

Geometrija valjastih zobnikov

Predloga za vaje pri predmetu

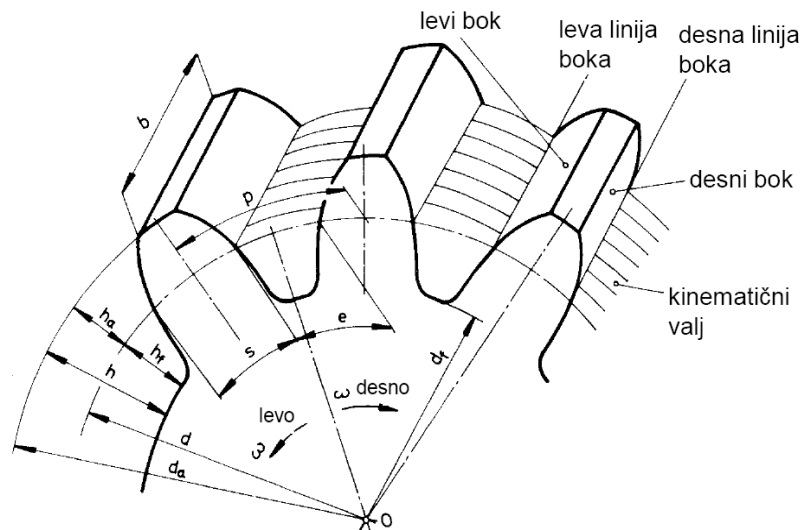
Strojni elementi 3

Pripravil: as. dr. Ivan Okorn, univ. dipl. inž.

KAZALO:

1. Preliminarna določitev dimenzij valjastih zobnikov	3
1.1 Število zob zobnikov	3
1.2 Ocena modula zobnika	4
1.3 Premera razdelnih krogov in medosna razdalja	6
1.4 Širina zobnika.....	6
1.5 Profilni premiki na zobnikih.....	6
1.6 Premeri zobnika	10
1.7 Stopnja prekritja.....	10
1.8 Notranje ozobje	11
2. Tolerance zobnikov.....	13
2.1 Tolerančni razredi ozobja	13
2.2 Tolerance zobne debeline	14
2.3 Tolerance in odstopki medosne razdalje.....	15
2.4 Bočna zračnost	16
2.5 Mera čez zobe z odstopki.....	17
3. Podatki na delavniški risbi zobnika	18
4. Literatura.....	20

1. Preliminarna določitev dimenzij valjastih zobnikov



Slika 1: Geometrijske veličine valjastega zobnika z ravnimi zobmi

1.1 Število zob zobnikov

Pri določanju števila zob pastorka z_1 upoštevamo priporočila v tabelah Tab 1. V primeru visokih prestav izberemo število zob za pastorek pod mejnim številom zob. Na zobnikih moramo izvesti ustrezen pozitivni profilni premik.

$$z_2 = z_1 \cdot i \quad (1)$$

i prestava

Število zob zobnika z_2 zaokrožimo na celo število.

Tab 1: Priporočila za izbiro števila zob pastorka z_1

a) glede na obratovalne zahteve

Zahteve	Primeri uporabe	z_1
Korenska in bočna trdnost izravnani	Gonila v splošnem strojništvu (majhne in srednje vrtilne frekvence)	20...30
Korenska trdnost pomembnejša od bočne trdnosti	Dvigala, nekatera vozila	14...20
Bočna trdnost pomembnejša od korenske trdnosti	Močno obremenjena hitrotekoča gonila, ki trajno obratujejo	>35
Zelo miren in tih tek	Hitrotekoča gonila	

b) glede na toplotno obdelavo in prestavo

Toplotna obdelava materiala zobnika	i	Število zob z_1 pri prestavi i			
		1	2	3	4
Poboljšanje do 230 HB		32...60	29...55	25...50	22...45
Poboljšanje nad 230 HB		30...50	27...45	23...40	20...35
Nitrirano		24...40	21...35	19...31	16...26
Cementirano		21...32	19...29	16...25	14...22
Nodularna litina		26...45	23...40	21...35	18...30

1.2 Ocena modula zobnika

Pri znanem vrtilnem momentu in izbranem materialu zobnikov ocenimo modul zobnika [1], [2]:

$$m_n \approx \frac{95 \cdot \cos \beta}{z_1} \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{t1}}{\psi_d \cdot \sigma_{H \text{ lim1}}^2} \cdot \frac{i+1}{i}} \quad \text{za zobnike z mehko površino bokov} \quad (2)$$

$$m_n \approx 1,85 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{t1} \cdot \cos^2 \beta}{z_1^2 \cdot \psi_d \cdot \sigma_{F \text{ lim1}}}} \quad \text{za površinsko utrjene zobnike} \quad (3)$$

- m_n normalni modul v mm
 ψ_d razmerje širine zobnika in premera (Tab 2)
 M_{t1} vrtilni moment na pastorku v Nmm
 β kot poševnosti ozobja
 $\sigma_{F \text{ lim}}$ korenska trajna dinamična trdnost materiala pastorka v MPa (Tab 3)
 $\sigma_{H \text{ lim}}$ bočna trajna dinamična trdnost materiala zobnika v MPa (Tab 3)
 u zobno razmerje, $u = z_2/z_1 \geq 1$

Izberemo standardni modul po tabeli Tab 4.

Tab 2: Vrednosti $\psi_d = b/d_1$ za valjaste zobnike

a) Vrednosti $\psi_d = b/d_1$ glede na prestavo

Vrsta gonila Tolerančni razred ozobja	$\psi_d = b/d_1$								
	i	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Menjalniki in počasi tekoča gonila Tolerančni razred ozobja 8-10		0,25	0,31	0,35	0,40	0,45	0,5	0,55	0,6
Srednjehitro tekoča gonila, univerzalna gonila Tolerančni razred ozobja 7-8		0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,83	0,9
Hitro tekoča gonila z dolgo dobo trajanja, Tolerančni razred ozobja 6-7		0,8	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,12	1,16

b) Vrednosti $\psi_d = b/d_1$ glede na lego zobnika in toplotno obdelavo

	Toplotna obdelava			
	Normalno žarjenje HB < 180	Poboljšanje HB > 200	Plamensko ali induktivno kaljenje	Nitriranje
Lega zobnika na gredi	$\psi_d = b/d_1$			
Simetrično med ležajema	$\leq 1,6$	$\leq 1,4$	$\leq 1,1$	$\leq 0,8$
Nesimetrično med ležajema	$\leq 1,3$	$\leq 1,1$	$\leq 0,9$	$\leq 0,6$
Na prevesnem polju gredi	$\leq 0,8$	$\leq 0,7$	$\leq 0,6$	$\leq 0,4$

Tab 3: Trajne dinamične trdnosti materialov za zobnike (po Niemann, Winter [3])

Skupina materialov	Oznaka po EN	Toplotna obdelava	Trdota		σ_{Flim} (MPa)	σ_{Hlim} (MPa)
Siva litina	EN-GJL-200	-	180 HB		40	300
	EN-GJL-250	-	220 HB		55	360
Temprana litina	EN-GJMB-350	-	150 HB		165	320
	EN-GJMB-650	-	220 HB		205	460
Nodularna litina	EN-GJS-400	-	180 HB		185	370
	EN-GJS-600	-	250 HB		225	490
	EN-GJS-800	-	320 HB		250	600
Jeklena litina	GS-52	-	160 HB		140	320
	GS-60	-	180 HB		160	380
Konstrukcijska jekla	E295	-	160 HB		160	370
	E335	-	190 HB		175	430
	E360	-	210 HB		205	460
Jekla za poboljšanje	C 45	normalizirano	190 HV 10		205	530
	34CrMo4	poboljšanje	270 HV 10		260	530
	42CrMo4		300 HV 10		285	600
	34CrNiMo6		310 HV 10		305	630
Jekla za poboljšanje	C45 34CrMo4 42CrMo4 34CrNiMo6	plamensko ali induktivno kaljenje	jedro	boki	270 430 360 380	1030 1070 1170 1270
			190 HV 10	560 HV 10		
			270 HV 10	590 HV 10		
			280 HV 10	610 HV 10		
			250 HV 10	590 HV 10		
Jekla za poboljšanje in nitriranje	42CrMo4 16MnCr5 31CrMoV9 14CrMoV6.9	plinsko nitriranje	180 HV 10	550 HV 1	385	1070
			280 HV 10	550 HV 1	405	1100
			320 HV 10	700 HV 1	420	1230
			360 HV 10	770 HV 1	430	1270
Jekla za cementiranje	16MnCr5 15CrNi6 17CrNiMo6	cementiranje in kaljenje	270 HV 10	720 HV 1	430	1470
			310 HV 10	730 HV 1	460	1490
			400 HV 10	740 HV 1	500	1510

Vrednosti v tabeli za σ_{Flim} veljajo za utripno obremenitev zoba. Pri izmenični obremenitvi znaša σ_{Flim} 70% podanih vrednosti.

Tab 4: Standardni moduli m_n evolventnih zobnikov v mm (prednostno se uporabljajo debelo tiskane vrednosti)

1	4	16
1,125	4,5	18
1,25	5	20
1,375	5,5	22
1,5	6	25
1,75	7	28
2	8	32
2,25	9	36
2,5	10	40
2,75	11	45
3	12	50
3,5	14	

1.3 Premera razdelnih krogov in medosna razdalja

$$d_1 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_1$$

$$d_2 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_2 \quad (4)$$

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2 \cdot \cos \beta} \quad (5)$$

Dejanska medosna razdalja a je enaka a_d le v primeru, če so zobniki izdelani brez profilnega premika (srednjica zobnice tangira razdelni krog zobnika).

1.4 Širina zobnika

Pri določanju širine zobnika upoštevamo konstrukcijska priporočila za razmerja širine in premera ψ_d ter širine in modula ψ_m (Tab 5).

$$b_1 = \psi_d \cdot d_1 \quad (6)$$

$$b_1 = \psi_m \cdot m \quad (7)$$

Širino zaokrožimo na celo število. Izberemo manjšo od izračunanih širin.

Tab. 5: Razmerje širine zobnika in modula $\psi_m = b_1/m$

Vležajenje	Tolerančni razred ozobja	$\psi_m = b_1/m$
Jeklena konstrukcija, lahko ohišje	11...12	10...15
Jeklena konstrukcija ali plavajoči pastorek	8...9	15...25
Dobro uležajenje v ohišju	6...7	20...30
Natančno paralelno in togo uležajenje	6...7	25...35
$b/d_1 \leq 1$ natančno paralelno, togo uležajenje	5...6	40...60

1.5 Profilni premiki na zobnikih

Pri zobniku brez profilnega premika srednjica zobnice tangira na razdelni krog zobnika. Profilni premik V je primik ali odmik zobnice glede na razdelni krog zobnika.

$$V = x \cdot m \quad (8)$$

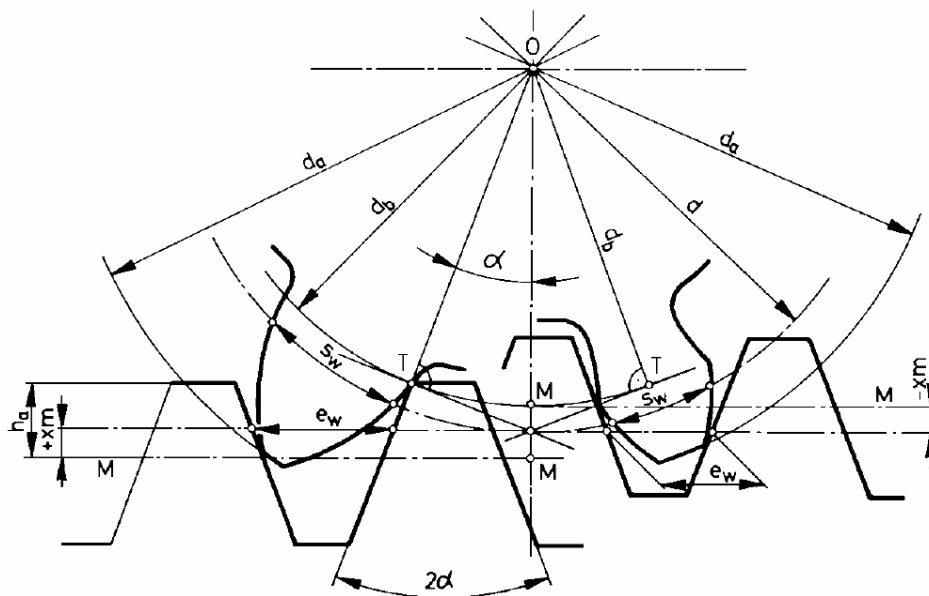
x koeficient profilnega premika (predznak je razviden iz slike 2)

Pri zobniku s profilnim premikom se spremenita premera temenskega in vznožnega kroga, premera razdelnega in osnovnega kroga pa ostaneta enaka kot pri zobniku brez profilnega premika.

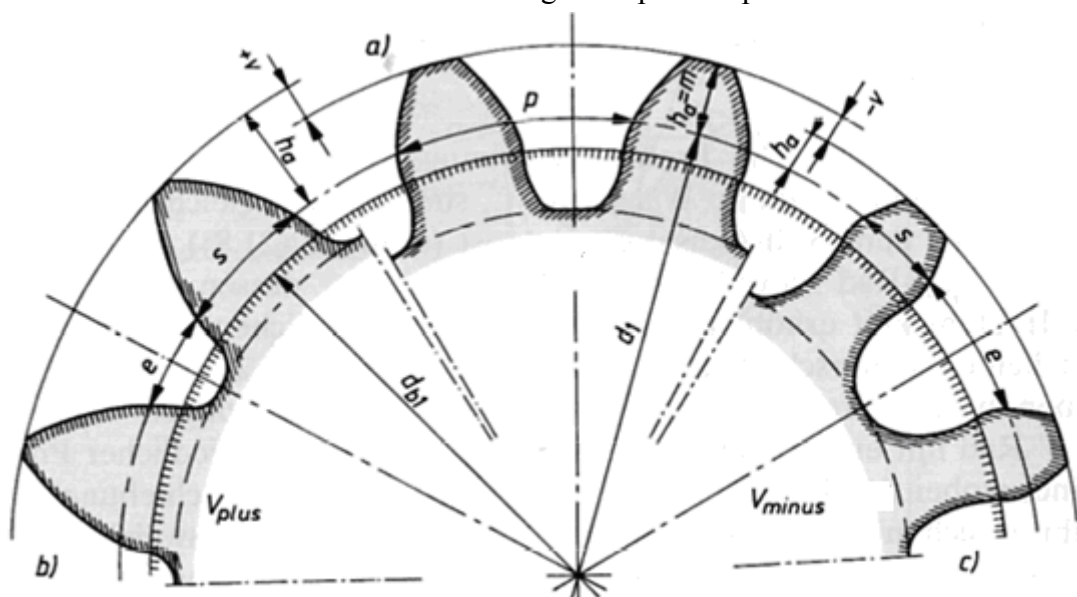
Razlogi za uporabo profilnega premika so:

- izdelava zobnika z številom zob, ki je manjše od mejnega,
- povečanje nosilnosti,
- povečanje stopnje prekritja in s tem zmanjšanje hrupnosti,
- zmanjšanje drsne hitrosti med boki zob,
- doseganje željene medosne razdalje.

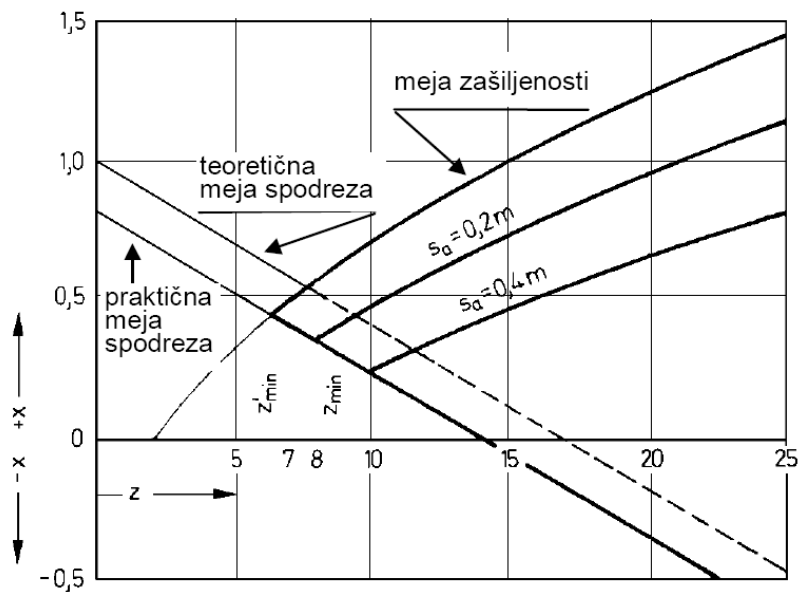
Če je vsota profilnih premikov x_1+x_2 različna od 0, razdelna kroga nista več kinematska kroga, spremeni se medosna razdalja in ubirni kot.



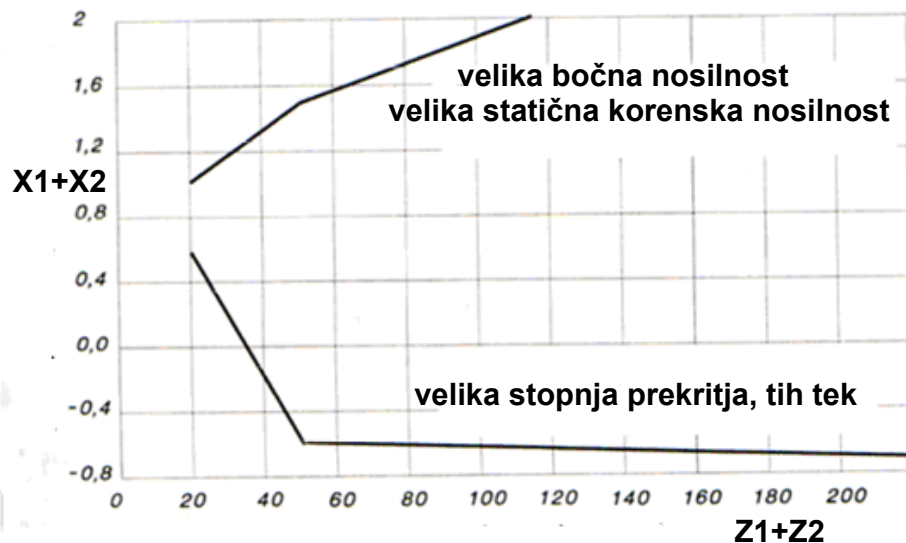
Slika 2: Pozitivni in negativni profilni premik



Slika 3: Vpliv profilnega premika na obliko zoba

Slika 4: Omejitve profilnega premika za $\alpha_n = 20^\circ$

Profilni premik je navzgor omejen z ošiljenostjo zoba navzdol pa s spodrezanjem korena zoba (Slika 4). DIN3992 podaja priporočila za izbiro vsote profilnih premikov glede na željene obratovalne lastnosti (Slika 5)



Slika 5: Priporočila za izbiro vsote profilnih premikov (zunanje ozobje)

Medosna razdalja je odvisna od vsote profilnih pomikov. Pri željeni medosni razdalji jih določimo po enačbi

$$x_1 + x_2 = \frac{z_1 + z_2}{2 \cdot \tan \alpha_n} \cdot (\operatorname{inv} \alpha_{wt} - \operatorname{inv} \alpha_t) \quad (9)$$

Obratovalni ubirni kot α_{wt} (naklonski kot ubirnice v čelnem rezu) je

$$\alpha_{wt} = \arccos\left(\frac{a_d}{a} \cdot \cos \alpha_t\right), \quad (10)$$

kjer je

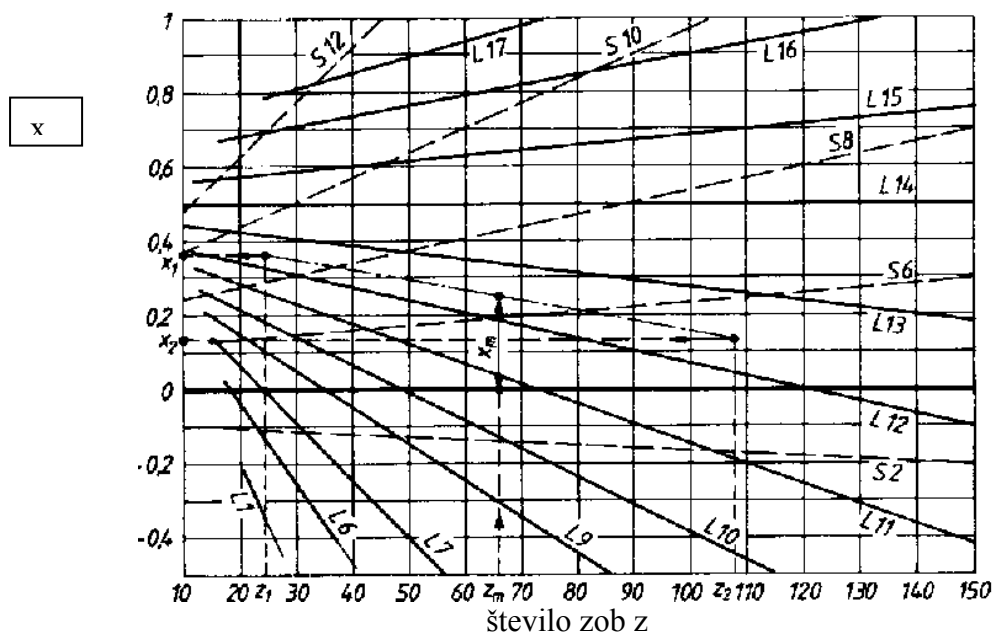
$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}\right)$$

$\alpha_n = 20^\circ$, a_d vrednost medosne razdalje po enačbi (5) in a željena medosna razdalja.

Funkcijo $\text{inv}\alpha$ imenujemo evolventna funkcija. Vrednosti so za različne ubirne kote podane v Tab 6. Vsoto profilnih premikov porazdelimo na posamezna zobnika po diagramu na sliki 6 (priporočilo po DIN 3992).

Tab 6: Evolventna funkcija $\text{inv}\alpha = \tan\alpha - \pi\cdot\alpha^\circ/180$

$\alpha[^\circ]$,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
15	0,006150	0,006276	0,006404	0,006534	0,006665	0,006799	0,006934	0,007071	0,007209	0,007350
16	0,007493	0,007637	0,007784	0,007932	0,008082	0,008234	0,008388	0,008544	0,008702	0,008863
17	0,009025	0,009189	0,009355	0,009523	0,009694	0,009866	0,010041	0,010217	0,010396	0,010577
18	0,010760	0,010946	0,011133	0,011323	0,011515	0,011709	0,011906	0,012105	0,012306	0,012509
19	0,012715	0,012923	0,013134	0,013346	0,013562	0,013779	0,013999	0,014222	0,014447	0,014674
20	0,014904	0,015137	0,015372	0,015609	0,015849	0,016092	0,016337	0,016585	0,016836	0,017089
21	0,017345	0,017603	0,017865	0,018129	0,018395	0,018665	0,018937	0,019212	0,019490	0,019770
22	0,020054	0,020340	0,020629	0,020921	0,021217	0,021514	0,021815	0,022119	0,022426	0,022736
23	0,023049	0,023365	0,023684	0,024006	0,024332	0,024660	0,024992	0,025326	0,025664	0,026005
24	0,026350	0,026697	0,027048	0,027402	0,027760	0,028121	0,028485	0,028852	0,029223	0,029598
25	0,029975	0,030357	0,030741	0,031130	0,031521	0,031917	0,032315	0,032718	0,033124	0,033534
26	0,033947	0,034364	0,034785	0,035209	0,035637	0,036069	0,036505	0,036945	0,037388	0,037835
27	0,038287	0,038742	0,039201	0,039664	0,040131	0,040602	0,041076	0,041556	0,042039	0,042526
28	0,043017	0,043513	0,044012	0,044516	0,045024	0,045537	0,046054	0,046575	0,047100	0,047630
29	0,048164	0,048702	0,049245	0,049792	0,050344	0,050901	0,051462	0,052027	0,052597	0,053172
30	0,053751	0,054336	0,054924	0,055518	0,056116	0,056720	0,057328	0,057940	0,058558	0,059181



Slika 6: Porazdelitev profilnih premikov

Primer porazdelitve vsote profilnih pomikov na posamezna zobnika

Podatki: $z_1 = 24$; $z_2 = 108$; $x_1+x_2 = 0,5$

Srednja vrednost vsote profilnih pomikov in srednja vrednost števila zob

$$x_m = \frac{(x_1 + x_2)}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25; \quad z_m = \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{24 + 108}{2} = 66$$

x_m in z_m določata premico na sliki 6.

Na izbrani premici odčitamo pri $z_1 = 24$ profilni pomik $x_1 = 0,36$. Profilni premik drugega zobnika izračunamo na 4 decimalna mesta.

$$x_2 = (x_1+x_2) - x_1 = 0,5 - 0,36 = 0,14$$

1.6 Premeri zobnika

Premer vznožnega kroga

$$\begin{aligned} d_{f1} &= d_1 - 2,5 \cdot m_n + 2 \cdot m_n \cdot x_1 \\ d_{f2} &= d_2 - 2,5 \cdot m_n + 2 \cdot m_n \cdot x_2 \end{aligned} \quad (11)$$

Premer temenskega kroga

$$\begin{aligned} d_{a1} &= d_1 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot m_n \cdot x_1 + 2 \cdot k \cdot m_n \\ d_{a2} &= d_2 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot m_n \cdot x_2 + 2 \cdot k \cdot m_n \end{aligned} \quad (12)$$

kjer je

$$k \cdot m_n = a - a_d - m_n \cdot (x_1 + x_2) \quad (13)$$

krajšanje temena zoba.

Upoštevamo ga le kadar je izračunana vrednost negativna

Premer osnovnega kroga

$$\begin{aligned} d_{b1} &= d_1 \cdot \cos \alpha_n \\ d_{b2} &= d_2 \cdot \cos \alpha_n \end{aligned} \quad (14)$$

Premer kinematskega kroga

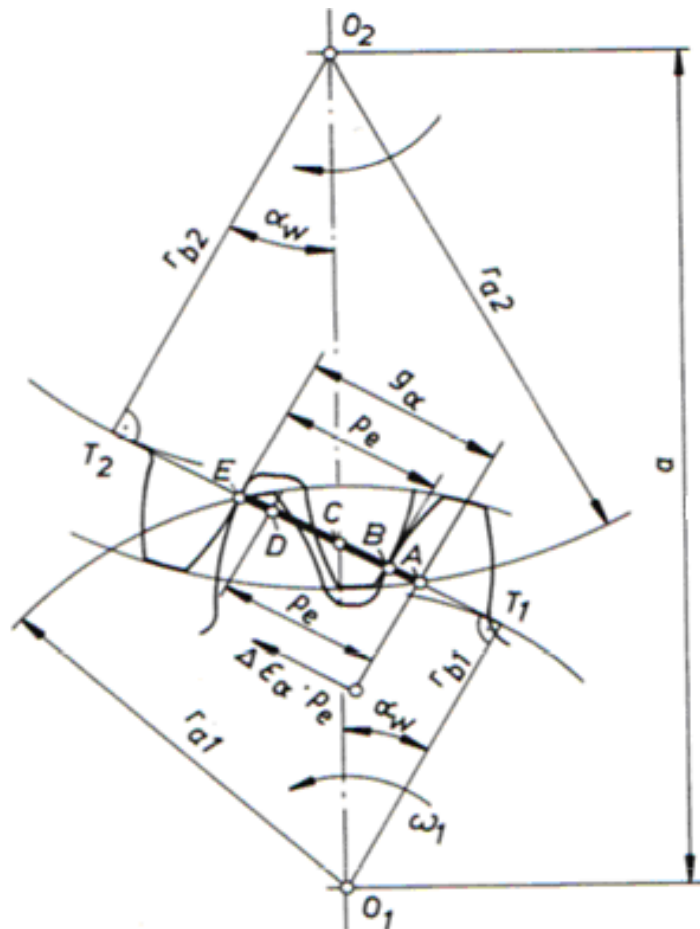
$$\begin{aligned} d_{w1} &= d_1 \cdot \cos \alpha_t / \cos \alpha_w \\ d_{w2} &= d_2 \cdot \cos \alpha_t / \cos \alpha_w \end{aligned} \quad (15)$$

1.7 Stopnja prekritja

Zobniška dvojica prenaša vrtilno gibanje kontinuirano, če ob koncu ubiranja enega para zob v E naslednji par zob že nekaj časa ubira ali vsaj začenja ubirati v točki A. Pogoj je izpolnjen, če je aktivna dolžina ubirnice g_α večja od razdelka vzdolž ubirnice p_e (slika 7). Razmerje med aktivno dolžino ubirnice in razdelkom imenujemo profilna stopnja prekritja.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_e} \geq 1,1 \quad (16)$$

Stopnja prekritja vpliva na mirnost teka in na porazdelitev sil na zobe. Zaželeno je da je čimvečja. Na stopnjo prekritja vplivajo modul, število zob zobnikov in profilni premiki.



Slika 7: Dolžina ubirnice pri evolventnem ozobju

Profilna stopnja prekritja pri ravnem ozobju

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2 \cdot a \cdot \sin \alpha_{wt}}{2 \cdot \pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha_t} \quad (17)$$

Bočna stopnja prekritja

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b \cdot \sin \beta}{m_n \cdot \pi} \quad (18)$$

Celotna stopnja prekritja

$$\varepsilon_{\gamma} = \varepsilon_{\alpha} + \varepsilon_{\beta} \quad (19)$$

1.8 Notranje ozobje

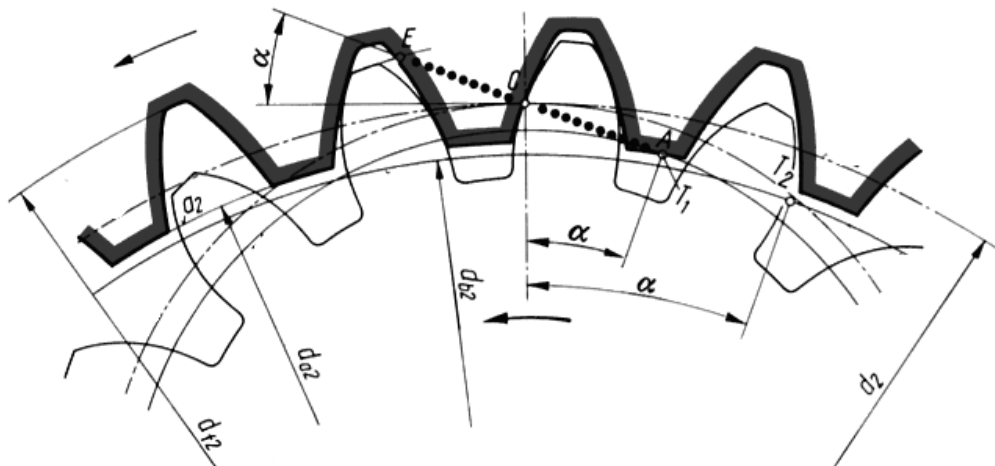
Posebej pri planetnih gonili ima eden od sončnikov pogosto notranje ozobje.

Zobnik z notranjim ozobjem koristi notranji (konkavni) del evolvente. Premere določimo na enak način kot pri zunanjem ozobju. Profilni pomik je pozitiven, če se pehalni zobnik primakne središču zobnika (ravno nasprotno kot pri zunanjem ozobju).

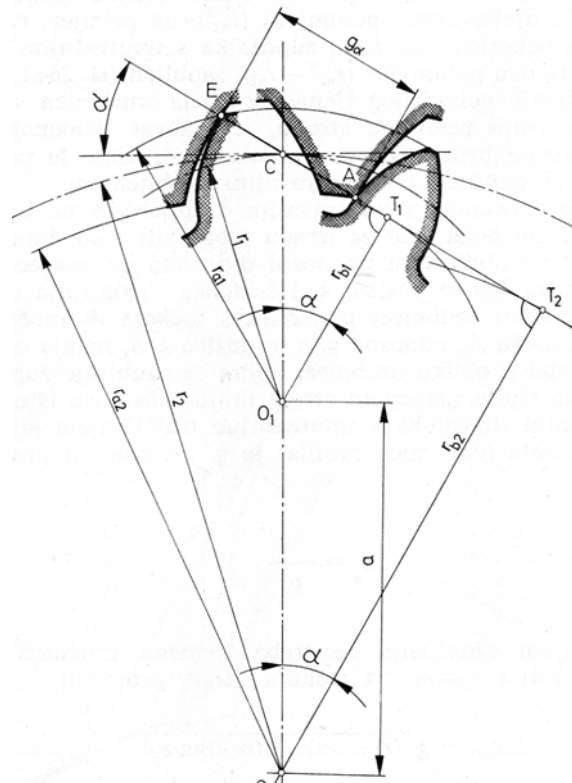
$$d = m_n \cdot z \quad (20)$$

$$d_a = d - 2m_n - 2m_n x \quad (21)$$

$$d_f = d + 2,5m_n - 2m_n x \quad (22)$$



Slika 8: Geometrija zobnika z notranjim ozobjem



Slika 9: Ubiranje zobnika z notranjim ozobjem

2. Tolerance zobnikov

2.1 Tolerančni razredi ozobja

Pri izdelavi zobnikov nastopijo odstopki od teoretičnih dimenzij in oblike. Tem odstopkom se pri montaži pridružijo odstopki ohišja. Odstopki ozobja so definirani v standardih DIN3961 in ISO1328. Za 12 tolerančnih razredov so podane vrednosti odstopkov. Večji odstopki so pri višjih tolerančnih razredih.

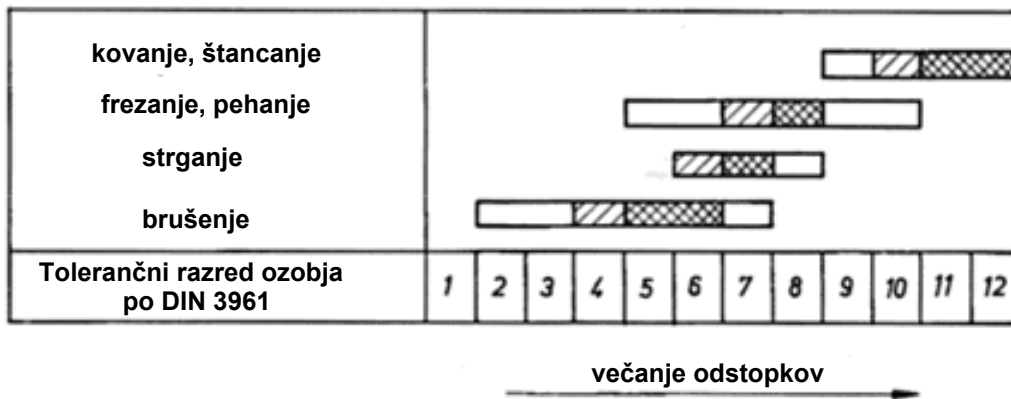
Odstopke, ki so neodvisni drug od drugega imenujemo posamični odstopki. Posamični odstopki so odstopki delitve, odstopki profila, odstopki bočnice in radialno opletanje zob. Vplivajo na porazdelitev sil na zobe, na dodatne dinamične sile in na hrupnost ozobja.

Odločilna kriterija za izbiro tolerančnega razreda sta področje uporabe zobnika in obodna hitrost zobnika. Priporočila so podana na sliki 10. Pri večjih hitrostih je potrebna boljša kvaliteta ozobja.

tolerančni razred	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
področje uporabe	etalonski zobniki													
	precizni inštrumenti													
	precizni reduktorji													
	avtomobili													
	kamioni													
	splošno strojništvo													
obodna hitrost zobnika			nad $20 \frac{m}{s}$											
					20 do $6 \frac{m}{s}$									
							6 do $3 \frac{m}{s}$							
									$3 \frac{m}{s}$ in manj					

Slika 10: Priporočila za izbiro tolerančnega razreda ozobja

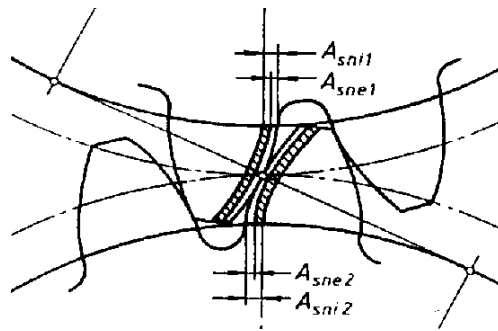
Izbrani tolerančni razred ozobja lahko dosežemo le s primernim postopkom izdelave (Slika 10). Z grobimi postopki kot so kovanje, štančanje ne moremo doseči tolerančnih razredov pod 9.



Slika 11: Zveza med tolerančnimi razredi ozobja in postopki izdelave

2.2 Tolerance zobne debeline

Tab 7: Tolerance zobne debeline (izvleček iz DIN 3967)

a) Zgornji odstopki mere zobne debeline A_{sne} v μm

d (mm)		Lega tolerančnega polja										
nad	do	a	ab	b	bc	c	cd	d	e	f	g	h
-	10	- 100	- 85	- 70	- 58	- 48	- 40	- 33	- 22	- 10	- 5	0
10	50	- 135	- 110	- 95	- 75	- 65	- 54	- 44	- 30	- 14	- 7	0
50	125	- 180	- 150	- 125	- 105	- 85	- 70	- 60	- 40	- 19	- 9	0
125	280	- 250	- 200	- 170	- 140	- 115	- 95	- 80	- 56	- 26	- 12	0
280	560	- 330	- 280	- 230	- 190	- 155	- 130	- 110	- 75	- 35	- 17	0
560	1000	- 450	- 370	- 310	- 260	- 210	- 175	- 145	- 100	- 48	- 22	0

b) Tolerance zobne debeline T_{sn} v μm

d (mm)		Velikost tolerančnega polja									
nad	do	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
-	10	3	5	8	12	20	30	50	80	130	200
10	50	5	8	12	20	30	50	80	130	200	300
50	125	6	10	16	25	30	60	100	160	250	400
125	280	8	12	20	30	40	80	130	200	300	500
280	560	10	16	25	40	50	100	160	250	400	600
560	1000	12	20	30	50	80	130	200	300	500	800

Spodnji odstopki mere zobne debeline izračunamo po enačbi

$$A_{sni} = A_{sne} - T_{sn} \quad (23)$$

Tab 8: Smernice za izbiro tolerance zobne debeline in tolerance medosne razdalje

Področje uporabe	A _{sn} vrsta	T _{sn} vrsta	Toleranca medosne razdalje
Splošno strojništvo	b	26	js7
Splošno strojništvo-obe smeri vrtenja	c	25	js6
Obdelovalni stroji	f	24, 25	js6
Kmetijski stroji	e	27, 28	js8
Tovorna vozila	d	26	js7
Pogoni lokomotiv	c, cd	25	js7

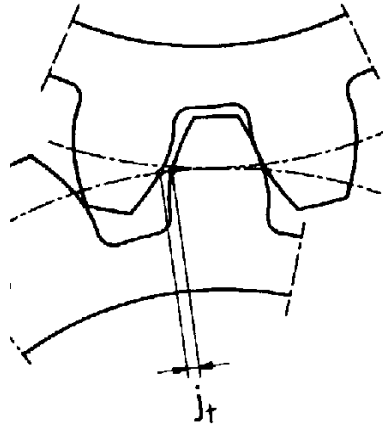
2.3 Tolerance in odstopki medosne razdalje

Tab 9: Zgornji odstopki A_{ae}(+) in spodnji odstopki A_{ai}(-) medosne razdalje v µm
(izvleček iz DIN 3964)

a (mm)	js5	js6	js7	js8	js9	js10	js11
nad 10	+ 4	+ 5,5	+ 9	+ 13,5	+ 21,5	+ 35	+ 55
do 18	- 4	- 5,5	- 9	- 13,5	- 21,5	- 35	- 55
nad 18	+ 4,5	+ 6,5	+ 10,5	+ 16,5	+ 26	+ 42	+ 65
do 30	- 4,5	- 6,5	- 10,5	- 16,5	- 26	- 42	- 65
nad 30	+ 5,5	+ 8	+ 12,5	+ 19,5	+ 31	+ 50	+ 80
do 50	- 5,5	- 8	- 12,5	- 19,5	- 31	- 50	- 80
nad 50	+ 6,5	+ 9,5	+ 15	+ 23	+ 33	+ 60	+ 95
do 80	- 6,5	- 9,5	- 15	- 23	- 33	- 60	- 95
nad 80	+ 7,5	+ 11	+ 17,5	+ 27	+ 43,5	+ 70	+ 110
do 120	- 7,5	- 11	- 17,5	- 27	- 43,5	- 70	- 110
nad 120	+ 9	+ 12,5	+ 20	+ 31,5	+ 50	+ 80	+ 125
do 180	- 9	- 12,5	- 20	- 31,5	- 50	- 80	- 125
nad 180	+ 10	+ 14,5	+ 23	+ 36	+ 57,5	+ 92,5	+ 145
do 250	- 10	- 14,5	- 23	- 36	- 57,5	- 92,5	- 145
nad 250	+ 11,5	+ 16	+ 26	+ 40,5	+ 65	+ 105	+ 160
do 315	- 11,5	- 16	- 26	- 40,5	- 65	- 105	- 160
nad 315	+ 12,5	+ 18	+ 28,5	+ 44,5	+ 70	+ 115	+ 180
do 400	- 12,5	- 18	- 28,5	- 44,5	- 70	- 115	- 180
nad 400	+ 13,5	+ 20	+ 31,5	+ 48,5	+ 77,5	+ 125	+ 200
do 500	- 13,5	- 20	- 31,5	- 48,5	- 77,5	- 125	- 200
nad 500	+ 14	+ 22	+ 35	+ 55	+ 87	+ 140	+ 220
do 630	- 14	- 22	- 35	- 55	- 87	- 140	- 220
nad 630	+ 16	+ 25	+ 40	+ 62	+ 100	+ 160	+ 250
do 800	- 16	- 25	- 40	- 62	- 100	- 160	- 250
nad 800	+ 18	+ 28	+ 45	+ 70	+ 115	+ 180	+ 280
do 1000	- 18	- 28	- 45	- 70	- 115	- 180	- 280

2.4 Bočna zračnost

Od odstopkov zobne debeline in odstopka medosne razdalje je odvisna bočna zračnost.



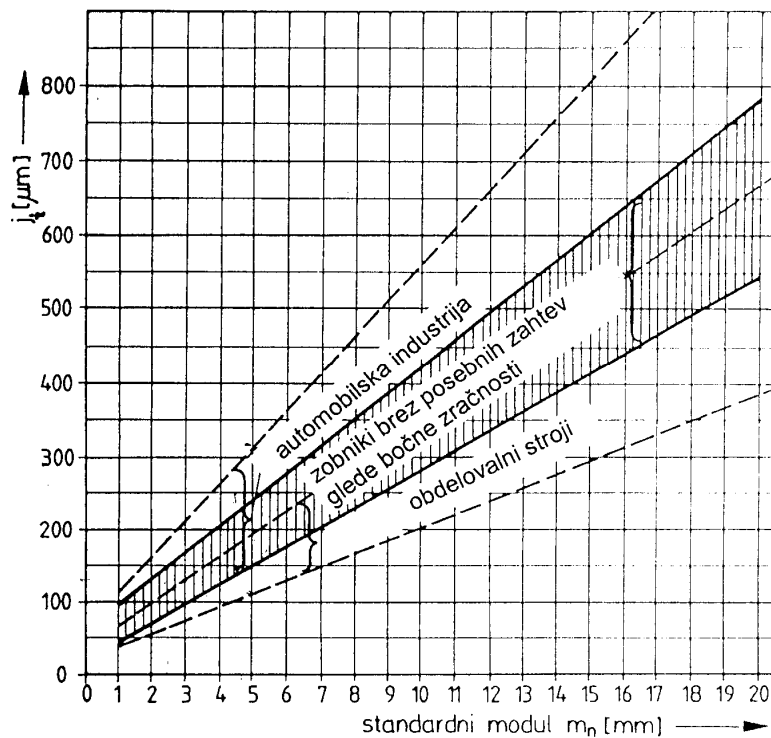
Slika 12: Bočna zračnost

Teoretični minimalna in maksimalna bočna zračnost znašata:

$$j_{t\min} = -(A_{sne1} + A_{sne2}) + 2 \cdot A_{ai} \cdot \tan \alpha_n \quad (24)$$

$$j_{t\max} = -(A_{sni1} + A_{sni2}) + 2 \cdot A_{ae} \cdot \tan \alpha_n \quad (25)$$

Priporočene vrednosti bočnih zračnosti so podane na sliki 13.



Slika 13: Priporočene bočne zračnosti v odvisnosti od modula

2.5 Mera čez zobe z odstopki

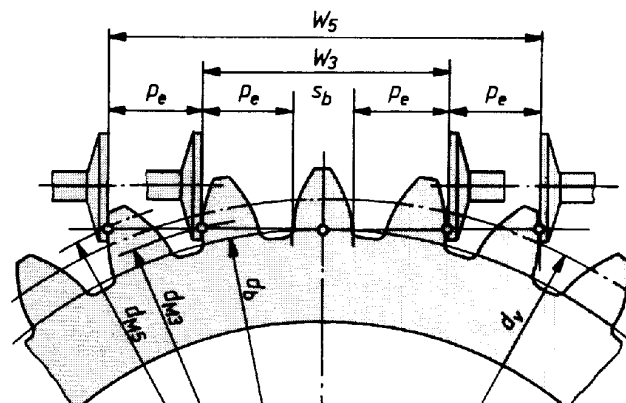
Mera čez zobe znaša

$$W_k = m_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \left[(k - 0,5) \cdot \pi + z \cdot \operatorname{inv} \alpha_t \right] + 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \sin \alpha_n, \quad (26)$$

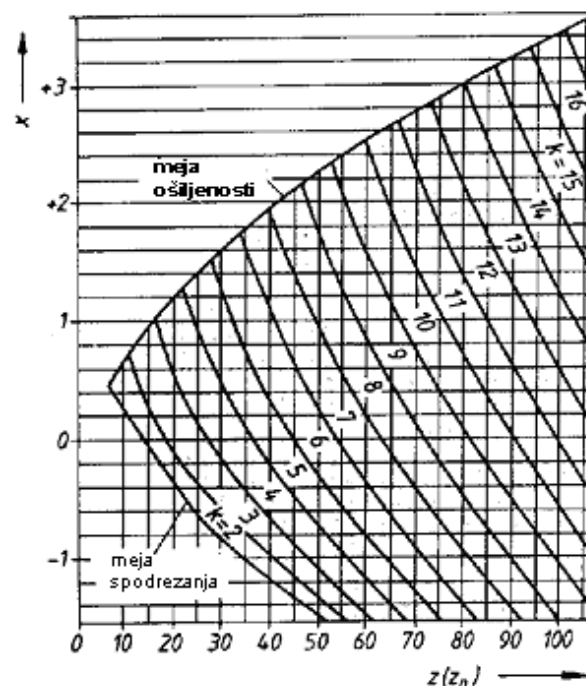
kjer je k merno število zob, ki ga določimo glede na število zob zobnika in glede na koeficient profilnega pomika po sliki 13.

Odstopka mere čez zobe določimo na osnovi odstopkov zobne debeline po enačbah

$$\begin{aligned} A_{wi} &= A_{sni} \cdot \cos \alpha_n \\ A_{we} &= A_{sne} \cdot \cos \alpha_n \end{aligned} \quad (27)$$

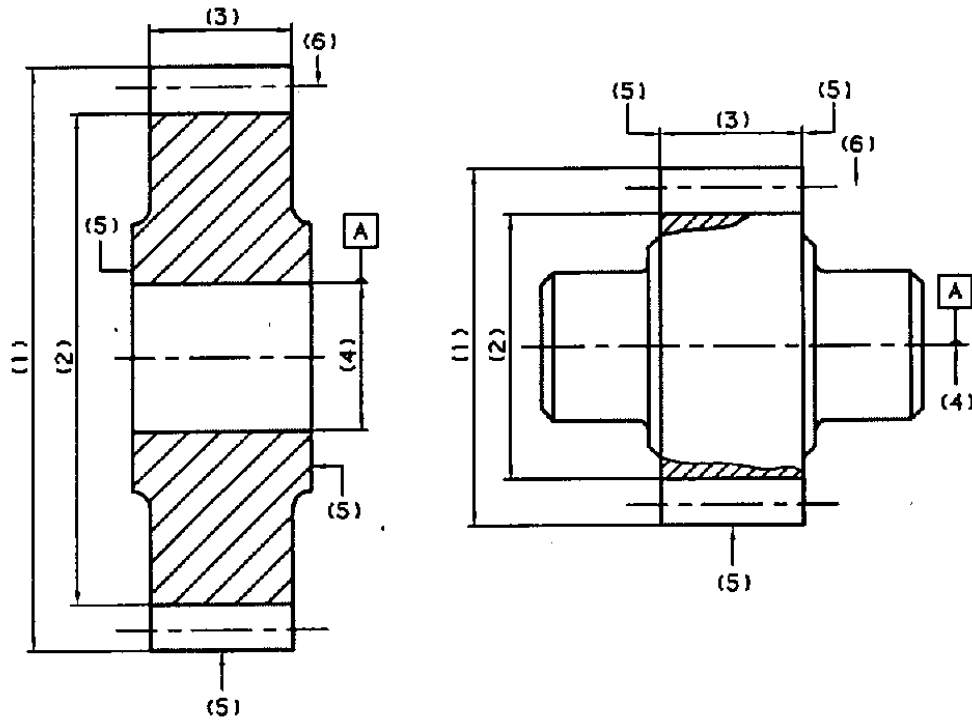


Slika 14: Mera čez zobe



Slika 15: Določitev mernega števila zob

3. Podatki na delavniški risbi zobnika



Slika 16: Mere valjastega zobnika

- (1) premer temenskega kroga d_a
- (2) premer vznožnega kroga d_f (po potrebi, če v tabeli ni podana višina zoba)
- (3) širina zoba b
- (4) referenčna mera za podajanje opletanja telesa zobnika
- (5) aksialno oz. radialno opletanje telesa zobnika
- (6) oznaka hrapavosti bokov zob

Tab 10: Tabela na delavniški risbi valjastega zobnika po DIN 3966

Veličina	Oznaka	Vrednost
Modul	m	
Število zob	z	
Profil ozobja		št. standarda
Profil orodja		št. standarda
Kot poševnosti	β	
Smer vijačnice		
Premer razdelnega kroga	d	
Premer osnovnega kroga	d_b	
Koeficient profilnega premika	x	
Višina zoba	h	
Krajšanje temena zoba	$k \cdot m_n$	
Tolerančni razred ozobja		
Toleranca zobne debeline		
Dolžina tetive na debelini zoba	$\frac{s}{h}$	
Mera čez zobe z odstopki	$W_{k A_{w1}}^{A_{we}}$	
Merno število zob	k	
Mera med valjčki	M_d	
Premer valjčka	D_M	
Medosna razdalja pri dvobočni kontroli	a''	
Številka risbe protizobnika		
Število zob protizobnika	z	
Medosna razdalja v ohišju z odstopki	$a_{A_{a1}}^{A_{ae}}$	
Dolžina ubirnice	g_{α}	
Dodatni podatki (po potrebi)		

4. Literatura

- [1] Linke, H.: Stirnradverzahnungen, Carl Hanser Verlag, München, 2010.
- [2] Matek, W., Muhs, D., Wittel, H., Becker, M., Voßiek, J.: Rollof/Matek: Maschinenelemente, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2005.
- [3] Niemman, G., Winter, H.: Maschinenelemente, Band II, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1987.
- [4] Haberhauer, H., Bodenstern, F.: Maschinenelemente-Gestaltung, Berechnung, Anwendung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [5] Flašker, J., Glodež, S., Ren, Z.: Zobniška gonila, Pasadena, Ljubljana, 2010