

## 12.2.6 Presmetka na cilindri~nite zap-est i parovi

Postojat pove}e postapki za presmetka na zap-enicite. Od site tie najpri f atl i va e postapkata spored *DIN 3990*, { to poslu` i i kako osnova za preporaki te na *ISO*. Osnovata na presmetki te na zap-esti te parovi spored *DIN 3990* se presmetki te vo odnos na *naponot vo korenot na zabecot*, kako i vo odnos na *povr{inski ot prit i sok na bokot od zabecot* spored *Hertz*.

Za da se po~ne so presmetka na zap-esti te parovi, najnapred e potrebno da bi dat def i ni rani neko i osnovni parametri na zap-esti ot par, kako { to se: ti pot, { i ro~inata na zap~enici te  $b$ , brojot na zapci na mali ot zap~enik  $z_1$ , prenosni ot odnos na zap-esti ot par  $i$ , agol ot na zapci te  $\beta$ , materijal ot na zapci te i dr.

### 12.2.6.1 Pret hodna presmetka vo odnos na naponot vo korenot na zabecot

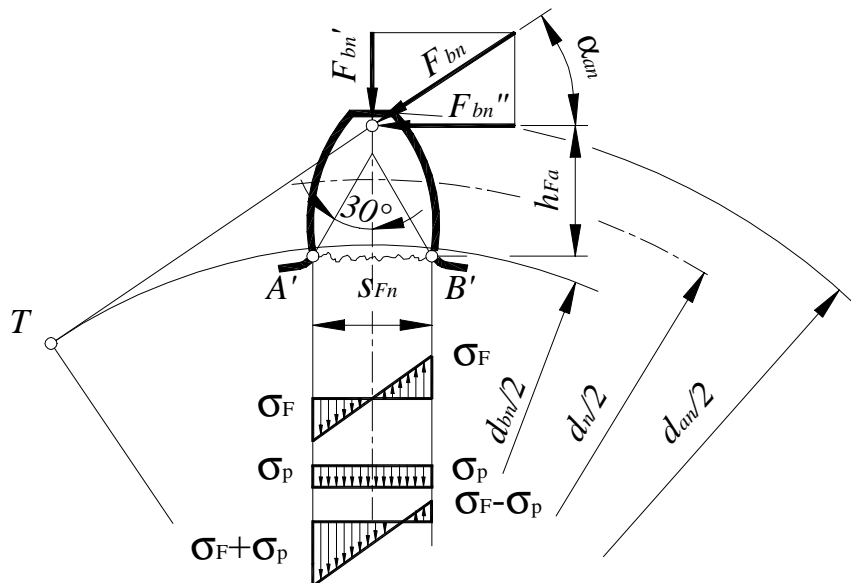
Kako osnova za presmetka vo odnos na naponot vo korenot na zabecot se zema negovata najnepovolna polo`ba vo tekot na spregnuvaweto, a toa e momentot koga vrvot na pogonski ot e vo dopi r so korenot od goneti ot zabec t.e. momentot koga pogonski ot zabec izleguva od spregata (*sl.12.45*). Pri toa, zaradi si gurnost se pretpostavuva deka cel okupnoto optovaruvawe go nosi eden edinstven zabec, { to odgovara na slu~ajot koga vrednosta na stepenot na spregnuvawe na prof il i te  $\varepsilon_\alpha = 1$ .

Zabecot na zap~enikot se razgl eduva kako simetri ~na vkl e{ tena greda (konzol a) so oska na simetrija  $s$ . Silata  $F_{bn}$  { to go optovaruva zabecot, se razlo`uva na dve komponenti  $F_{bn}'$  i  $F_{bn}''$ , pri { to vtorata go optovaruva zabecot na svi tkuvawe vo opasni ot presek, t.e.korenot, a prvata isti ot presek go optovaruva na prit i sok. Koga se saka zabecot da bide stati ~ki pravilno iskoristen bi trebela toj da ima parabol i ~en prof il, pri { to naponot od svi tkuvawe vo sekoj negov presek bi bil ednakov. Bi dej}i od ki nemati ~ki pri ~ini zabecot mora da ima evolventen, a ne parabol i ~en prof il, naponot od svi tkuvawe e najgol em vo presekot kade { to parabol ata go dopi ra vi sti nski ot prof il na zabecot. So cel presmetkata da se uprosti, vaka def i ni rani ot kri ti ~en presek se zamenuva so bli ski ot presek  $A'B'$  { to e opredelen so dopi rni te to~ki od kraci te na vpi { aniot agol od  $60^\circ$ . So

redukcija na silata  $F_{bn}''$  vo te`i { teto na presekot  $A'B'$  se dobi va spreg so moment na svi tkuvawe

$$M = F_{bn}'' h_{Fa} \quad 12.100$$

{ to predi zvi kuva naponi od svi tkuvawe i sila  $F_{bn}'$  { to, pak predi zvi kuva napon od smol knuvawe vo kriti ~ni ot preseka  $A'B'$ . Naponot od smol knuvawe se zanemaruva bi dej}i negovata maksimalna vrednost e vo neutralnata oska kade { to naponot od svi tkuvawe e ednakov na nula, a na mestoto kade { to se javuva maksimalnata vrednost na naponot od svi tkuvawe, vrednosta na naponot od smol knuvawe e minimalna. Silata  $F_{bn}'$  predi zvi kuva pri ti sok, { to isto taka mo`e da se zanemari.



Sl.12.45 Opt ovaruvawe na zabecot od nazabeni ot venec na pogonski ot zap~eni k

Taka, za naponot od svi tkuvawe vo korenot od zabecot mo`e da se napi { e

$$\sigma_F = \frac{M_F}{W} = \frac{6 F_{bn} \cos \alpha_{an} h_{Fa}}{b s_{Fn}^2} \quad 12.101$$

Ako broi tel ot i i meni tel ot na **12.101** se podel at so  $m_n^2$ , se dobi va sl ed-  
nava ravenka

$$\sigma_F = \frac{\frac{6 F_{bn} \cos \alpha_{an} h_{Fa}}{m_n^2}}{\frac{b s_{Fn}^2}{m_n^2}} = \frac{6 \frac{h_{fa}}{m_n^2} \cos \alpha_{an} F_{bn}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2 b} \quad \mathbf{12.102}$$

kade { to

$F_{bn} = \frac{F_t}{\cos \alpha_n \cos \beta}$  - sil ata { to go optovaruva pogonski ot zabec vo normal-  
nata ramni na (vi di sl.7.14 pogled B).

So zamena na posledni ot izraz za sil ata  $F_{bn}$  vo **12.102**, za naponot od  
svi tkuvawe vo kriti ~ni ot presek od koren ot na zabecot se dobi va sl edni ot  
izraz

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b m_n} Y_{Fa} \frac{1}{\cos \beta} \quad \mathbf{12.103}$$

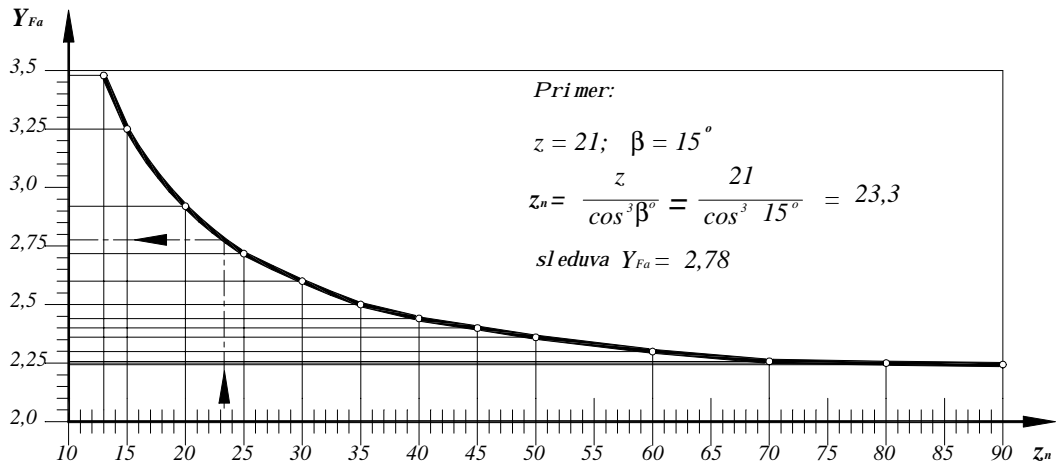
kade { to

$Y_{Fa} = \frac{6 \frac{h_{fa}}{m_n} \cos \alpha_{an}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2 \cos \alpha_n}$  - se narekuva *f akt or na obli kot na zabecot*.

Faktorot na obli kot zavisi od f ormata na prof il ot na zabecot, kako i  
od broj ot na zapci  $z$ , a za presmetkovno opredel uvawe na negovata to-na  
vrednost vo *ISO 6336* i *DIN 3990* e dadena slo`ena anal iti ~ka postapka, { to  
ja nadminuva prakti ~nata upotreba i mo`e da se primenuva vo  
nau-noistra`uva~ki celi. Pri bli`ni vrednosti na ovoj f aktor se dadeni  
so di jagramot { to e pri ka`an na *sl.12.46*, a vo zavinsnost od broj ot na zapci  
vo normal nata ramni na na zap~eni kot  $z_n = z / \cos^3 \beta$ .

Za da se izvri prethodna stati ~ka presmetka na modul ot na zap~eni kot  
vo odnos na naponot vo koren ot od zabecot, naponot od svi tkuvawe { to  
daden so **12.103** se izedna~uva so kriti ~ni ot napon na svi tkuvawe { to  
zaradi sigurnost e namalen za minimalnata vrednost na stepenot na  
sigurnost  $S_{Fmin}$ , pri { to sl eduva

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b m_n} Y_{Fa} \frac{1}{\cos \beta} \leq \frac{[\sigma_F]}{S_{F \min}} \quad 12.104$$

Sl.12.46 Faktor na zabecot  $Y_{Fa}$ 

Dijagramot na sl.12.46 va`i za cilindri~ni zap~eni ci so kosi i pravi zapci, so toa { to na apscisata se nanesuva brojot na zapci vo normalnata ramni na ( $z_n = 23,3$ ) pri { to na ordinatata se ot~ituva pri bli`nata vrednost na faktorot na zabecot ( $Y_{Fa} = 2,78$ ).

Kriti~ni ot napon, t.e. merodavnata dinamika i zdr`li vost vo odnos na svi tkuvaweto vo korenot na zabecot se dobi va sporedi zrazot

$$[\sigma_F] = \sigma_{F \lim} Y_X \frac{Y_{ST}}{Y_S} Y_N Y_\delta Y_R < \sigma_{F \lim} \quad 12.105$$

kade { to

$Y_X = 1$  e faktor na gol eminata za moduli  $m_n \leq 5$  i  $Y_X < 1$  za  $m_n > 5$ ,

$Y_{ST} = 2$  e faktor na koncentracija na naponi te za modelni ot zap~eni k,

$Y_S$  e faktor na koncentracija na naponi te za presmetuvani ot zap~eni k,

$Y_N > 1$  e faktor na vekot na traeweto pri  $N_D \leq 3 \cdot 10^6$ , vo sproti vno  $Y_N = 1$ ,

$Y_R = 0,85$  do  $1,13$  e faktor na rapavosta vo zavinsnost od kvalitetot na izrabotka na povr{inata od preodni ot del vo korenot na zabecot.

Poradi koncentracijata na naponite vo preodniot del od nogata na zabecot, treba da se biraat pomali vrednosti na dinami~kata izdr`livost na materijalot, t.e. pomali od vrednosti te { to se dadeni vo *tab.12.12*.

*Tab.12.12 Dinami~ka izdr`livost za materijalite za zap-enci*

Materijal	Oznaka	Termin~ka obrabotka	Tvrđost na zabecot [N/mm <sup>2</sup> ]		Dinami~ka izdr`livost $\sigma_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
			vo jadrot	na povr{inata	na bokot od zabecot $\sigma_{Hlim}$	vo korenot na zabecot $\sigma_{Flim}$
siv liv	SL.200	-	HB = 1670		265	49
	SL.250		HB = 2060		304	59
	SL.350		HB = 2250		353	78
nodularen liv	NL.400	-	HB = 1670		353	196
	NL.650		HB = 2450		480	216
	NL.800		HB = 2700		549	225
crn temper liv	CTeL.35	-	HB = 1370		353	186
	PTeL.65		HB = 2300		480	225
~elien liv	ČL.0500	-	HB = 1470		333	147
	ČL.0600		HB = 1720		412	167
obi~ni konst ruktivni ~elici	Č.0460	-	HB = 1230		284	167
	Č.0545		HB = 1470		333	186
	Č.0645		HB = 1760		392	196
	Č.0745		HB = 2040		451	216
~elici za podobruvawe	Č.1331	podobren	HV 10 = 1370		431	167
	Č.1531	normaliziran	HV 10 = 1810		578	196
	Č.1731	podobren	HV 10 = 2060		608	216
	Č.4130		HV 10 = 2550		637	255
	Č.4131		HV 10 = 2550		637	265
	Č.4732		HV 10 = 2740		657	284
	Č.5431		HV 10 = 3040		755	314
~elici za cementacija	Č.1220	cementirani kalen	HV 10 = 1900	HV 10 = 7200	1570	325
	Č.4320		HV 10 = 2700	HV 10 = 7200	1600	392
	Č.4321		HV 10 = 3300	HV 10 = 7200	1600	451
	Č.4721		HV 10 = 2700	HV 10 = 7200	1600	470
	Č.5420		HV 10 = 3100	HV 10 = 7200	1600	490
	Č.5421		HV 10 = 4000	HV 10 = 7400	1600	490

Ako pokraj **12.105** se zemat predvidi poznati te i zrazi

$$F_t = 318310 \frac{P}{d_1 n_1}; \quad d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta}; \quad Y_{ST} = 2 \quad \text{kako i} \quad b = \kappa d_1 \quad (\text{t ab.12.10 za } \kappa)$$

i se zamenat vo **12.104**, se dobi va i zrazot

$$318310 \frac{P \cos \beta}{\kappa m_n^3 z_1^2 n_1} Y_{Fa} \leq \frac{\sigma_{F \lim}}{S_{F \min}} Y_X \frac{2}{Y_S} Y_N Y_\delta Y_R \quad \mathbf{12.106}$$

od kade sl eduva sl edni ot i zraz za nepoznati ot modul vo normal nata ramni - na

$$m_n \geq 54,192607 \sqrt[3]{\frac{P \cos \beta}{\kappa z_1^2 n_1} \frac{Y_{Fa} Y_S}{\sigma_{F \lim} Y_X Y_N Y_\delta Y_R} S_{F \min}} \quad \mathbf{12.107}$$

Zaradi si gurnost namesto nomi nal noto optovaruvawe  $P$  vo presmetkata, potrebno e da se vnese merodavnoto optovaruvawe  $P K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta}$ , taka { to i zrazot **12.107** go dobi va sl edni ot i zgl ed

$$m_n \geq 54,192607 \sqrt[3]{\frac{P \cos \beta}{\kappa z_1^2 n_1} \frac{Y_{Fa} Y_S}{Y_X Y_N Y_\delta Y_R} \frac{K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta}}{\sigma_{F \lim}} S_{F \min}} \quad \mathbf{12.08}$$

kade { to

$K_A$  e pogonski f aktor (t ab.4.1),

$K_V$  e f aktor na brzi nata (vi di [5]),

$K_{F\alpha}$  e f aktor na raspredel bata na optovaruvaweto vo ~el ni ot presek za naponot vo podno` jeto na zabecot,

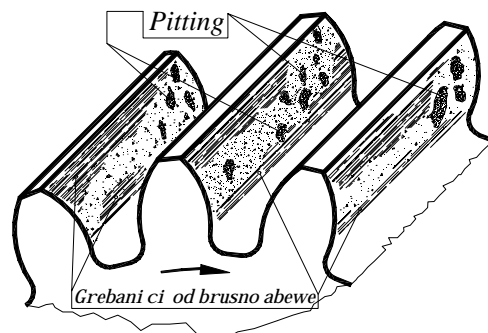
$K_{F\beta}$  e f aktor na raspredel bata na optovaruvaweto po dol ` i nata na zabecot za naponot vo podno` jeto na zabecot.

Za utvrduvawe na vrednosta na f aktori te  $K_{F\alpha}$  i  $K_{F\beta}$  postojat tri postapki vo koi nema da navleguvame (vi di [5]). Vo slu~aj koga raspredel bata na optovaruvaweto vo ~el nata ramni na i po dol ` i nata na zabecot e ideal na { to e re~isi nei zvodl i vo, ni vnata vrednost e eden, pa so takvi te mi ni mal ni vrednosti na ovie dva f aktora, dobi enata vrednost za modul ot se standardizira na prvata pobliska vrednost od t ab.12.9, so { to i dvata zap~eni ka se potpol no def i ni rani i se vr{ i korekci ja na f aktorot  $\kappa$ .

### 12.2.6.2 Pret hodna presmet ka vo odnos

### ***na naponot na bokovite od zapcite***

Postojat pove}e vidovi o} tetuvawa na povr{inata od bokovite na spregnate zapci (brusno i lizga~ko abewe, sipani~avost, abewe so zajaduvawe i dr.). Me|utoa, pod cvrsti na na bokovite od spregnate zapci se podrazbira samo ni vnata otpornost na o} tetuvawe od takanare~enata pojava "Pitting" (sipani~avost) { to se dol`i na zamor na materijalot i po



opredelen broj promeni na optovaruvaweto  $N$  podrazbira pojava na o} tetuvawe na povr{inata na bokovite od spregnate zapci so dup~iwa { to potsetuvaat na sipanci.

*Sl.12.47 Pitting (sipani~avost) vo kombi nacija so grebanci od brusno abewe na bokovite od zapcite*

Na *sl.12.47* e prikano o} tetuvawe na bokovite od zapcite na pogonski ot zap~enik kombinirano so *Pitting* i so tragi od grebanci od brusno abewe.

Pojavata *Pitting* e posledica od zamorenosta na materijalot, pa i cvrstinata na bokovite od zapcite e zasnovana vrz opredelen vremenski period na rabota, odnosno vkupen broj ciklusi ili promeni na optovaruvaweto, { to zna~i deka i za ova presmetka e merodavna dinamika izdr`livost, odnosno kriti~ni ot napon  $[\sigma_H]$ .

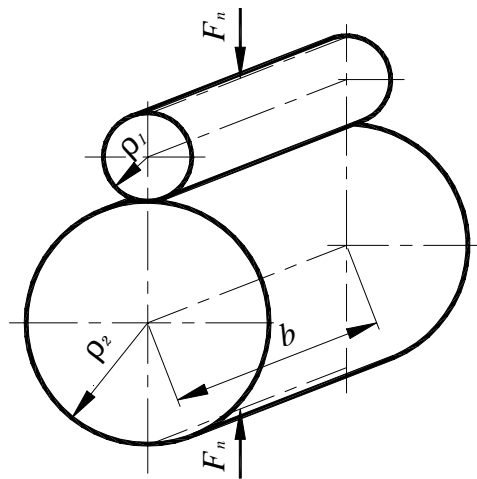
Presmetkata na normalnite naponi na bokovite od zapcite se zasnovuva na Hertz – ovata teorija za kontaktnite naponi, spored koja maksimalni ot povr{inski pritisok { to se javuva pri dopir na dva metalni valci (*sl.12.48*) optovareni so normalna sila  $F_n$  se presmetuva spored sledni ot izraz:

$$\sigma_H^2 = 0,35 \frac{F_n E}{2 \rho b} = 0,175 \frac{F_n E}{\rho b} \quad 12.109$$

kade { to

$$E = \frac{2 E_1 E_2}{E_1 + E_2} \quad \text{e sreden modul na elasti~nost za materijai te na valci te,}$$

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 \pm \rho_2} \quad \text{e relati ven radi us na kri vi ni te.}$$



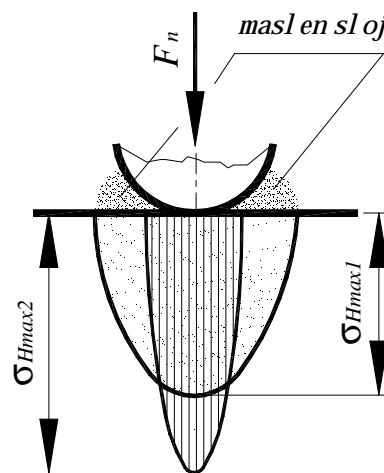
Sl.12.48 Hertz – ov povr{inski pritisk pri dopir na dva optovareni valci

Kako { to se gl eda od **12.109** spored Hertz, so porastot na optovaruvaweto  $F_n$ , se zgol emuva merodavnata povr{ina na koja toa optovaruvawe del uva { to predizvikuva degresiven porast na povr{inski ot pritisk  $\sigma_H$ . Podma-kuvaweto na povr{inite { to se dopiraat vlijae pozitivno na raspredelbata na povr{inski ot pritisk, { to e prika`ano na sl.12.49. O~igledno e od slikata deka maksimalna vrednost na povr{inski ot pritisk so podma~kani povr{ini  $\sigma_{Hmax1}$  e pomala od taa bez podma~kuvawe  $\sigma_{Hmax2}$ .

I zvedenata analiza za naponi te na dvata valci mo`e da poslu`i kako osnova za razgl eduvawe na naponi te na dopirni te povr{ini, t.e. bokovi te na dvata spregnati zapci, pri { to so promena na mestoto na dopir ot na dvata boka od spregnati te zapci, radi usi te na kri vi ni te se menuvat, se menuva

intenzitetot na optovaruvaweto  $F_n$ , a spregnuvaweto e prosledeno so lizgawe.

Vo eden period od spregnuvaweto na spregnatite nazabeni venci kaj cilindri~nite zap~enici so pravi zapci vo eden moment vo spregata u~estvuva samo eden par zapci, { to se zema za merodaven pri presmetkata na cilindri~nite zap~enici vrz osnova na povr{inski pritisk.



Sl.12.49 Hertz – ov povr{inski pritisk

Za poednostavuvawe na presmetkata se razgleduva slu~ajot koga dvata boka od zapcite se spregnati vo kinemati~ki ot pol  $C$  (sl.12.35), koga vrednosta na relati vni te radi usi na kri vi ni te se:

$$\rho_1 = \frac{d_{1b}}{2} \operatorname{tg} \alpha_t \quad \text{i} \quad \rho_2 = \frac{d_{2b}}{2} \operatorname{tg} \alpha_t \quad \mathbf{12.110}$$

{ to ako se zamenat vo

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 \pm \rho_2} \quad \mathbf{12.111}$$

za relati vni ot radi us na kri vi ni te se dobi va

$$\rho = \frac{2 d_{1b} \operatorname{tg} \alpha_t d_{2b} \operatorname{tg} \alpha_t}{4 \operatorname{tg} \alpha_t (d_{1b} \pm d_{2b})} = \frac{d_{1b}}{2} \frac{d_{2b}}{d_{1b} (1 \pm \frac{d_{2b}}{d_{1b}})} \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{d_1}{2} \frac{i}{1 \pm i} \sin \alpha_t \quad \mathbf{12.112}$$

{ to za cilindri~ni zap~enici so pravi zapci ( $\beta=0$ ) go dobi va sledni ot oblik

$$\rho = \frac{d_1}{2} \frac{i}{1 \pm i} \sin \alpha_n \quad 12.113$$

Ako vo **12.112** i **12.113** se zameni poznati ot i zraz za prenosni ot odnos, kako i za pre~ni kot na mali ot zap~enik, i sti te go dobi vaat sl edni ot i zgl ed

$$\rho = \frac{m_n z_1}{2 \cos \beta} \frac{z_2}{z_1 (1 \pm \frac{z_2}{z_1})} \sin \alpha_t = \frac{m_n}{2} \frac{z_1 z_2}{z_1 \pm z_2} \frac{\sin \alpha_t}{\cos \beta} \quad 12.114$$

i za  $\beta = 0$ , ( $\alpha_t = \alpha_n$ ) se dobi va

$$\rho = \frac{m_n z_1}{2} \frac{z_2}{z_1 (1 \pm \frac{z_2}{z_1})} \sin \alpha_n = \frac{m_n}{2} \frac{z_1 z_2}{z_1 \pm z_2} \sin \alpha_n \quad 12.115$$

Dol `i nata na dopi rot na dvata spregnati nazabeni venci pretstavuva zbir na dol `i ni te na dopi rni te li ni i na parovi te zapci { to i stovremeno u~estvuvaat vo spregata. Za presmetka na povr{ i nski ot pri ti sok na bokovite od spregnati te zapci e merodavna mi ni mal nata dol `i na na dopi rot od i stovremeno spregnati te parovi zapci . Spored *DIN 3990* nejzi nata vrednost se presmetuva so sl ednata ravenka

$$b_{cal} = \frac{b}{\cos \beta_b} \frac{1}{Z_\varepsilon^2} = \frac{b}{\cos \beta} \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_n} \frac{1}{Z_\varepsilon^2} \quad 12.116$$

kade { to

$$Z_\varepsilon^2 = \frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3} (1 - \varepsilon_\beta) + \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha} \quad 12.117$$

pretstavuva kvadrat od f aktorot na spregnuvawe.

Merodavnata sila { to go napa|a bokot od zabecote

$$F_{bn} = \frac{F_t}{\cos \alpha_n \cos \beta} K_A K_V = 318310 \frac{P K_A K_V}{n_1 d_1 \cos \alpha_n \cos \beta} = 318310 \frac{P K_A K_V}{n_1 m_n z_1 \cos \alpha_n} \quad 12.118$$

Ako **12.114**, **12.116** i **12.118** se zamenat namesto  $\rho$ ,  $b$  i  $F_n$  vo **12.109**, za kvadratot od Hertz – ovi ot povr{ i nski pri ti sok na bokot od mali ot zap-eni k se dobi va

$$\sigma_H^2 = 0,175 \cdot 318310 \frac{PK_A K_V E}{n_1 m_n z_1 \cos \alpha_n \frac{m_n z_1 z_2 \sin \alpha_t}{2 z_1 \pm z_2} \frac{b \cos \alpha_t}{\cos \beta} \frac{1}{\cos \alpha_n} \frac{1}{Z_\epsilon^2} \frac{2}{2}} \quad \mathbf{12.119}$$

od kade za Hertz – ovi ot povr{ i nski pri ti sok se dobi va

$$\sigma_H = 236,01748 \frac{\cos \beta}{m_n z_1} Z_\epsilon \sqrt{E} \sqrt{\frac{PK_A K_V}{bn_1} \frac{1 \pm i}{i}} \frac{2}{\sqrt{\sin 2\alpha_t}} \quad \mathbf{12.120}$$

ili

$$\sigma_H = 236,01748 \frac{\cos \beta}{m_n z_1} Z_\epsilon Z_{H\beta} \sqrt{E} \sqrt{\frac{PK_A K_V}{bn_1} \frac{1 \pm i}{i}} \quad \mathbf{12.121}$$

pri { to

$$Z_{H\beta} = \frac{2}{\sqrt{\sin 2\alpha_t}} - f \text{ aktor na obl i kot na bokot na zabecot}$$

Ako vo **12.121** za modul ot na el asti ~nosta se zameni  $E=206000 [N/mm^2]$ , a za  $b=\kappa d_1=\kappa m_n z_1/\cos \beta$ , za Hertz – ovi ot povr{ i nski pri ti sok kaj ~eli ~nite zap-eni ci se dobi va

$$\sigma_H = 107121,78 \frac{\cos \beta}{m_n z_1} Z_\epsilon Z_{H\beta} \sqrt{\frac{PK_A K_V}{\kappa \frac{m_n z_1}{\cos \beta} n_1} \frac{1 \pm i}{i}} \quad \mathbf{12.122}$$

So sreduvawe na **12.122** se dobi va kone~ni ot obl i k na i zrazot za Hertz – ovi ot povr{ i nski pri ti sok kaj ~eli ~nite zap-eni ci

$$\sigma_H = 107121,78 Z_\epsilon Z_{H\beta} \sqrt{\frac{PK_A K_V}{\kappa m_n^3 z_1^3 n_1} \frac{1 \pm i}{i} \cos^3 \beta} \quad \mathbf{12.123}$$

So kvadri rawe na **12.123** se dobi va

$$\sigma_H^2 = 1,1475 \cdot 10^{10} Z_\epsilon^2 Z_{H\beta}^2 \frac{PK_A K_V}{\kappa m_n^3 z_1^3 n_1} \frac{1 \pm i}{i} \cos^3 \beta \quad \mathbf{12.124}$$

Vaka def inirani ot kvadrat od *Hertz* – ovi ot povr{ inski prit isok e merodaven za presmetka na vrednosta na modul ot na zap-esti ot pari toj treba da bi de pomal ili ednakov so kvadrat ot od kriti ~ni ot napon  $[\sigma_H]$ , { to zaradi si gurnost se deli so mi ni mal nata vrednost na stepenot na si gurnost  $S_{Hmin}$ , taka { to se dobi va

$$1,1475 \cdot 10^{10} Z_\epsilon^2 Z_{H\beta}^2 \frac{PK_A K_V}{\kappa m_n^3 z_1^3 n_1} \frac{1 \pm i}{i} \cos^3 \beta \leq Z_X^2 Z_L^2 Z_R^2 Z_V^2 Z_N^2 \sigma_{Hlim}^2 = \frac{[\sigma_H]^2}{S_{Hmin}^2} \quad 12.125$$

od kade za barani ot normal en modul na spregnati ot zap-est pari se dobi va sl edni ot i zraz

$$m_n \geq 225555 \frac{\cos \beta}{z_1} \sqrt[3]{\frac{PK_A K_V}{\kappa n_1} \frac{1 \pm i}{i} \frac{Z_\epsilon^2 Z_{H\beta}^2 S_{Hmin}^2}{Z_X^2 Z_L^2 Z_R^2 Z_V^2 Z_N^2 \sigma_{Hlim}^2}} \quad 12.126$$

kade { to

$Z_X = 1,0$  e f aktor na gol emi nata za pretpostaveno  $m_n < 8,0 \text{ mm}$  i  $Z_X = 1,0$  do  $0,75$  za pretpostaveno  $m_n > 8,0 \text{ [mm]}$ .

$Z_L = 0,9$  e f aktor na masl oto za podma~kuvawe so ki nemati ~ka vi skoznost od  $20 \text{ [mm}^2/\text{s]}$ ,  $Z_L = 1,0$  za masl o so ki nemati ~ka vi skoznost od  $100 \text{ [mm}^2/\text{s]}$  i  $Z_L = 1,1$  za masl o so vi skoznost od  $300 \text{ [mm}^2/\text{s]}$ .

$Z_R = 1,0$  e f aktor na rapavosta za  $R_z = 3,0 \text{ [\mu m]}$  do  $Z_R = 0,8$  za rapavost na bokovi te od zapci te  $R_z = 14,0 \text{ [\mu m]}$ ,

$Z_V = 0,92$  e f aktor na pretpostavenata brzi na do  $v = 1,0 \text{ [m/s]}$ ,  $Z_R = 1,0$  za  $v = 10,0 \text{ [m/s]}$  do  $Z_R = 1,1$  za  $v = 100,0 \text{ [m/s]}$ ,

$Z_N > 0$  e f aktor na predvi deni ot pokus vek na traewe, normal no  $Z_N = 1$ .

Vo postoe~ki te *ISO* i *DIN* normi postojat soodvetni dijagrami od koi e mo`no opredeluvawe na to~nite vrednosti na ovi e f aktori. Gore navedenite vrednosti se samo gruba orientacija { to e dovol na za da se napravi prethodnata presmetka na cilindri ~nite zap-esti parovi, t.e. da se izvr{ i presmetka na nivni ot normal en modul  $m_n$ . Vaka dobi enata vrednost za modul ot se standardizira na prvata pobliska vrednost, so { to i dvata zap~enika se potpol no def inirani i se vr{ i korekcija na f aktorot  $\kappa$ .

### 12.2.6.3 I zbor na jakosnat a presmet ka na cilindri ~nite zap-est i parovi

Vo zavisnost od izbrani ot materijal za zap~enicite, prethodnata presmetka se raboti vrz osnova na kr{ewe vo koren ot na zabecot ili, pak, vrz osnova na *Hertz* – ovi ot povr{ inski prit isok, a zavr{ nata (kontrol na

presmetka se raboti i po dvete osnovi. Taka, ako izbrani ot materijal e obi~en konstruktiven ~elik ili pak ~elik za podobruvawe { to poka` uvaat pomala izdr`livost vo odnos na povr{inski pritisok, prethodnata presmetka na normalni ot modul na zap~esti ot par  $m_n$  se raboti spored *Hertz*-oviot povr{inski pritisok, a dokolku izbrani ot materijal e ~elik za cementacija { to e poizdr`liv vo odnos na povr{inski pritisok, prethodnata presmetka se raboti vo odnos na naponot vo korenot na zabecot. Vo dvata slu~ai, zavr{ nata (kontrolna) presmetka se izvr{ uva i po odnos na naponot vo korenot na zabecot i po odnos na *Hertz*-oviot povr{inski pritisok.

### **12.2.6.4 Kontrolna presmetka vo odnos na naponot vo korenot na zabecot**

Kontrolnata presmetka na cilindri~nite zap~esti parovi se sveduva na proverka na stepenot na sigurnost vo odnos na naponot vo korenot na zabecot od mali ot zap~eni k { to se def i ni ra kako odnos na kri ti ~ni ot  $[\sigma_F]$  i rabotni ot (stvarni ot) napon od svi tkuvawe vo korenot na zabecot  $\sigma_F$  i poka` uva za kol ku pati rabotni ot treba da bi de pomal od kri ti ~ni ot napon t.e.

$$S_F = \frac{[\sigma_F]}{\sigma_F} = \frac{\sigma_{F\lim} Y_X Y_{ST} Y_N Y_\delta Y_R}{\frac{F_t}{bm_n \cos\beta} \frac{Y_{Fa}}{Y_S}} = \frac{bm_n \cos\beta}{F_t Y_{Fa} Y_S} \sigma_{F\lim} Y_X Y_{ST} Y_N Y_\delta Y_R \geq 1,4 = S_{F\min} \quad 12.127$$

Vo tekot na ovaa presmetka si te potrebni f aktori treba da se zemat so ni vnata to~na vrednost, bi dej}i zap~esti ot par e potpol no def i ni ran i si te potrebni dimenzii i f aktori mo` at precizno da se utvrdat t.e. presmetaat.

### **12.2.6.5 Kontrolna presmetka vo odnos na povr{inski ot (*Hertz* – ov) pri ti sok na bokot od zabecot**

Kontrolnata presmetka vo odnos na povr{inski ot (*Hertz* – ov) pri ti sok na cilindri~nite zap~esti parovi se sostoi vo proverka na stepenot na sigurnost, { to vo ovoj slu~aj se presmetuva kako kol i ~nik od kri ti ~ni ot  $[\sigma_H]$  i rabotni ot napon na povr{inski pri ti sok  $\sigma_H$ , t.e.

$$S_H = \frac{[\sigma_H]}{\sigma_H} = \frac{Z_x Z_L Z_R Z_V Z_N \sigma_{H\text{lim}}}{107121,78 Z_\varepsilon Z_{H\beta} \frac{\cos\beta}{m_h z_1} \sqrt{\frac{P K_A K_V 1 \pm i}{b n_1 i}}} \geq 1,1 = S_{H\text{mi}} \quad \mathbf{12.128}$$

Kako { to se gleda, se prepora~uvaat poni ski vrednosti za stepenot na si gurnost vo odnos na Hertz – ovi ot povr{ i nski pri ti sok  $S_H$  od oni e vo odnos na stepenot na si gurnost od kr{ ewe vo korenot na zabecot  $S_F$ , bi dej} i *Pitting* – ot nastapuva postepeno i poradi toa ne doveduva do momentno otka` uvawe t.e. onesposobuvawe na prenosni kot kako { to e vo slu-ajot so kr{ eweto vo korenot na zabecot. Kol ku poto~no se opredel eni kri ti ~ni ot i rabotni ot napon, kako i drugi te pomo{ ni f aktori, tol ku poprecizno e opredel ena i vrednosta na stepenot na si gurnosta.