama, tai reiktų mažinti  $m_{te}$ .

**Tikrasis perdavos perdavimo skaičius**

$$u_T = \frac{z_2}{z_1}.$$

Nukrypimas nuo pradinės perdavimo skaičiaus vertės  $u$  negali skirtis daugiau kaip  $\pm 3\%$ , t. y.:

$$\Delta u = \left| \frac{u_T - u}{u} \right| 100\% \leq 3\% .$$

Jei pastaroji sąlyga netenkinama, tai kaitaliojamos  $z_1$  ir  $z_2$  vertės tol, kol ši sąlyga bus tenkinama. Reikia nepamiršti, kad  $z_1 \geq z_{1 \min}$ .

**Pagrindiniai geometriniai parametrai.** Dalijamųjų kūgių kampai:

$$\delta_1 = \arctg \frac{1}{u_T} \quad \text{ir} \quad \delta_2 = 90^\circ - \delta_1 .$$

Kampai  $\delta_1$  ir  $\delta_2$  apskaičiuojami minučių tikslumu. Jei skaičiuojama laipsniais, tai apskaičiuojami bent 0,00001 ( $10^{-5}$ ) tikslumu.

Patiksliname didžiojo krumpliaračio išorinį dalijamąjį skersmenį

$$d_{e2} = z_2 m_{te}, \text{ mm} \quad (6.55)$$

ir išorinį kūginį atstumą

$$R_e = 0,5 d_{e2} / \sin \delta_2, \text{ mm} .$$

Dar kartą tikriname, ar tenkinama sąlyga:  $b < 0,35 R_e$ . Jei ji netenkinama, tai  $b$  vertė apskaičiuojama pagal  $b = 0,35 R_e$  išraišką ir apvalinama iki mažesnio skaičiaus iš pirmenybinių skaičių eilės  $R40$ .

Kai  $z_1 \neq z_2$ , tam, kad padidintume krumplių atsparumą lenkimui (kai  $z_1 < 17$ ) ar sumažintume santykinį profilių praslydimą (esant didelėms  $z_1$  vertėms), kūginiai krumpliaračiai paprastai gaminami su perštūma.

Mažojo krumpliaračio perštūmos koeficientas

$$x_1 = 0,46 (1 - u_T^{-2}) \geq 0,1, \quad \text{kai krumpliai tiesūs;}$$

$$x_1 = 0,39 (1 - u_T^{-2}) \geq 0,1, \quad \text{kai krumpliai apskriti;}$$

o didžiojo

$$x_2 = -x_1 .$$

Perštūmos koeficientai apskaičiuojami 0,01 tikslumu. Jų vertę rekomenduojama suderinti (į didesnę pusę) su pirmenybinių skaičių eile  $R40$ .

Krumpliaračius su apskritaisiais krumpliais rekomenduojama gaminti ne tik koreguotus, bet ir su skirtingu krumplio storiu ant pradinio kontūro. Mažojo krumpliaračio krumplių storis didinamas, o didžiojo – mažinamas. Mažojo krumpliaračio krumplio storio koeficientas:

$$\text{su tiesiais krumpliais} - x_{\tau 1} = 0;$$

$$\text{su apskritaisiais krumpliais} - x_{\tau 1} = 0,072 (u_T - 1), \quad \text{kai } u_T \leq 1,25;$$

$$x_{\tau 1} = 0,0173 (u_T - 0,234) \leq 0,105, \quad \text{kai } u_T > 1,25.$$

Didžiojo krumpliaračio krumplio storio koeficientas:

$$x_{\tau 2} = -x_{\tau 1} .$$

Koeficientai  $x_{\tau 1}$  ir  $x_{\tau 2}$  apskaičiuojami 0,01 tikslumu.

Vidutinis kūginis atstumas

$$R_m = R_e - 0,5 b, \text{ mm} .$$

Vidutinis modulis (krumpliaračiams su tiesiais krumpliais vietoje „ $m_{tm}$ “ visur reikia naudoti „ $m_m$ “ žymėjimą):

$$m_{tm} = m_{te} \frac{R_m}{R_e}, \text{ mm} .$$

Krumpliaračių vidutiniai dalijamieji skersmenys:

$$d_{m1} = m_{tm} z_1, \text{ mm};$$

$$d_{m2} = m_{tm} z_2, \text{ mm} .$$

Kiti kūginės krumplinės perdavos krumpliaračių geometriniai parametrai pateikti 6.22 lentelėje.

6.22 lentelė. Kūginės krumplinės perdavos krumpliaračių geometriniai parametrai

Geometrinio parametro pavadinimas	Geometrinių parametų išraiškos, mm	Geometrinio parametro pavadinimas	Geometrinių parametų išraiškos, mm
Vidutinis krumplio pašaknio aukštis (ties $R_m$ )	$h_{f m 1} = m_{t m} (h_{f 2}^* - x_1)$ $h_{f m 2} = m_{t m} (h_{f 1}^* - x_2)$	Išorinis dalijamasis skersmuo	$d_{e i} = m_{t e} z_i$
Vidutinis krumplio galvutės aukštis (ties $R_m$ )	apskritieji krumpliai $h_{a m 1} = h_{a e 1} - 0,5 b h_{f m 2} / R_m$ $h_{a m 2} = h_{a e 2} - 0,5 b h_{f m 1} / R_m$	Išorinis pašaknų skersmuo	$d_{f e i} = d_{e i} - 2 h_{f e i} \cos \delta_i$
	tiesūs krumpliai $h_{a m i} = m_{t m} (h_{a i}^* + x_i)$	Išorinis viršūnių skersmuo	$d_{a e i} = d_{e i} + 2 h_{a e i} \cos \delta_i$
Didžiausias krumplio pašaknio aukštis (ties $R_e$ )	apskritieji krumpliai $h_{f e 1} = m_{t e} (h_{f 2}^* - x_1)$ $h_{f e 2} = m_{t e} (h_{f 1}^* - x_2)$	Pašaknų kūgio kampas	$\delta_{f i} = \delta_i - \arctg \frac{h_{f e i}}{R_e}$
	tiesūs krumpliai $h_{f e i} = h_{f m i} (1 + 0,5 b / R_m)$	Viršūnių kūgio kampas	$\delta_{a i} = \delta_i + \arctg \frac{h_{a e i}}{R_e}$
Didžiausias krumplio galvutės aukštis (ties $R_e$ )	apskritieji krumpliai $h_{a e i} = m_{t e} (h_{a i}^* + x_i)$	–	–
	tiesūs krumpliai $h_{a e i} = h_{a m i} (1 + 0,5 b / R_m)$	–	–

Čia apatinis indeksas  $i$  žymi krumpliaračio numerį, t. y. „1“ arba „2“.  
 Krumplio galvutės aukščio koeficientas: tiesiakrumplių krumpliaračių –  $h_{a 1}^* = h_{a 2}^* = 1,00$ ; apskritakrumplių krumpliaračių –  $h_{a 1}^* = 1,7 - h_{a 2}^*$  ir  $h_{a 2}^* = 0,46 + 0,39 z_1 \cos \delta_2 / (z_2 \cos \delta_1)$ .  
 Radialinio tarpelio koeficientas: tiesiakrumplių krumpliaračių –  $c^* = 0,20$ ; apskritakrumplių krumpliaračių –  $c^* = 0,1888$ .  
 Krumplio kamieno aukščio koeficientas  $h_{f i}^* = h_{a i}^* + c^*$ .

**Tikslumo laipsnio nustatymas.** Krumpliaračių apskritiminių greitis

$$v = \frac{\pi d_{m 1} n_1}{60000}, \text{ m/s;}$$

čia  $d_{m 1}$ , mm;  $n_1$ ,  $\text{min}^{-1}$ .

Pagal  $v$  vertę iš 6.18 lentelės parenkamas perdavos tikslumo laipsnis.

**Jėginiai perdavos parametrai** (žr. 6.9 pav.). Laikoma, kad jėgos, atsirandančios krumpliaračių susikabinime, pridėtos ant krumpliaračių vidutinių dalijamųjų skersmenų  $d_{m i}$ . Apskritiminė jėga

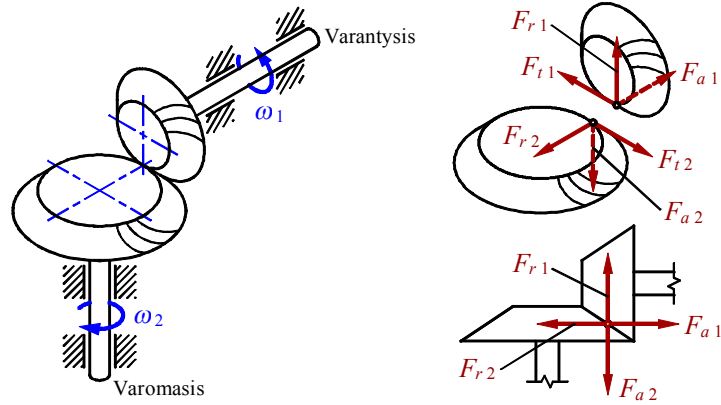
$$F_t = \frac{2000 T_1}{d_{m 1}}, \text{ N;}$$

čia  $T_1$ , Nm;  $d_{m 1}$ , mm.

Radialinės jėgos:

$$F_{r 1} = F_t \frac{\text{tg} \alpha_n \cos \delta_1 \mp \sin \beta \sin \delta_1}{\cos \beta}, \text{ N} \quad \text{ir} \quad F_{r 2} = F_t \frac{\text{tg} \alpha_n \cos \delta_2 \pm \sin \beta \sin \delta_2}{\cos \beta}, \text{ N;} \quad (6.56)$$

čia  $\alpha_n = \arctg(\text{tg} \alpha_t \cdot \cos \beta)$  – normalinis krumplio kabinimosi kampas; krumpliaračių su apskritaisiais ar įstrižaisiais krumpliais  $\alpha_t = 20^\circ$ , o krumpliaračių su tiesiaisiais krumpliais  $\alpha_n = 20^\circ$ .



6.9 pav. Jėgos, veikiančios kūginėje krumplinėje perdavoje

Viršutiniai ženklai (6.56) išraiškose naudojami, kai mažojo krumpliaračio sukimosi kryptis sutampa su apskritųjų krumplių vijų kilimo kryptimi, žiūrint iš dalijamojo kūgio viršūnės (taip parodyta 6.9 pav.).

Kad išvengtume apskritųjų krumplių strigimo, reikia, kad ašinės jėga  $F_{a1}$  būtų nukreipta į varančiojo (reduktoriuose – mažojo) krumpliaračio dalijamojo kūgio pagrindą. Todėl rekomenduojama, kad mažojo krumpliaračio sukimosi kryptis sutaptų su apskritųjų krumplių vijų kilimo kryptimi. Tokiu atveju (6.56) išraiškose reikia naudoti viršutinius ženklus.

Ašinės jėgos:

$$\left. \begin{aligned} F_{a1} &= F_{r2}, \text{ N;} \\ F_{a2} &= F_{r1}, \text{ N.} \end{aligned} \right\}$$

### 6.4.3. Patikrinamieji skaičiavimai

Analogiškai kaip ir su cilindrinėmis krumplinėmis perdavomės, būtina atlikti krumplinės kūginės perdavos kontaktinio ir lenkimo patvarumo bei stiprumo patikrinamuosius skaičiavimus. *Atvirtųjų perdavų krumpliaračių kontaktinis patvarumas paprastai netikrinamas.*

**Leistinių kontaktinių įtempių patikslinimas.** Koeficientai  $Z_L$ ,  $Z_V$  ir  $Z_X$  apskaičiuojami taip pat, kaip ir cilindrinėse krumpliaračiuose, t. y. pagal (6.34), (6.36) ir (6.37) formules.

Koeficientas, kuriuo įvertinamas krumplių paviršiaus šiurkštumas

$$Z_R = \left( \frac{1}{2 \text{ Ra}} \sqrt[3]{\frac{d_{v1} + d_{v2}}{200}} \right)^{C_{ZR}};$$

čia:  $C_{ZR}$  – empirinis koeficientas (žr. 6.19 lent.); Ra – krumplių darbinų paviršių šiurkštumas,  $\mu\text{m}$  (žr. 6.18 ir 17.2 lent.);  $d_{v1} = d_{m1} / \cos \delta_1$  ir  $d_{v2} = d_{m2} / \cos \delta_2$  – atitinkamai mažojo ir didžiojo ekvivalentinių cilindrinėse krumpliaračių dalijamieji skersmenys, mm.

Abiejų perdavos krumpliaračių leistinieji kontaktiniai įtempiai patikslinami pagal (6.38) formulę.

**Kontaktinio patvarumo apskaičiavimas.** Koeficientai  $Z_E$ ,  $Z_H$ ,  $Z_\epsilon$  ir  $Z_\beta$  apskaičiuojami taip pat, kaip ir cilindrinėse krumpliaračiuose, t. y. pagal (6.39) ... (6.42) formules. Skaičiuojant  $Z_\epsilon$ , skersinis ir ašinis krumplių persidengimo koeficientai nustatomi pagal išraiškas:

$$\begin{aligned} \text{perdavoms be perstūmos} - \epsilon_\alpha &\approx \cos \beta \left[ 1,88 - 3,20 \left( z_{vn1}^{-1} + z_{vn2}^{-1} \right) \right]; \\ \text{perdavoms su perstūma} - \epsilon_\alpha &= \frac{z_{vn1} (\text{tg} \alpha_{va1} - \text{tg} \alpha_{wt}) + z_{vn2} (\text{tg} \alpha_{va2} - \text{tg} \alpha_{wt})}{2 \pi}; \end{aligned}$$

$$\epsilon_\beta = 0,85 b \sin \beta / (\pi m_n m);$$

čia:  $z_{vn1} = z_1 / \cos \delta_1$  ir  $z_{vn2} = z_2 / \cos \delta_2$  – ekvivalentinių cilindrinėse krumpliaračiuose krumplių skaičiai normaliniame pjūvyje;  $\alpha_{va1} = \arccos(d_{v1} \cos \alpha_{wt} / d_{va1})$  ir  $\alpha_{va2} = \arccos(d_{v2} \cos \alpha_{wt} / d_{va2})$  – ekvivalentinių cilindrinėse krumpliaračių profilio kampai krumplio viršūnėje;  $d_{va1} = d_{v1} + 2 h_{am1}$  ir  $d_{va2} = d_{v2} + 2 h_{am2}$  – ekvivalentinių cilindrinėse krumpliaračių išoriniai skersmenys;  $\text{inv} \alpha_{wt} = 2 (x_2 + x_1) \text{tg} \alpha_n / (z_2 + z_1) + \text{inv}(\alpha_t)$  – krumpliaračio su perstūma kabinimosi kampo involiutė;  $m_n m = m_t m \cos \beta$  – vidutinis normalinis modulis.

Involiutės ( $\text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha - \alpha$ ) argumentas  $\alpha$ , kai žinoma  $\text{inv} \alpha$  vertė, randamas involiutės verčių lentelėse arba apskaičiuojamas skaitiniais metodais (žr. <http://stud.ppf.ktu.lt/vaiciulis/inv/>).

Dinaminės apkrovos koeficientu  $K_V$  įvertinami kabinimosi metu atsirandantys smūgiai, gamybos paklaidos, bei krumplių, velenų, guolių ir korpuso deformacijų žadinamos papildomos dinaminės jėgos. Tiesiakrumplių perdavų

$$K_V = K_{V(\beta=0)} = 1 + \left( \frac{1,0645 K_1}{w_t} + 0,0193 \right) \frac{z_1 v}{100} \sqrt{\frac{u_T^2}{1 + u_T^2}},$$

o įstrižųjų ar apskritųjų krumplių perdavų –

$$K_V = K_{V(\beta>0)} = 1 + \left( \frac{K_1}{w_t} + 0,01 \right) \frac{z_1 v}{100} \sqrt{\frac{u_T^2}{1 + u_T^2}}, \quad \text{kai } \varepsilon_\beta > 1;$$

$$K_V = K_{V(\beta=0)} - \varepsilon_\beta \left( K_{V(\beta=0)} - K_{V(\beta>0)} \right), \quad \text{kai } \varepsilon_\beta \leq 1;$$

čia:  $K_1$  – koeficientas, priklauso nuo tikslumo (žr. 6.18 lent.);  $w_t = \max(100; K_A F_t / (0,85 b))$  – linijinė apkrova, N/mm;  $v$ , m/s.

Koeficientas  $K_{H\alpha}$ , kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo netolygumas tarp krumplių, parenkamas iš 6.20 lentelės. Kai linijinė apkrova  $K_A F_t / (0,85 b) < 100$  N/mm, parenkant koeficientą  $K_{H\alpha}$  reikia laikyti, kad perdava yra 10 tikslumo laipsnio.

Pagal tikrąją pločio koeficiento  $\psi_{br} = b / R_e$  ir  $u_T$  vertes patikslinama apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficiento  $K_{H\beta}$  vertė (žr. 6.50 formulę).

Pagal kontaktinio patvarumo sąlygą tikrinamas tas krumpliaratis, kurio patikslinti leistinieji kontaktinio patvarumo įtempiai yra mažesni:

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_K Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta} F_t (u_T + 1)}{0,85 b d_{v1} u_T}} \leq \sigma_{H adm}, \text{ MPa};$$

čia:  $Z_K \approx 0,85$  – koeficientas, kuriuo įvertinamas nevienodas kontaktinis stiprumas išilgai krumplio;  $0,85$  – koeficientas, kuriuo įvertinama, kiek kartų kūginės perdavos patvarumas mažesnis už ekvivalentinės tiesiakrumplės cilindrinės perdavos patvarumą;  $Z_E, \sqrt{\text{MPa}}$ ;  $F_t$ , N;  $d_{v1}$ , mm;  $b$ , mm.

Skaičiuojamieji kontaktiniai įtempiai  $\sigma_H$  gali iki 3 % viršyti leistinuosius, t. y. turi būti tenkinama sąlyga  $100 \% (\sigma_{H adm} - \sigma_H) / \sigma_{H adm} \geq -3 \%$ . Jei viršija daugiau, reikia didinti didžiojo krumpliaratio išorinį dalijamąjį skersmenį  $d_{e2}$  arba keisti to krumpliaratio medžiagą ar terminį apdorojimą, kurio patikslinti leistinieji kontaktinio patvarumo įtempiai  $\sigma_{H adm}$  yra mažesni. Jei didinamas  $d_{e2}$ , tai toliau skaičiuojama nuo (6.51) išraiškos. Jei keičiama krumpliaratio medžiaga ar terminis apdorojimas, tai imama medžiaga su didesne kontaktinio patvarumo riba  $\sigma_{H lim}$ , iš naujo nustatomi leistinieji įtempiai ir atliekami projektiniai skaičiavimai.

**Leistinųjų lenkimo įtempių patikslinimas.** Koeficientas, kuriuo įvertinamas medžiagos jautrumas įtempių koncentracijai (apskaičiuojamas abiemis krumpliaratims):

$$Y_\delta = 1 + \frac{15}{1,3 \sigma_{rib}} \left( 0,5 \pi + 2 x \operatorname{tg} \alpha + x_\tau - \frac{5 c^*}{1 - \sin \alpha_n} \right);$$

čia  $\sigma_{rib} = \sigma_{yt}$  – plieniniams krumpliaratims ir  $\sigma_{rib} = \sigma_{ut}$  – krumpliaratims iš ketaus. Koeficiento  $Y_\delta$  verčių intervalas:  $0,9 \leq Y_\delta \leq 1,3$ .

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių dydžio įtaka (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$Y_X = 1,05 - 0,01 m_{nm} \quad \text{ir} \quad 0,75 \leq Y_X \leq 1,00, \quad \text{kai } H_{HB m} \leq 470;$$

$$Y_X = 1,03 - 0,006 m_{nm} \quad \text{ir} \quad 0,85 \leq Y_X \leq 1,00, \quad \text{kai } H_{HB m} > 470;$$

čia  $m_{nm}$  – vidutinis normalinis krumpliaratų susikabinimo modulis, mm.

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių pašaknų paviršiaus kokybė (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$\left. \begin{aligned} Y_R &= 1,674 - 0,529(1 + 12 \operatorname{Ra})^{0,1}, \quad \text{kai } H_{HB m} \leq 470; \\ Y_R &= 5,306 - 4,203(1 + 12 \operatorname{Ra})^{0,01}, \quad \text{kai } H_{HB m} > 470; \end{aligned} \right\}$$

čia  $\operatorname{Ra}$  – krumplių darbinų paviršių šiurkštumas,  $\mu\text{m}$  (žr. 6.18 ir 6.1 lent.). Koeficiento  $Y_R$  verčių intervalas:  $0,9 \leq Y_R \leq 1,1$ .

Abiejų perdavos krumpliaratų leistinieji lenkimo įtempiai patikslinami pagal (6.44) formulę.

**Patvarumo lenkimui apskaičiavimas.** Abiejų krumpliaratų koeficientas  $Y_{Fs}$ , kuriuo įvertinama krumplių forma ir įtempių koncentracija, apskaičiuojamas pagal (6.45) formulę. Tik šiuo atveju ekvivalentinis krumplių skaičius:

$$z_{vi} = \frac{z_i}{\cos \delta_i \cdot \cos \beta \cdot \cos^2 \beta_b}; \quad \text{čia apatinis indeksas } i \text{ žymi krumpliaratio numerį, t. y. „1“ arba „2“.$$

Krumplių įstrižumo kampo koeficientas

$$Y_\beta = 1 - \min(1; \varepsilon_\beta) \frac{\min(30^\circ; \beta^\circ)}{120^\circ}.$$

Persidengimo koeficientas

$$Y_e = 0,25 + 0,75 \max \left( 0,5; \frac{\cos^2 \beta_b}{\varepsilon_\alpha} \right).$$

Koeficientas  $K_{F\alpha}$ , kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo netolygumas tarp krumplių, parenkamas iš 6.20 lentelės. Kai linijinė apkrova  $K_A F_t / (0,85 b) < 100$  N/mm, parenkant koeficientą  $K_{F\alpha}$  reikia laikyti, kad perdava yra 10 tikslumo laipsnio.

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo išilgai kontaktinės linijos koeficientas

$$K_{F\beta} = K_{H\beta}.$$

Skaičiuojamieji didžiojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F2} = Y_{Fs2} Y_\beta Y_\varepsilon \frac{K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} F_t}{0,85 b m_{nm}} \leq \sigma_{F adm 2}, \text{ MPa}; \quad (6.57)$$

čia:  $F_t$ , N;  $b$ , mm;  $m_{nm}$ , mm.

Skaičiuojamieji mažojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} \frac{Y_{Fs1}}{Y_{Fs2}} \leq \sigma_{F adm 1}, \text{ MPa}. \quad (6.58)$$

Skaičiuojamieji lenkimo įtempiai gali iki 3 % viršyti leistinuosius, t. y.  $100 \% (\sigma_{F adm} - \sigma_F) / \sigma_{F adm} \geq -3 \%$ . Jei viršija daugiau, reikia didinti modulį  $m_{te}$  arba keisti atitinkamo krumpliaračio medžiagą ar terminį apdorojimą. Jei didinamas  $m_{te}$ , tai toliau skaičiuoti reikia nuo (6.55) išraiškos. Šiuo atveju kontaktinio patvarumo iš naujo tikrinti nereikia. Jei keičiama krumpliaračio medžiaga ar terminis apdorojimas, tai imama medžiaga su didesne patvarumo riba lenkimui  $\sigma_{F lim}$ , iš naujo nustatomi leistinieji įtempiai ir atliekami projektiniai skaičiavimai.

Skaičiuojamieji lenkimo įtempiai gali būti daug mažesni už leistinuosius, nes daugumos krumplinių perdavų apkrovos dydį riboja kontaktinis patvarumas.

**Kontaktinio ir lenkimo stiprumo apskaičiavimas.** Skaičiavimai atliekami taip pat kaip ir cilindrinų krumpliaračių (žr. 6.3.3 poskyrį).



Skaičiavimo rezultatus rekomenduojama surašyti į lentelę:

Parametras	Reikšmė ir matavimo vienetai	
Tikslumo laipsnis	...	
Tikras perdavimo skaičius	$u_T = \dots$	
Išorinis kūginis atstumas	$R_e = \dots \text{ mm}$	
Išorinis apskritiminis modulis	$m_e (m_{te}) = \dots \text{ mm}$	
Krumplių forma - ...	$\beta_n = \dots^\circ$	
Krumplių vainiko plotis	$b = \dots \text{ mm}$	
<b>GEOMETRINIAI KRUMPLIARAČIŲ PARAMETRAI</b>		
	Varančiojo (mažojo)	Varomojo (didžiojo)
Krumplių skaičius	$z_1 = \dots$	$z_2 = \dots$
Dalijamojo kūgio kampas	$\delta_1 = \dots^\circ$	$\delta_2 = \dots^\circ$
Perstūmos koeficientas	$x_1 = \dots$	$x_2 = \dots$
Krumplio storio pokyčio koeficientas	$x_{t1} = \dots$	$x_{t2} = \dots$
Išorinis dalijamojo apskritimo skersmuo	$d_{e1} = \dots \text{ mm}$	$d_{e2} = \dots \text{ mm}$
Išorinis pašaknų apskritimo skersmuo	$d_{fe1} = \dots \text{ mm}$	$d_{fe2} = \dots \text{ mm}$
Išorinis viršūnių apskritimo skersmuo	$d_{ae1} = \dots \text{ mm}$	$d_{ae2} = \dots \text{ mm}$
Veleno, ant kurio bus tvirtinamas krumpliaratis, skersmuo	$d_{v1} = \dots \text{ mm}$	$d_{v2} = \dots \text{ mm}$
Stebulės ilgis	$L_{st1} = \dots \text{ mm}$	$L_{st2} = \dots \text{ mm}$
Stebulės skersmuo	$d_{st1} = \dots \text{ mm}$	$d_{st2} = \dots \text{ mm}$
Ratlankio storis	$\delta_{01} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{02} = \dots \text{ mm}$
Ratlankio vidinis skersmuo	$D_{01} = \dots \text{ mm}$	$D_{02} = \dots \text{ mm}$
Disko storis	$\delta_{10} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{20} = \dots \text{ mm}$
Disko standumo briaunų storis	$\delta_{11} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{12} = \dots \text{ mm}$
Disko skylių centrų apskritimo skersmuo	$D_{sk1} = \dots \text{ mm}$	$D_{sk2} = \dots \text{ mm}$
Disko skylių skersmuo	$d_{sk1} = \dots \text{ mm}$	$d_{sk2} = \dots \text{ mm}$
Nuožulos	$c_1 = \dots \text{ mm}$	$c_2 = \dots \text{ mm}$
Užapvalinimo spinduliai	$r_1 = \dots \text{ mm}$	$r_2 = \dots \text{ mm}$

Parametras	Reikšmė ir matavimo vienetai	
<b>JĖGINIAI PARAMETRAI</b>		
<i>Apskritiminė jėga</i>	$F_{t1} = \dots N$	$F_{t2} = \dots N$
<i>Radialinė jėga</i>	$F_{r1} = \dots N$	$F_{r2} = \dots N$
<i>Ašinė jėga</i>	$F_{a1} = \dots N$	$F_{a2} = \dots N$

Tiesių krumplių krumpliaraičiams vietoje „Išorinis apskritiminis modulis“ rašoma „Išorinis modulis“.

Ties krumplių forma įrašoma „tiesūs“ arba „apskritiminiai“.

Ne visi geometriniai parametrai (pavyzdžiui,  $L_{st}$ ,  $d_{st}$  ir kt.) yra žinomi šioje kursinio projekto stadijoje. Šias lentelės eilutes užpildysime vėliau. Jei krumpliaratis neturi tam tikro geometrinio parametro (pavyzdžiui, jei krumpliaratis gaminamas iš vien su velenu, tada jis neturės  $L_{st}$ ,  $d_{st}$  ir kt.), tai jo į lentelę įtraukti nereikia.