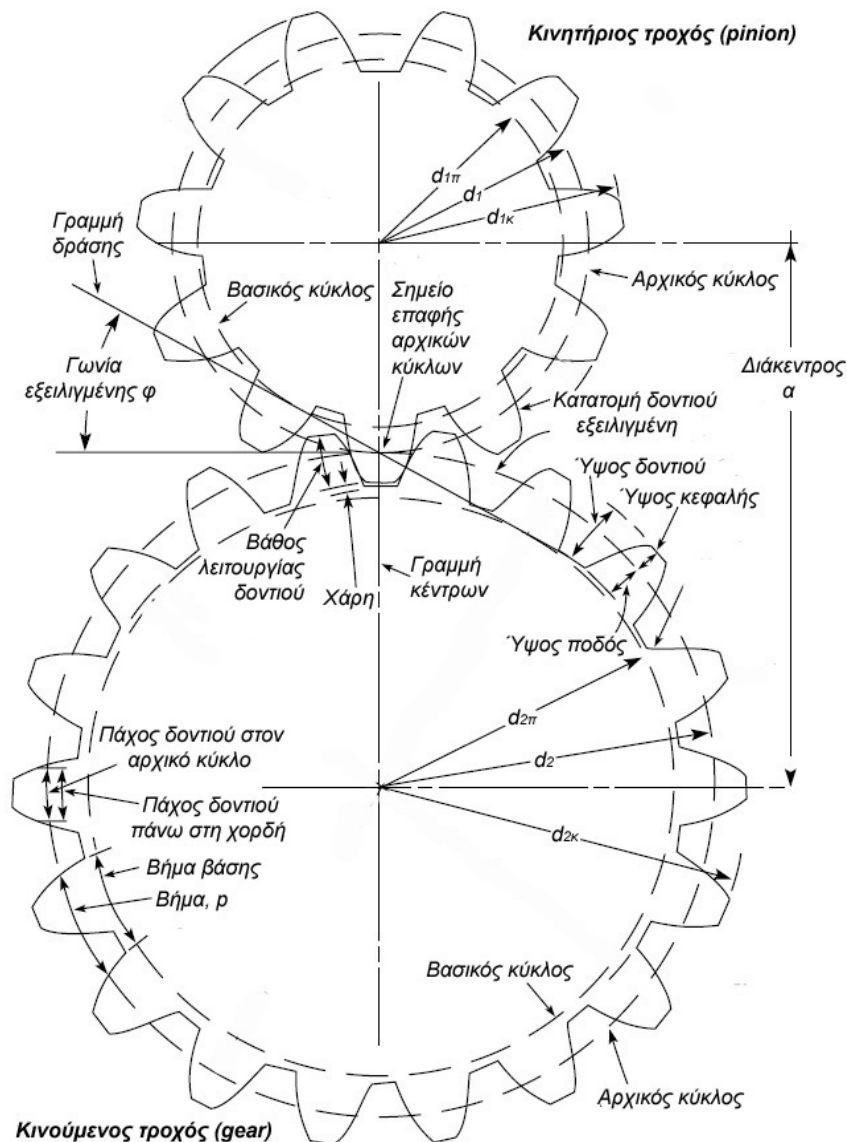


ΜΕΤΩΠΙΚΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

Πίνακας 1: Τυποποιημένες τιμές module, mm											
Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3
0.1			1.25				7		50		
	0.15		1.5			8				55	
0.2				1.75			9		60		
	0.25		2			10					65
0.3				2.25			11			70	
	0.35		2.5			12				75	
0.4				2.75			14		80		
	0.45		3			16				85	
0.5				3.25			18		90		
	0.55			3.5		20				95	
0.6					3.75		22		100		
		0.65	4			25					
	0.7			4.5			28				
	0.75		5			32					
0.8				5.5			36				
	0.9		6			40					
1					6.5		45				

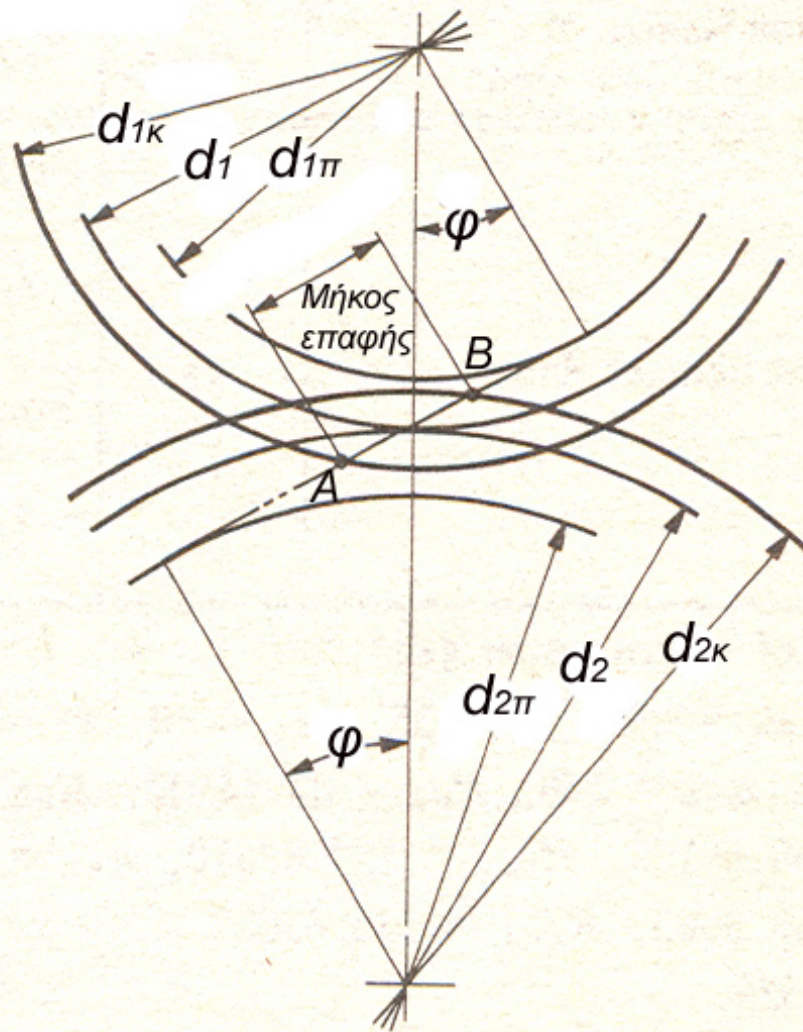
Η επιλογή του module γίνεται κατά προτεραιότητα από την σειρά 1, μετά από την σειρά 2 και τελευταία από την σειρά 3.



Σχήμα 1: Γεωμετρία οδοντωτών τροχών

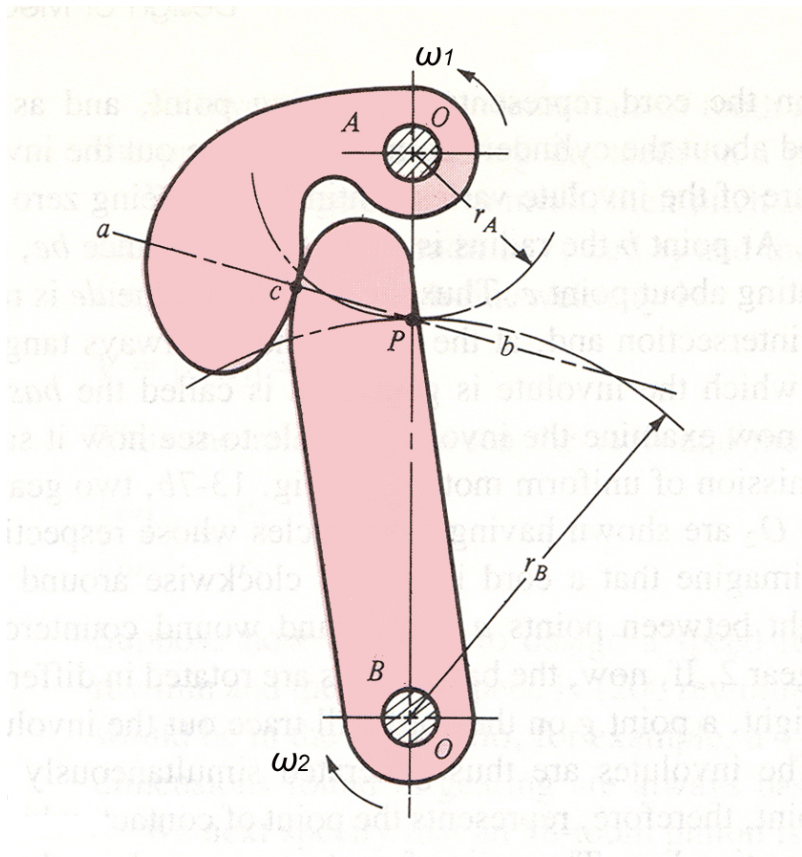
Πίνακας 2: Σχέσεις μεγεθών μετωπικών οδοντωτών τροχών

Αριθμός δοντιών pinion	$N_1 =$	20	δόντια
Αριθμός δοντιών gear	$N_2 =$	40	δόντια
module	$m =$	3	mm
Γωνία εξειλιγμένης, deg.	$\varphi =$	20	deg
Γωνία εξειλιγμένης, rad.	$\varphi_{rad} =$	0.35	rad
Ύψος κεφαλής (addendum)	$h_k = m =$	3.00	mm
Ύψος ποδός (dedendum)	$h_{\pi} = 1.25m =$	3.75	mm
Αρχική διάμετρος	$D = mN =$	60.00	mm
Εξωτερική διάμετρος	$D_o = D + 2m = m(N+2) =$	66.00	mm
Διάμετρος βάσης	$D_b = D \cos\varphi =$	56.38	mm
Διάμετρος ρίζας	$D_r = D - 2.5m = m(N-2.5) =$	52.50	mm
Βήμα αρχικού κύκλου	$p = m\pi =$	9.4248	mm
Βήμα κύκλου βάσης	$p_b = m\pi \cos\varphi =$	8.8564	mm
Πάχος δοντιού στον αρχικό κύκλο	$t = m\pi / 2 =$	4.7124	mm
Διάκεντρος	$\alpha = m(N_1+N_2)/2 =$	90	mm
Μεταβολή στη διάκεντρο	$\Delta\alpha =$	1	mm
Τζόγος B (γραμμικός) στον αρχικό κύκλο, από μεταβολή στην διάκεντρο	$B = 2(\Delta\alpha)\tan\varphi$	0.7279	mm
Τζόγος B (γραμμικός) στον αρχικό κύκλο, από μεταβολή στο πάχος του δοντιού	$B = \Delta t =$	1	mm
Τζόγος B_{La} (γραμμικός) στην γραμμή δράσης La , από τον γραμμικό τζόγο στον αρχικό κύκλο	$B_{La} = B \cos\varphi$	0.684	mm
Ελάχιστος αριθμός δοντιών για αποφυγή υποκοπών, N_c	$N_c = 2 / \sin^2\varphi$	17	δόντια

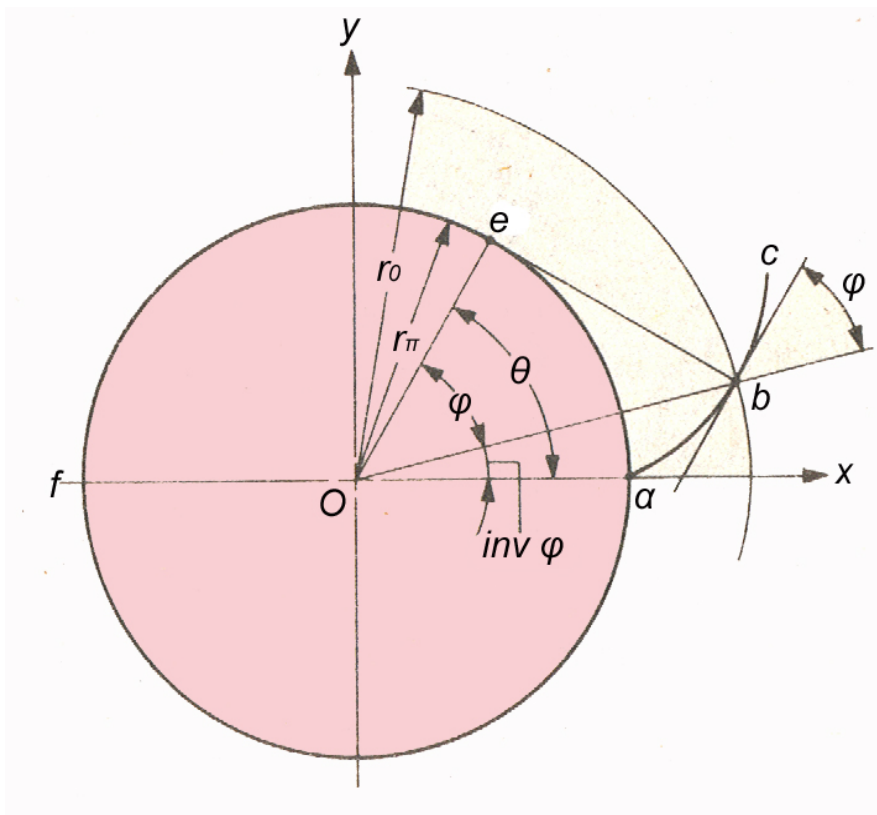


Λόγος επαφής (ακτινικός) μετωπικών
οδοντωτών τροχών

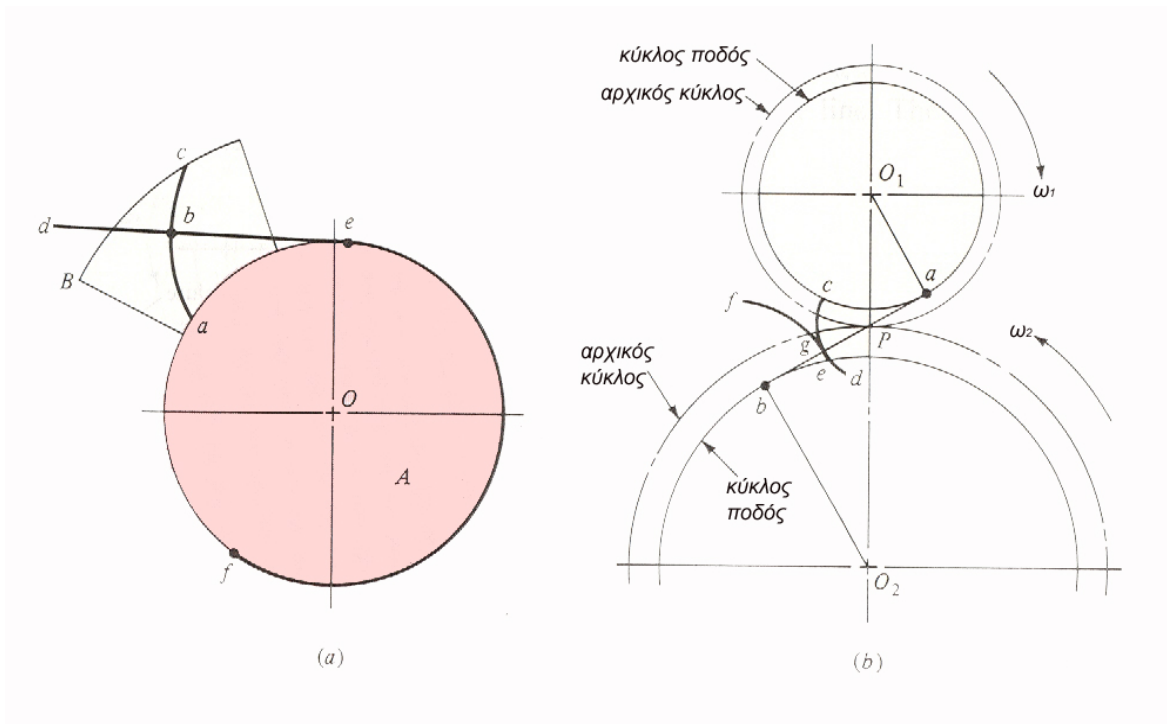
18.1 Κινηματική οδοντώσεων



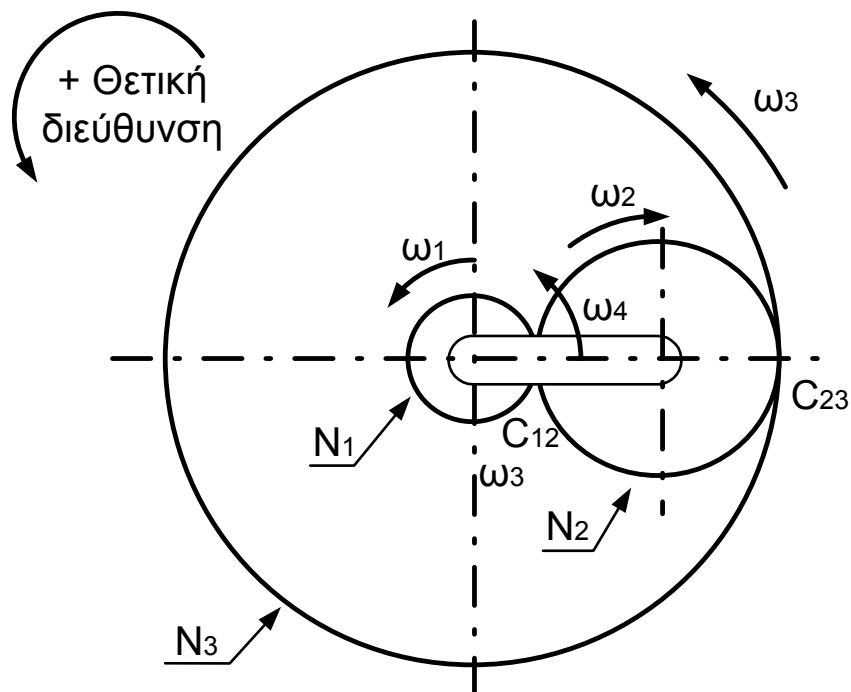
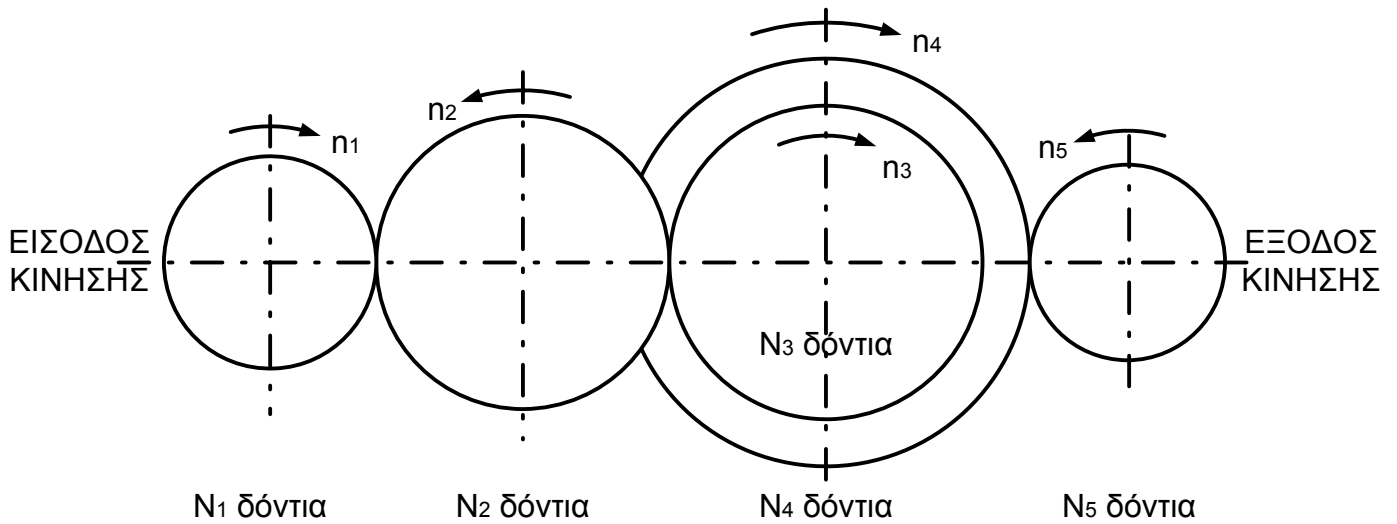
Σχήμα 3: Σύστημα κάμας - ακόλουθου.



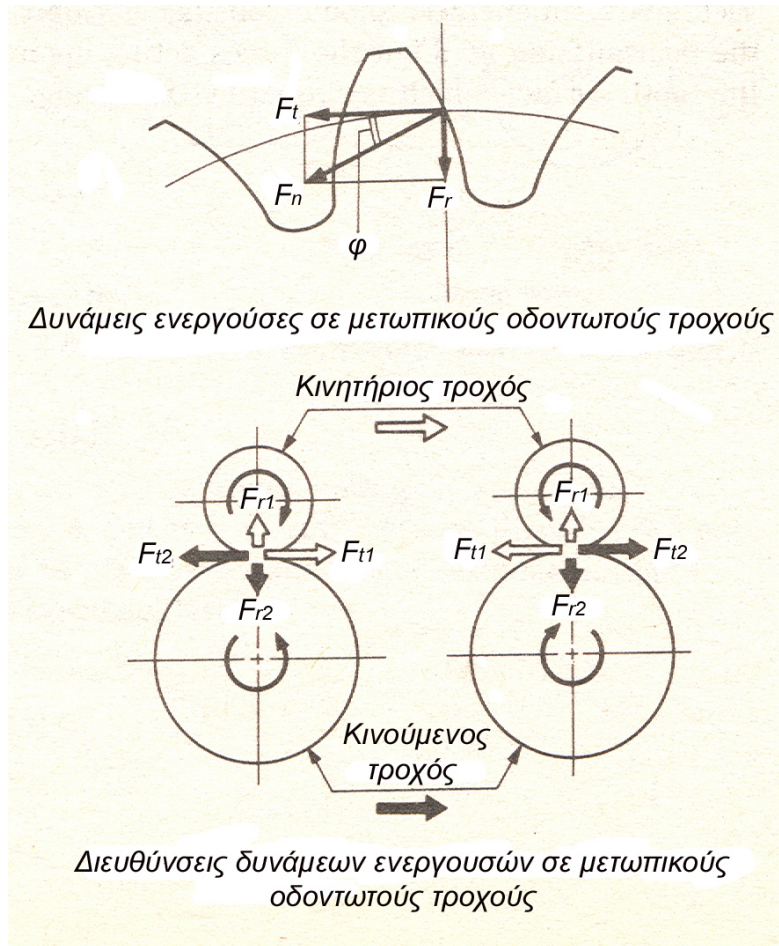
Σχήμα 4: Κατατομή εξειλιγμένης καμπύλης



Σχήμα 5: Κατασκευή εξειλιγμένης και κινηματική των οδοντωτών τροχών



18.2 Δυνάμεις μετωπικών οδοντωτών τροχών



Σχήμα 14: Δυνάμεις επί των συνεργαζομένων οδοντωτών τροχών

$$(M_t)_{kp.cm} = 71620 \frac{(N)_{HP}}{(n_1)_{rpm}}$$

$$F_t = \frac{M_t}{d_1 / 2}$$

$$F_r = F_t \tan \varphi$$

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \varphi}$$

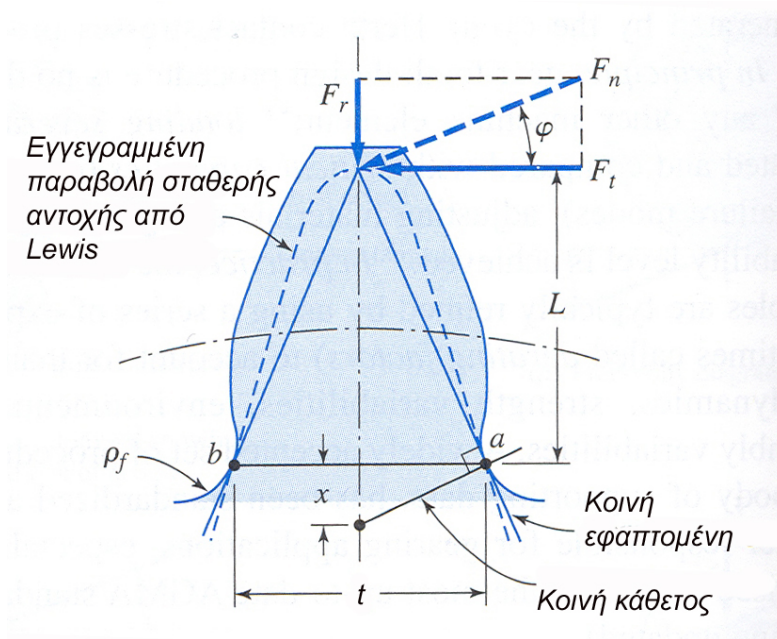
Πίνακας 9: Δυνάμεις ενεργούσες σε οδοντωτούς τροχούς

Τύποι γραναζιών		Εφαπτομενική δύναμη, F_t	Αξονική δύναμη, F_a	Ακτινική δύναμη, F_r
Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί		$F_t = \frac{2M_t}{d_1}$	---	$F_r = F_t \tan \varphi$
Ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί		$F_t = \frac{2M_t}{d_1}$	$F_a = F_t \tan \psi$	$F_r = F_t \frac{\tan \varphi}{\cos \psi}$
Μετωπικοί κωνικοί τροχοί		$F_t = \frac{2M_t}{d_m}$	$F_a = F_t \tan \varphi \sin \psi$	$F_r = F_t \tan \varphi \cos \psi$
Spiral κωνικοί τροχοί				
Ατέρμονας - κορώνα	Ατέρμονας (κινητήριο)	$F_t = \frac{2M_t}{d_{01}}$	$F_a = F_t \frac{\cos \varphi_n \cos \psi - \mu \sin \psi}{\cos \varphi_n \sin \psi + \mu \cos \psi}$	$F_r = F_t \frac{\sin \varphi_n}{\cos \varphi_n \sin \psi + \mu \cos \psi}$
	Κορώνα (κινούμενο)	$F_t \frac{\cos \varphi_n \cos \psi - \mu \sin \psi}{\cos \varphi_n \sin \psi + \mu \cos \psi}$	$F_a = F_t$	
Διασταυρού- μενοι τροχοί	Κινητήριο γρανάζι	$F_t = \frac{2M_t}{d_{01}}$		$F_r = F_t \frac{\sin \varphi_n}{\cos \varphi_n \cos \psi + \mu \cos \psi}$
	Κινούμενο γρανάζι	$F_t \frac{\cos \varphi_n \sin \psi - \mu \cos \psi}{\cos \varphi_n \cos \psi + \mu \sin \psi}$	$F_a = F_t$	

18.3 Κάμψη μετωπικών τροχών κατά Lewis

Οι αναπτυσσόμενες καμπτικές τάσεις στο δόντι κατά την φόρτίσή του υπολογίστηκαν από τον Lewis το 1893, θεωρώντας το δόντι καμπτόμενη δοκό με μεταβλητό ύψος. Πιο συγκεκριμένα ο Lewis δέχθηκε ότι το δόντι έχει σχήμα μιας παραβολής, σταθερής τάσης, η οποία είναι εγγεγραμμένη στην κατατομή της εξειλιγμένης του δοντιού. Η παραβολή αυτή εφάπτεται των ακτίνων καμπυλότητας της βάσης του δοντιού στα σημεία a και b και έχει κορυφή το σημείο που τέμνεται η F_n με την γραμμή συμμετρίας του δοντιού. Αν το πάχος του δοντιού είναι b , τότε η ορθή λόγω κάμψης τάση στη βάση του δοντιού είναι:

$$\sigma = \frac{M_t c}{I} = \frac{(F_t L)(t/2)}{(bt^3/12)} = \frac{6F_t L}{bt^2}$$



Σχήμα 15: Κάμψη μετωπικών οδοντωτών τροχών κατά Lewis

Οι θλιπτικές τάσεις που αναπτύσσονται στο δόντι λόγω της δύναμης F_r , αγνοούνται λόγω του μικρού μεγέθους συγκριτικά με τις καμπτικές τάσεις.

Από τα όμοια ορθογώνια τρίγωνα προκύπτει :

$$\frac{x}{t/2} = \frac{t/2}{L} \quad \text{ή} \quad L = \frac{t^2}{4x}$$

και λύνοντας ως προς F_t προκύπτει:

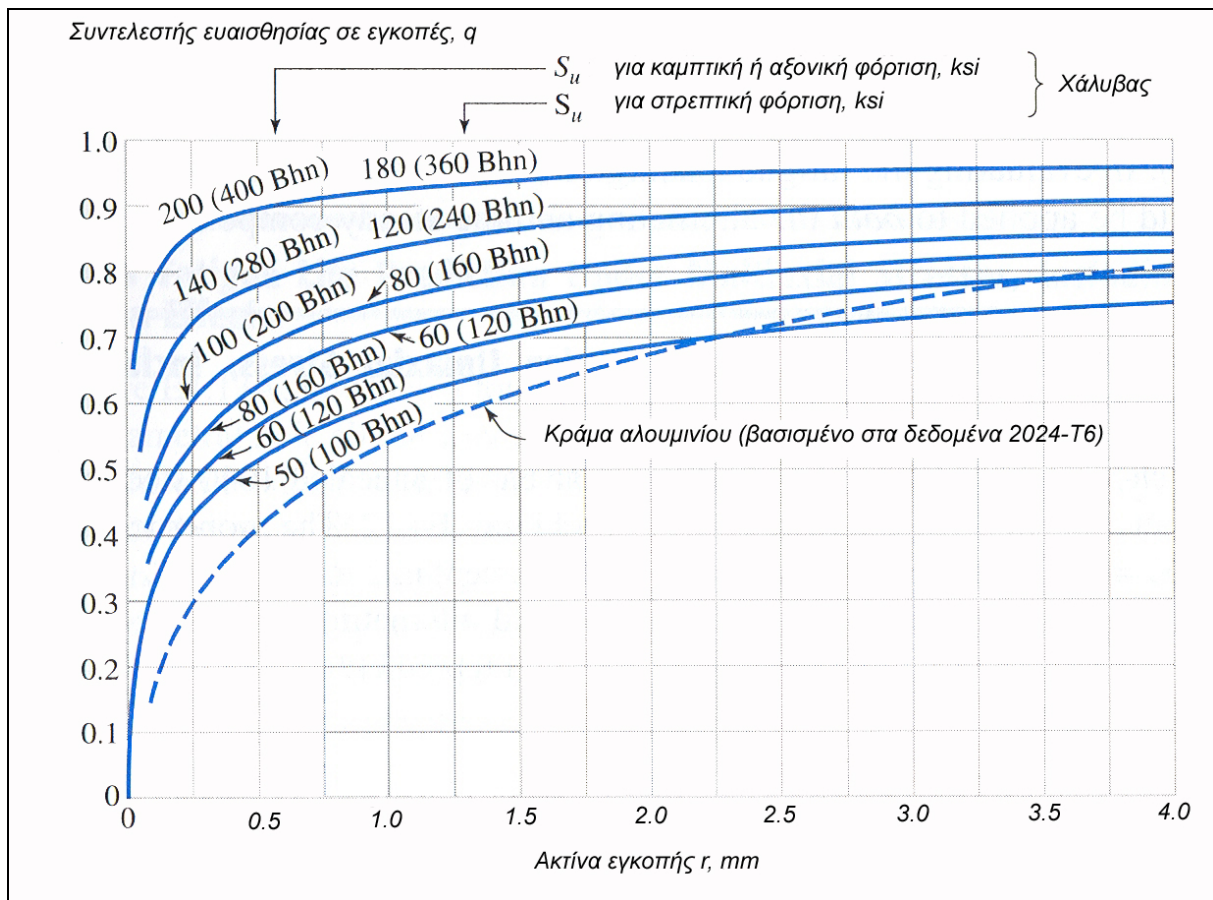
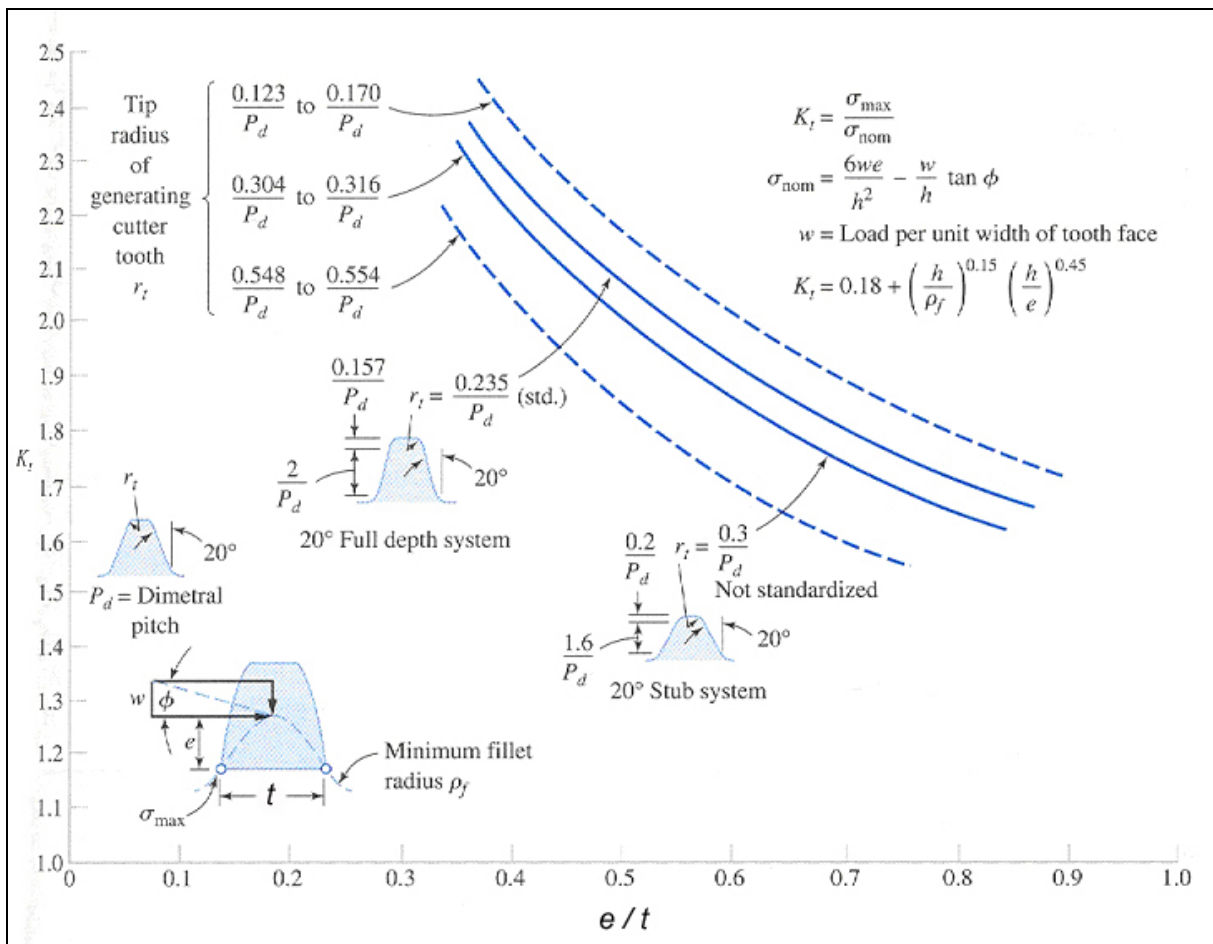
$$F_t = \sigma b \frac{t^2}{6L} = \sigma b \left(\frac{2x}{3p} \right) p$$

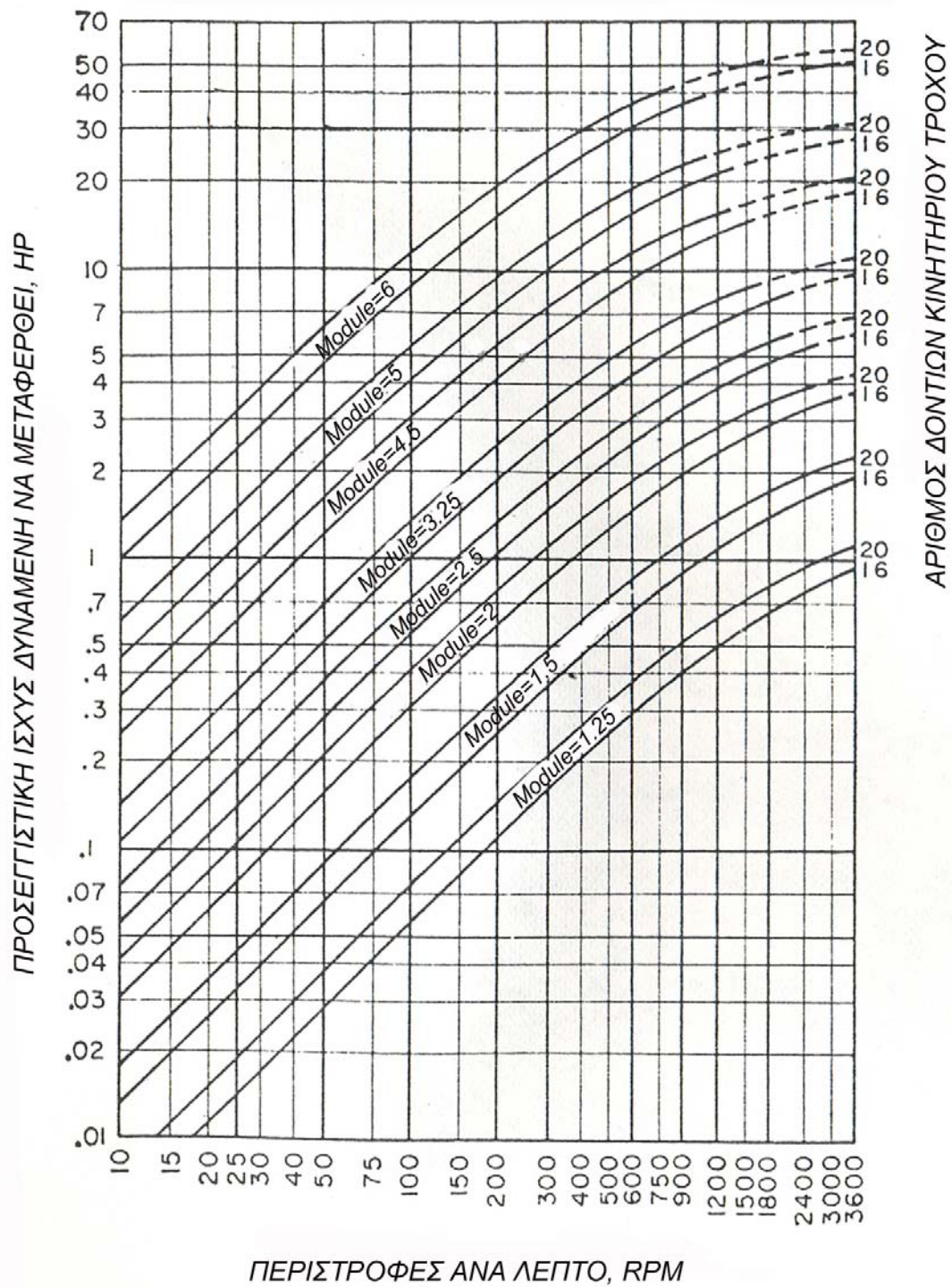
Ορίζοντας $y = 2x/3p$ ως τον συντελεστή Lewis (ο οποίος έχει υπολογιστεί και παρουσιάζεται στον Πίνακα xx) και επειδή $p = \pi m$ ($m = \text{module}$) λαμβάνουμε:

$$F_t = \sigma b \pi y m / k_f$$

$$F_t = \sigma b Y m / k_f$$

(Εξίσωση Lewis)





Σχήμα 16: Νομογράφημα ισχύος συναρτήσει των στροφών και του module για 16 και 20 δόντια στον κινητήριο μετωπικό τροχό γωνίας εξειλιγμένης $\varphi = 20^\circ$.

Πίνακας 10: Συντελεστής Lewis

Αριθμός δοντιών	Φορτίο στην κεφαλή								Φορτίο στη μέση			
	14.5°		20°		20° βαθιά		25°		14.5°		20°	
	Y=πy	y	Y=πy	y	Y=πy	y	Y=πy	y	Y=πy	y	Y=πy	y
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083	0.238	0.076				
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092	0.259	0.082				
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.277	0.088	0.355	0.113	0.415	0.132
13	0.223	0.071	0.264	0.084	0.324	0.103	0.293	0.093	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.307	0.098	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.320	0.102	0.415	0.132	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.332	0.106	0.430	0.137	0.503	0.160
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.342	0.109	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.352	0.112	0.459	0.146	0.522	0.166
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.361	0.115	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.369	0.117	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.377	0.120	0.490	0.156	0.553	0.176
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.384	0.122	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130	0.390	0.124	0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.131	0.396	0.126	0.509	0.162	0.572	0.182
25	0.305	0.097	0.340	0.108	0.416	0.132	0.402	0.128	0.515	0.164	0.580	0.185
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.134	0.407	0.130	0.522	0.166	0.584	0.186
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.412	0.131	0.528	0.168	0.588	0.187
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.417	0.133	0.534	0.170	0.592	0.188
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.421	0.134	0.537	0.171	0.599	0.191
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.425	0.135	0.540	0.172	0.606	0.193
31	0.320	0.102	0.361	0.115	0.440	0.140	0.429	0.137	0.554	0.176	0.611	0.194
32	0.322	0.102	0.364	0.116	0.443	0.141	0.433	0.138	0.547	0.174	0.617	0.196
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.436	0.139	0.550	0.175	0.623	0.198
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.440	0.140	0.553	0.176	0.628	0.200
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.443	0.141	0.556	0.177	0.633	0.201
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.446	0.142	0.559	0.178	0.639	0.203
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.145	0.449	0.143	0.563	0.179	0.645	0.205
38	0.333	0.106	0.384	0.122	0.455	0.145	0.452	0.144	0.565	0.180	0.650	0.207
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.145	0.454	0.145	0.568	0.181	0.655	0.208
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.457	0.145	0.570	0.181	0.659	0.210
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.149	0.464	0.148	0.574	0.183	0.668	0.213
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.468	0.149	0.579	0.184	0.678	0.216
50	0.346	0.110	0.408	0.130	0.474	0.151	0.477	0.152	0.588	0.187	0.694	0.221
55	0.352	0.112	0.415	0.132	0.480	0.153	0.484	0.154	0.596	0.190	0.704	0.224
60	0.355	0.113	0.421	0.134	0.484	0.154	0.491	0.156	0.603	0.192	0.713	0.227
65	0.358	0.114	0.425	0.135	0.488	0.155	0.496	0.158	0.607	0.193	0.721	0.230
70	0.360	0.115	0.429	0.137	0.493	0.157	0.501	0.159	0.610	0.194	0.728	0.232
75	0.361	0.115	0.433	0.138	0.496	0.158	0.506	0.161	0.613	0.195	0.735	0.234
80	0.363	0.116	0.436	0.139	0.499	0.159	0.509	0.162	0.615	0.196	0.739	0.235
90	0.366	0.117	0.442	0.141	0.503	0.160	0.516	0.164	0.619	0.197	0.747	0.238
100	0.368	0.117	0.446	0.142	0.506	0.161	0.521	0.166	0.622	0.198	0.755	0.240
150	0.375	0.119	0.458	0.146	0.518	0.165	0.537	0.171	0.635	0.202	0.778	0.248
200	0.378	0.120	0.463	0.147	0.524	0.167	0.545	0.173	0.640	0.204	0.787	0.251
300	0.382	0.122	0.471	0.150	0.534	0.170	0.554	0.176	0.650	0.207	0.801	0.255
Κανόνας	0.390	0.124	0.484	0.154	0.550	0.175	0.566	0.180	0.660	0.210	0.823	0.262

Πίνακας 11: Αντοχές υλικών για χρήση με μέθοδο Lewis

Υλικό		$S_{επιτρ}, \text{kp/cm}^2$	Σκληρότητα Brinell
Χυτοσίδηρος	ASTM 25	560	174
	ASTM 35	900	212
	ASTM 50	1000	223
Χυτοχάλυβας	0.20% C χωρίς θερμική επεξεργασία	1400	180
	0.20% C με θερμική επεξεργασία	1750	250
Σφυρήλατος ανθρακοχάλυβας	SAE 1020	1250	156
	SAE 1030	1400	180
	SAE 1035	1600	190
	SAE 1040	1750	202
	SAE 1045	2100	215
	SAE 1045 (σκληρ)	2250	205
	SAE 1050 (σκληρ)	2450	223
Χαλυβοκράματα	SAE 2320	3500	225
	SAE 2345	3500	475
	SAE 3115	2600	212
	SAE 3145	3700	475
	SAE 3245	4600	475
	SAE 3430	4600	475
	SAE 4640	3800	475
	SAE 6145	4750	475
Μαγγανιούχος μπρούντζος	SAE 43 (ASTM B-147 52, 8A)	1400	100
Φωσφορούχος ορείχαλκος	SAE 65 (ASTM B-144 52, 3C)	850	100
Αλουμινούχος μπρούντζος	SAE 68 (ASTM B-148 52, 98)	1550	180
Μη μέταλλα, βακελίτης, μήκα, κλπ.		560	---

18.4 Επιφανειακή αντοχή μετωπικών τροχών κατά Buckingham

Οι τάσεις επαφής κατά Hertz, στην διεπαφή δύο οδοντωτών τροχών, υπολογίζονται από την σχέση:

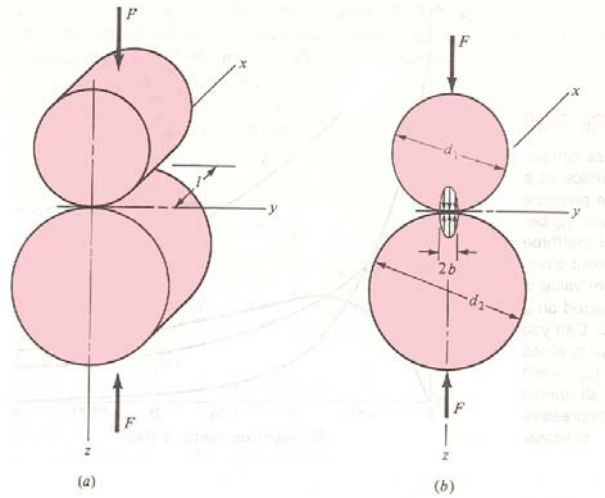
$$\sigma = \sqrt{\frac{F \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{\pi L \left[\frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2} \right]}}$$

$$R_1 = r_1 \sin \varphi$$

και

$$R_2 = r_2 \sin \varphi$$

$$\sigma = S_e, \quad F = F_w, \quad \nu = 0.3, \quad L = b$$



Σχήμα 20: Επιφανειακή πίεση σε οδοντωτούς τροχούς

$$F_w = \frac{S_e^2 b \sin \varphi \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right)}{0.35 \times 2 \times \frac{(d_1 + d_2)}{d_1 d_2}}$$

$$\text{Av } K = \frac{S_e^2 \times \sin \varphi}{1.4} \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right) \text{ και } Q = \frac{2N_2}{N_1 + N_2}$$

$$\boxed{F_w = d_1 b Q K}$$

Buckingham

Πίνακας 12: Σταθερά K (MPa)

Υλικό ριπίση με υλικό τροχού	K			Επιφανειακή Δυναμική
	14 1/2	20	25	
Χάλυβας με χάλυβα BHN150	0.21	0.29	0.36	352
Χάλυβας με χάλυβα BHN175	0.30	0.41	0.51	422
Χάλυβας με χάλυβα BHN200	0.43	0.58	0.72	500
Χάλυβας με χάλυβα BHN225	0.55	0.76	0.93	570
Χάλυβας με χάλυβα BHN250	0.70	0.95	1.18	640
Χάλυβας με χάλυβα BHN275	0.87	1.19	1.47	715
Χάλυβας με χάλυβα BHN300	1.05	1.43	1.77	785
Χάλυβας με χάλυβα BHN325	1.25	1.71	2.11	857
Χάλυβας με χάλυβα BHN350	1.47	2.01	2.49	930
Χάλυβας με χάλυβα BHN375	1.70	2.33	2.87	1000
Χάλυβας με χάλυβα BHN400	1.95	2.66	3.29	1070
Χάλυβας (BHN150) με χυτοσίδηρο	0.31	0.42	0.52	352
Χάλυβας (BHN200) με χυτοσίδηρο	0.61	0.84	1.04	500
Χάλυβας (BHN250) με χυτοσίδηρο	1.01	1.38	1.70	640
Χάλυβας (BHN150) με φωσφ. μπρούντζο	0.32	0.44	0.54	420
Χάλυβας (BHN200) με φωσφ. μπρούντζο	0.51	0.70	0.87	460
Χάλυβας (BHN250) με φωσφ. μπρούντζο	0.95	1.15	1.61	600
Χυτοσίδηρος με χυτοσίδηρο	1.36	1.86	2.30	640
Χυτοσίδηρος με φωσφ. μπρούντζο	1.20	1.65	2.03	590

18.5 Κάμψη μετωπικών τροχών κατά AGMA

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε δύο δόντια μετωπικών οδοντωτών τροχών προκαλούν κάμψη στα δόντια και επιφανειακή πίεση. Εδώ παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού της καμπτικής τάσης κατά AGMA. Η καμπτική τάση σ_t σε MPa προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\tau} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

όπου :

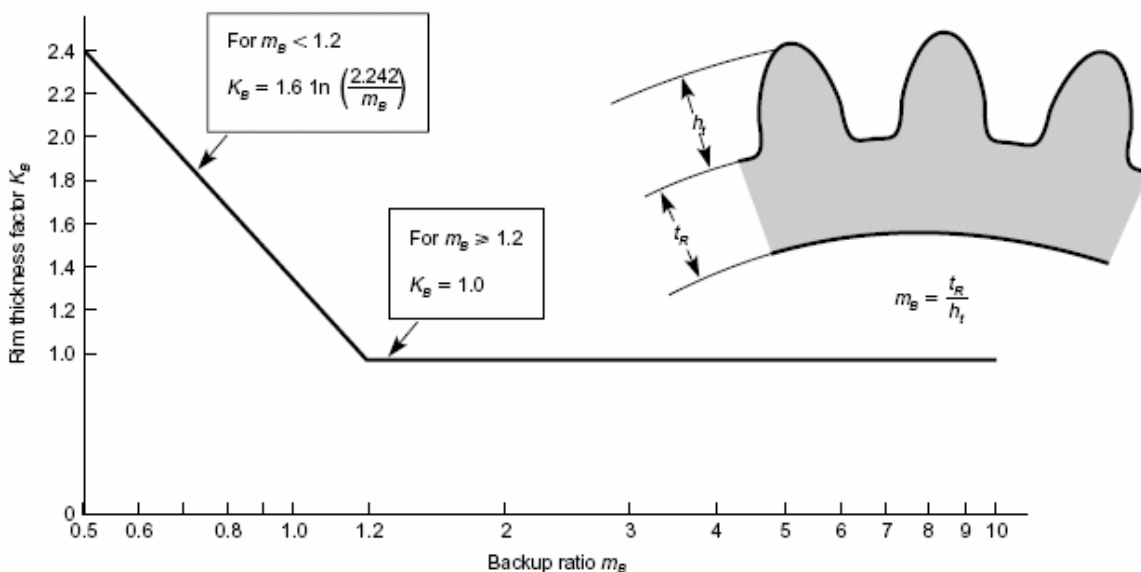
- F_t η ασκούμενη στο δόντι δύναμη σε N ,
- m το module σε mm για μετωπικούς και $m_n = m \cos \psi$ (ψ η γωνία ελίκωσης) για ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς,
- b το πλάτος σε mm ,
- J ο γεωμετρικός συντελεστής, (Σχήματα 22 και 23)
- K_o ο συντελεστής υπερφόρτισης, (Πίνακας 13)
- K_v ο δυναμικός συντελεστής εξαρτώμενος από την γραμμική ταχύτητα του τροχού, (Σχήμα 21). Στο σχήμα 21 φαίνεται το γράφημα του δυναμικού συντελεστή συναρτήσει της γραμμικής ταχύτητας και του Q_v που λαμβάνει τιμές από 3 μέχρι 15 αυξανόμενο με την ποιότητα κατασκευής. Ο K_v δίνεται από την σχέση:

$$K_v = \left(\frac{a + \sqrt{v_t}}{a} \right)^b \quad \text{οπου} \quad b = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4}, \quad \text{και} \quad a = 50 + 56 \times (1 - b)$$

- K_s ο συντελεστής μεγέθους, (Πίνακας 14)
- K_m ο συντελεστής διανομής φορτίου, (Πίνακας 16)
- K_B ο συντελεστής πάχους στεφάνης. (Σχήμα 20-α)

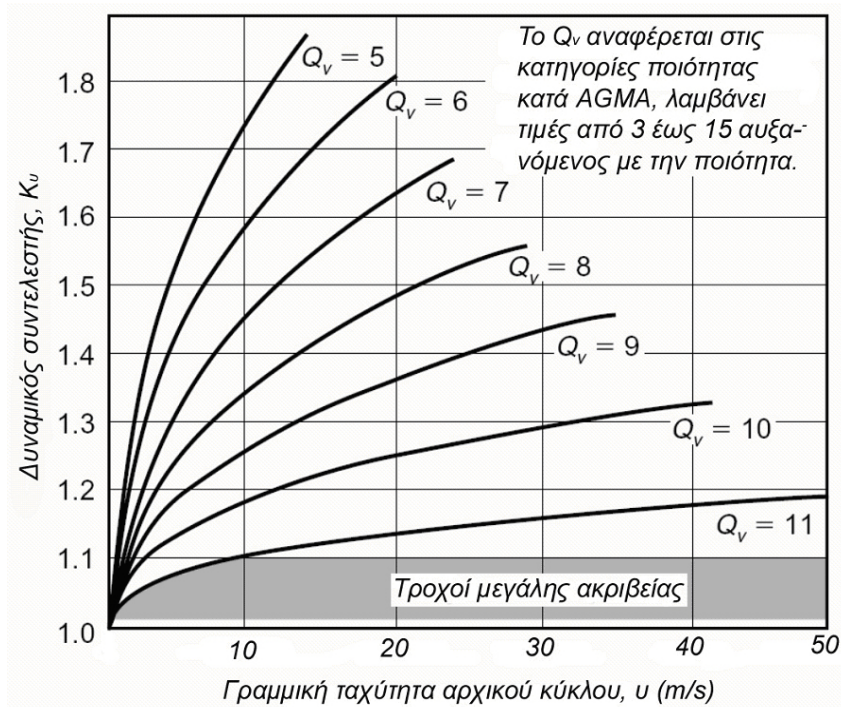
Επίσης στο δεξί μέρος της ανισότητας:

- S_{at} η αντοχή σε κάμψη σε MPa , (Πίνακες 17 και 18)
- K_L ο συντελεστής διάρκειας ζωής, (Σχήμα 24)
- S_F ο συντελεστής ασφάλειας, (κατ'επιλογή του σχεδιαστή)
- K_T ο συντελεστής θερμοκρασίας όπου : $K_T = 1$ για $T \leq 120^\circ C$ και $K_T = \frac{240 + T}{320}$ για $T > 120^\circ C$ και τέλος
- K_R ο συντελεστής αξιοπιστίας (Πίνακας 15)



Σχήμα 20-α: Συντελεστής πάχους στεφάνης

Πίνακας 13: Συντελεστής υπερφόρτισης K_o				
Χαρακτηριστικά κινητήριας μηχανής	Χαρακτηριστικά κινούμενης μηχανής			
	Ομοίμορφο φορτίο	Ελαφρές κρούσεις	Μέτριες κρούσεις	Ισχυρές κρούσεις
Ομοίμορφη στρωτή λειτουργία (πχ. ηλεκτροκινητήρες, τουρμπίνες)	1.00	1.25	1.50	1.75
Ελαφρές κρούσεις (πχ. πολυκύλινδρες βενζινομηχανές)	1.20	1.40	1.75	2.25
Μέτριες κρούσεις (πχ. μονοκύλινδρες μηχανές)	1.30	1.70	2.00	2.75

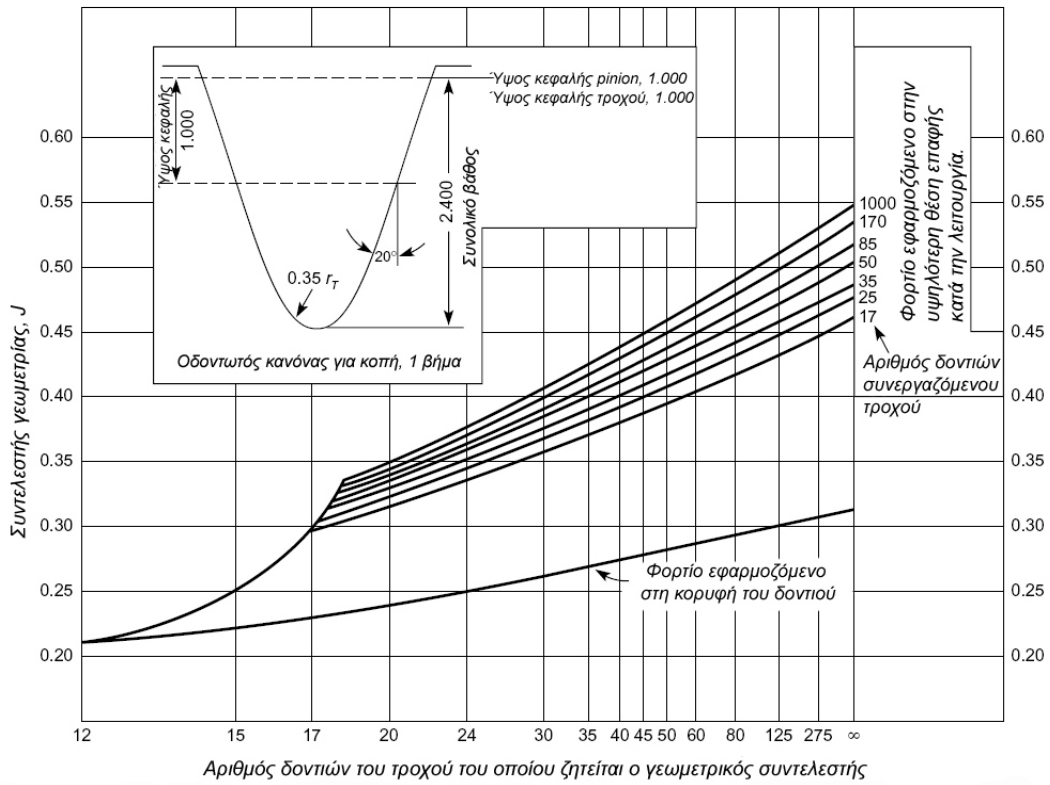


Η AGMA συνιστά $K_s = 1$ για τα περισσότερα γρανάζια μικρού μεγέθους (με module μικρότερο ή ίσο με 5. Για μεγαλύτερα γρανάζια οι προτεινόμενοι συντελεστές του ακόλουθου πίνακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

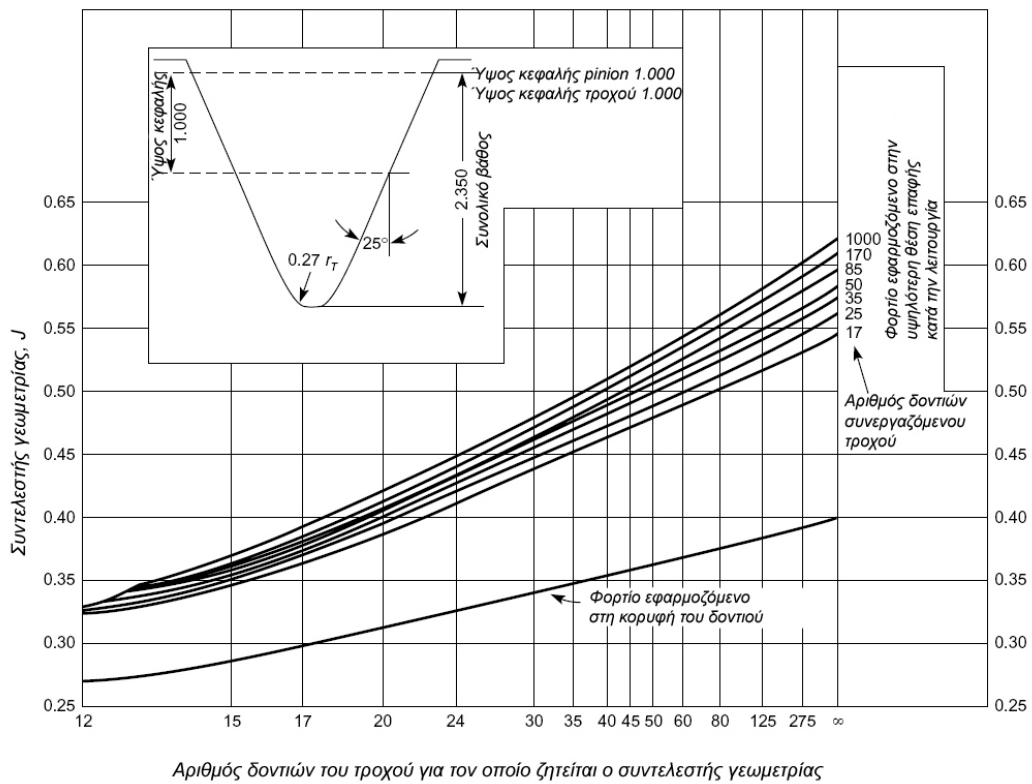
Πίνακας 14: Συντελεστής μεγέθους K_s	
Module	Συντελεστής μεγέθους
≤ 5	1.00
6.00	1.05
8.00	1.15
12.00	1.25
20.00	1.40

Πίνακας 15: Συντελεστής αξιοπιστίας K_R	
Απαιτήση	K_R
1 αστοχία σε 10000	1.50
1 αστοχία σε 1000	1.25
1 αστοχία σε 100	1.00
1 αστοχία σε 10	0.85
1 αστοχία σε 2	0.70

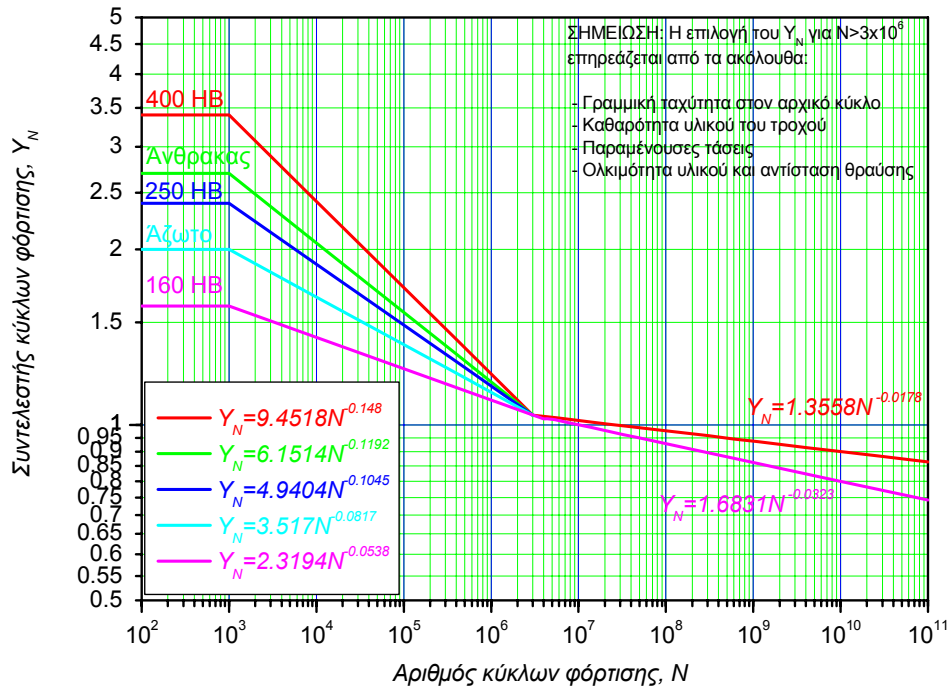
Πίνακας 16: Συντελεστής διανομής φορτίου, K_m				
Ιδιότητες στήριξης και ακρίβειας κατασκευής τροχού	Πλάτος δοντιού, mm			
	Μικρότερο από 50 mm	Από 50 mm έως 150 mm	Από 150 mm έως 225 mm	Μεγαλύτερο από 400
Ακριβείς στηρίξεις, μικρές ανοχές στα έδρανα, ελάχιστες παραμορφώσεις, ακριβής κατεργασία κατασκευής	1.3	1.4	1.5	1.8
Λιγότερο ακριβείς στηρίξεις, μεγαλύτερες ανοχές στα έδρανα, λιγότερο ακριβής κατεργασία, πλήρης επαφή κατά πλάτος	1.6	1.7	1.8	2.2
Συνδυασμοί ιδιοτήτων στηρίξεων και ακρίβειας κατασκευής που δεν δίνουν πλήρη επαφή κατά πλάτος των τροχών	_____ 2.2 ή μεγαλύτερο _____			



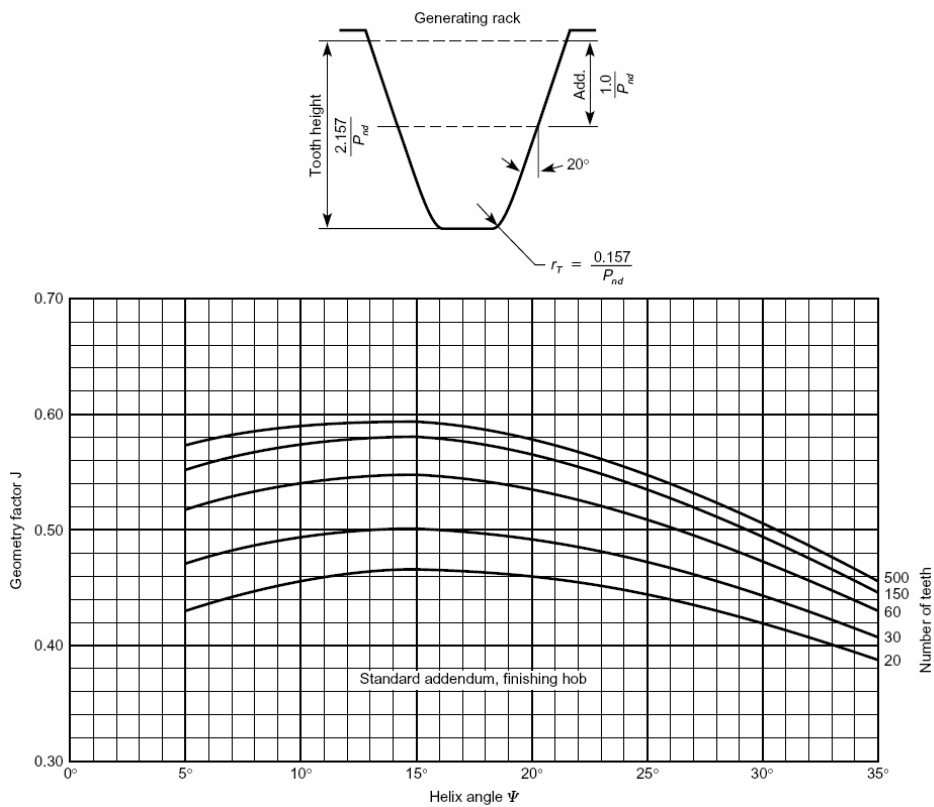
Σχήμα 22: Συντελεστής γεωμετρίας J για μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς ($\phi = 20^\circ$ και $h_k=m$)



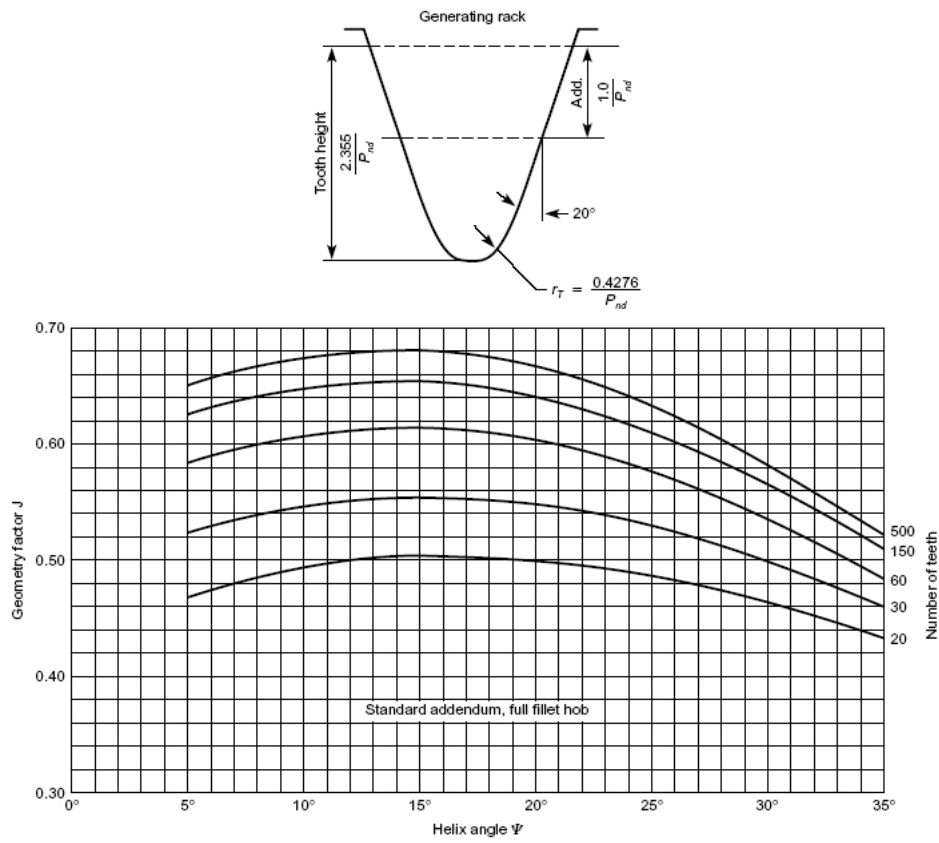
Σχήμα 23: Συντελεστής γεωμετρίας J για μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς ($\phi = 25^\circ$ και $h_k=m$)



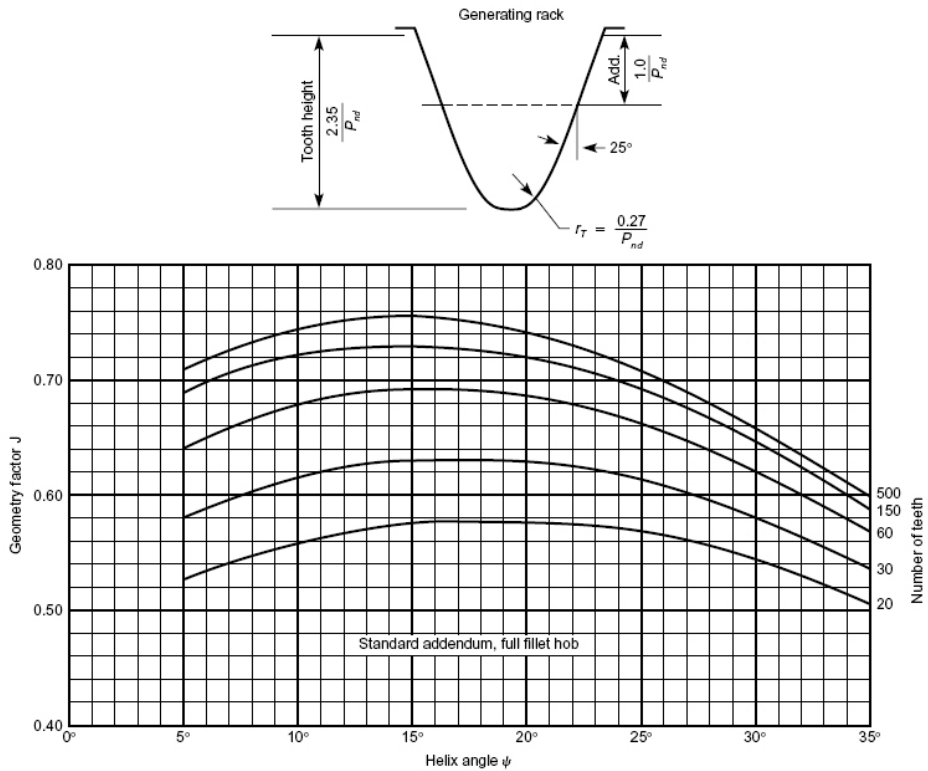
Σχήμα 24: Συντελεστής διάρκειας ζωής $K_L = Y_N$ λόγω καμπτικών τάσεων



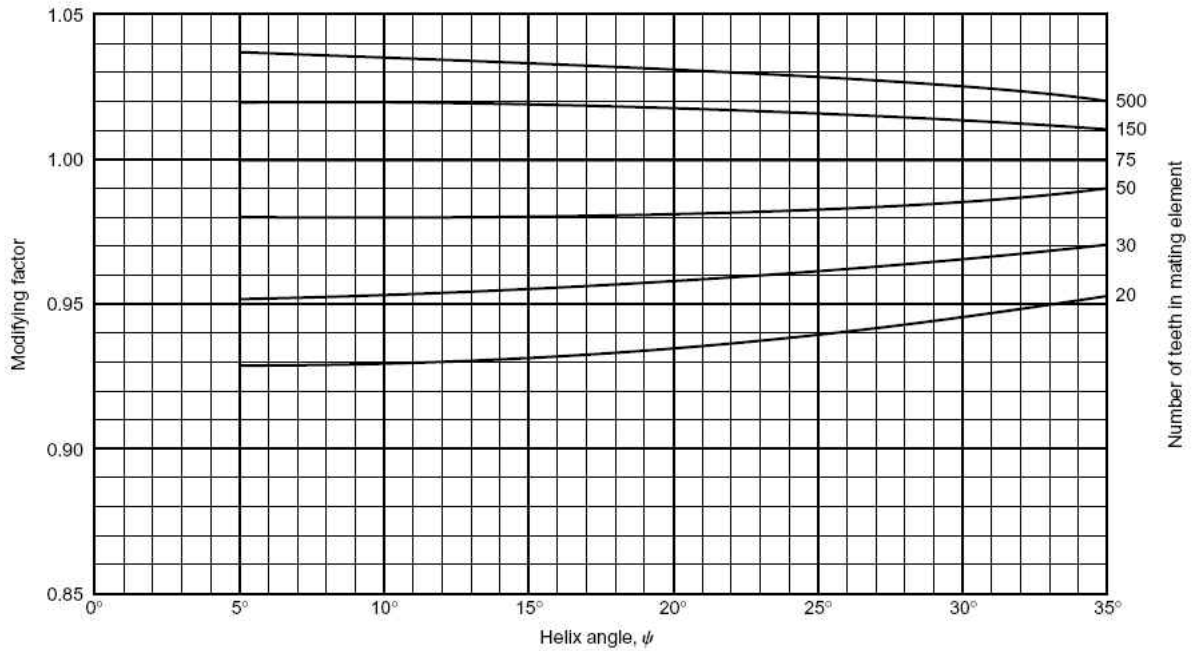
Σχήμα 25: Γεωμετρικός συντελεστής J ελικοειδών οδοντωτών τροχών για $\phi = 20^\circ$.



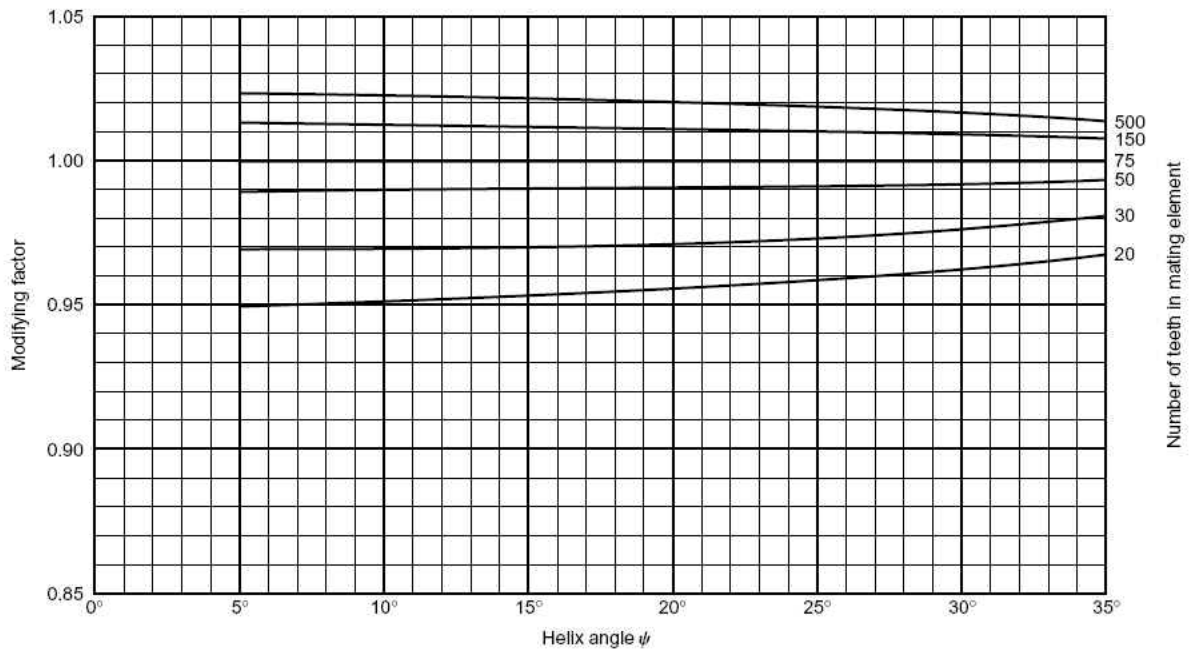
Σχήμα 26: Γεωμετρικός συντελεστής J ελικοειδών οδοντωτών τροχών για $\phi = 20^\circ$.



Σχήμα 27: Γεωμετρικός συντελεστής J ελικοειδών οδοντωτών τροχών για $\phi = 25^\circ$.

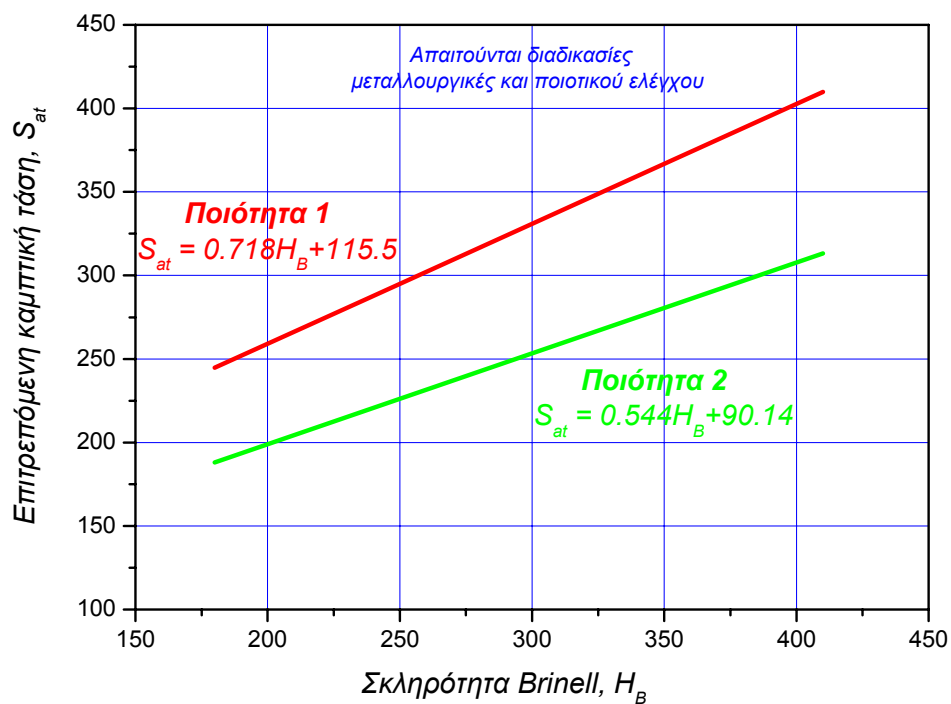


Σχήμα 28: Συντελεστής τροποποίησης του γεωμετρικού συντελεστή J για ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς με $\varphi = 20^\circ$. Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζει τον συντελεστή J όταν το εμπλεκόμενο στοιχείο έχει διαφορετικό αριθμό δοντιών από 75.

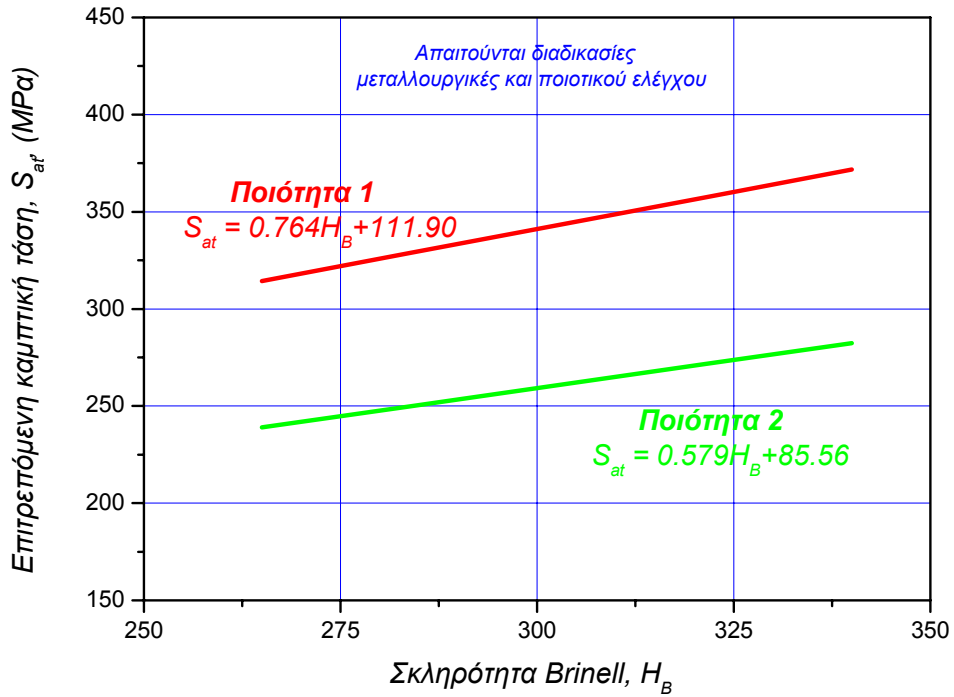


Σχήμα 29: Συντελεστής τροποποίησης του γεωμετρικού συντελεστή J για ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς με $\varphi = 25^\circ$. Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζει τον συντελεστή J όταν το εμπλεκόμενο στοιχείο έχει διαφορετικό αριθμό δοντιών από 75.

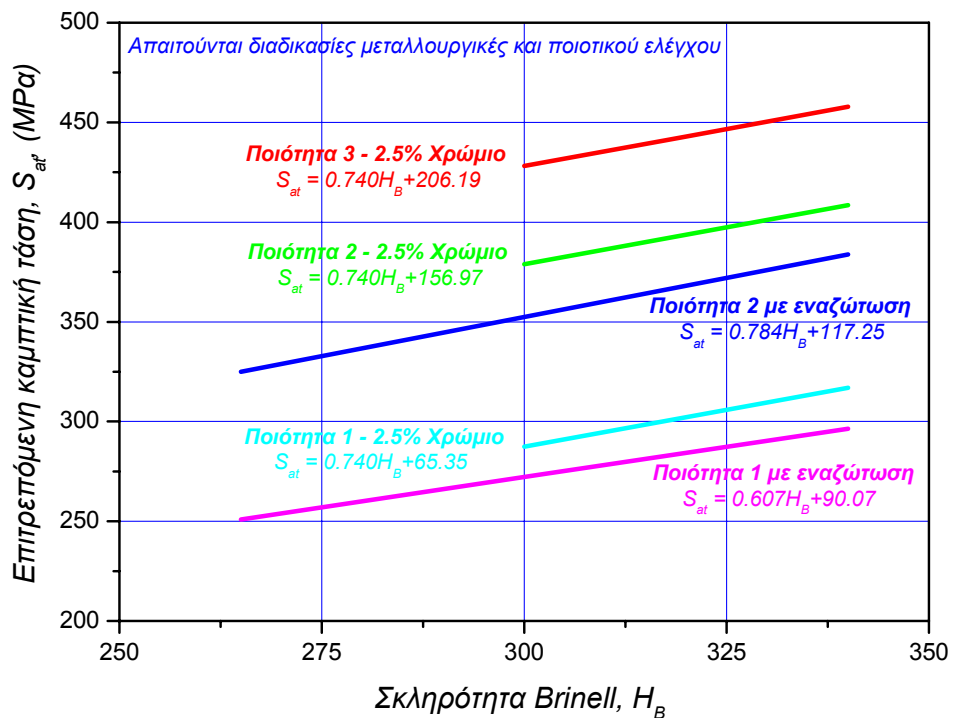
Πίνακας 17: Επιτρεπόμενη καμπτική τάση S_{at} για χαλύβδινους οδοντωτούς τροχούς					
Υλικό	Θερμική επεξεργασία	Ελάχιστη επιφανειακή σκληρότητα	Επιτρεπόμενη καμπτική τάση S_{at} , MPa		
			Ποιότητα 1	Ποιότητα 2	Ποιότητα 3
Χάλυβας	Σκλήρυνση σε βάθος	Σχήμα 30	Σχήμα 30	Σχήμα 30	----
	Σκλήρυνση με φλόγα ή επαγωγή με πατέντα τύπου A	Πίνακας 8	317	387	----
	Σκλήρυνση με φλόγα ή επαγωγή με πατέντα τύπου B	Πίνακας 8 Σημ. 1	155	155	----
	Σκλήρυνση με ενανθράκωση	Πίνακας 9 Σημ. 2	387	458 ή 493	528
	Εναζώτωση (Χάλυβες με σκλήρυνση σε βάθος)	83.5 HR15N	Σχήμα 31	Σχήμα 31	----
Nitralloy 135M, Nitralloy N and 2.5% Chrome (no aluminum)	Εναζώτωση	87.5 HR15N	Σχήμα 32	Σχήμα 32	Σχήμα 32



Σχήμα 30: Επιτρεπόμενες καμπτικές τάσεις S_{at} για οδοντωτούς τροχούς με σκλήρυνση σε βάθος.



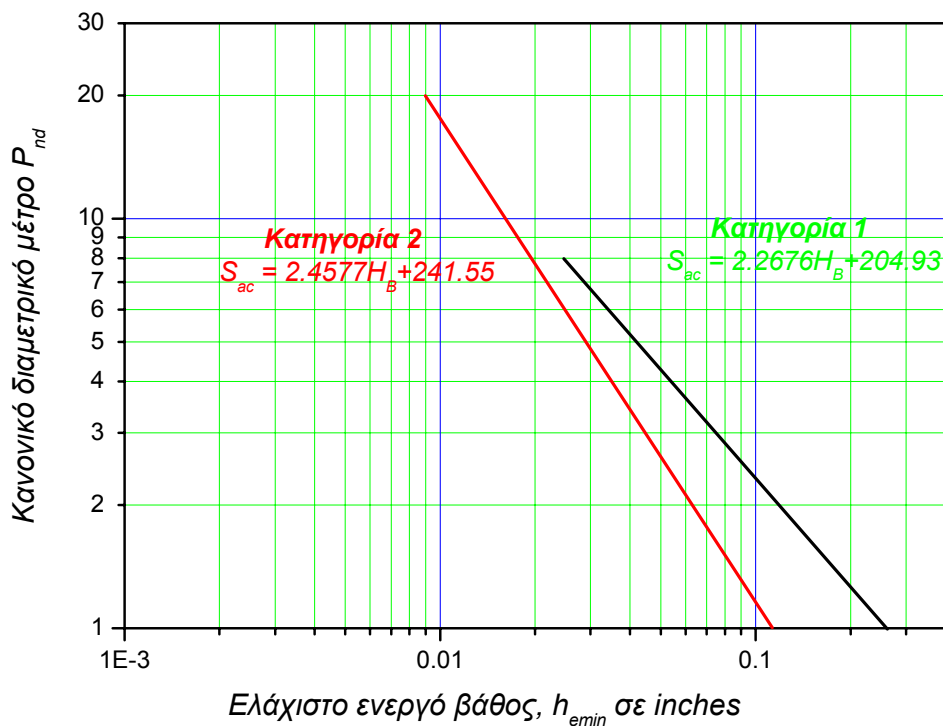
Σχήμα 31: Επιτρεπόμενες καμπτικές τάσεις S_{at} για οδοντωτούς τροχούς με εναζώτωση και σκλήρυνση σε βάθος (πχ. AISI 4140 και 4340)



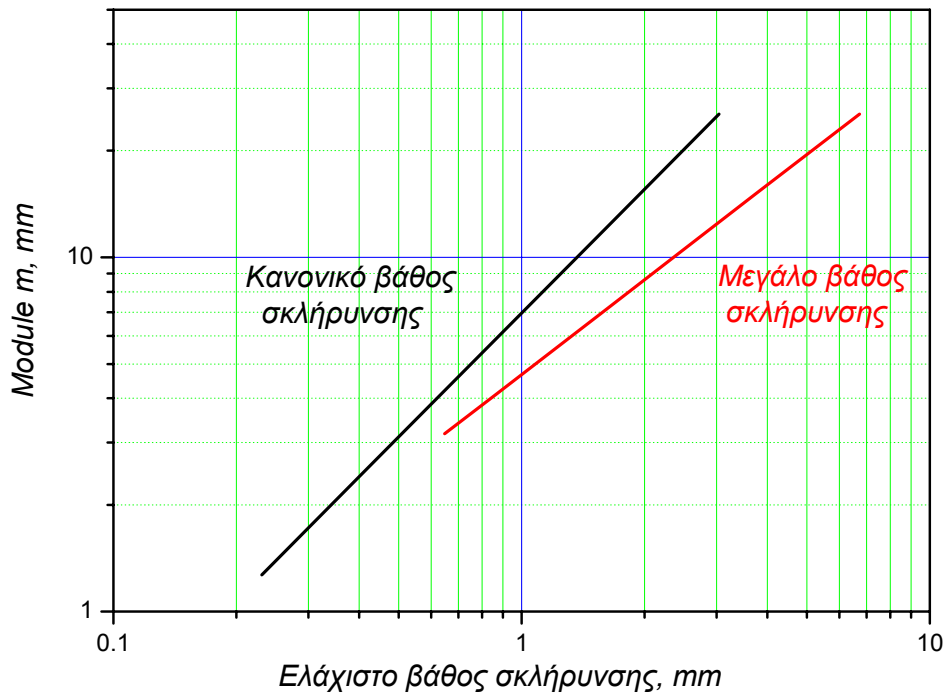
Σχήμα 32: Επιτρεπόμενες καμπτικές τάσεις S_{at} για χαλύβδινους οδοντωτούς τροχούς με εναζώτωση

Πίνακας 18: Επιτρεπόμενη καμπτική τάση S_{at} για οδοντωτούς τροχούς από σίδηρο και μπρούντζο

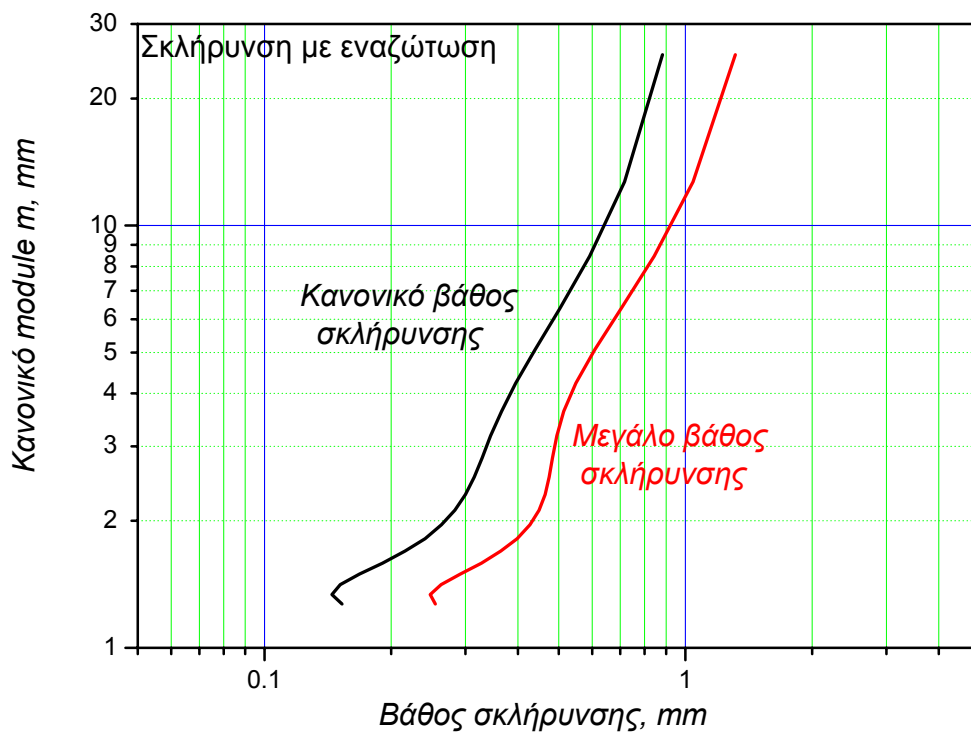
Υλικό	Κατηγορία υλικού	Θερμική επεξεργασία	Τυπική ελάχιστη επιφανειακή σκληρότητα	Επιτρεπόμενη καμπτική τάση S_{at} , MPa		
ASTM A48 φαιός χυτοσίδηρος	Κατηγορία 20	Κατά την χύτευση	----	35		
	Κατηγορία 30		174 HB	60		
	Κατηγορία 40		201 HB	92		
ASTM A536 όλκιμος σίδηρος	Ποιότητα 60-40-18	Ανόπτηση	140 HB	155	έως	232
	Ποιότητα 80-55-06	Βαφή και επαναφορά	179 HB	155	έως	232
	Ποιότητα 100-70-03		229 HB	190	έως	282
	Ποιότητα 120-90-02		269 HB	218	έως	310
Μπρούντζος	----	Χύτευση (άμμος)	Ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού, 282 MPa	40		
	ASTM B-148 Alloy 945	Βαφή και επαναφορά	Ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού, 634 MPa	166		



Σχήμα 33: Ελάχιστο ενεργό ολικό βάθος σκλήρυνσης h_{emin} για οδοντωτούς τροχούς με ενανθράκωση. Ενεργό βάθος σκλήρυνσης ορίζεται ως το βάθος με ελάχιστη σκλήρυνση 50RC. Το ολικό βάθος σκλήρυνσης είναι περίπου 1.5 φορά το ενεργό.



Σχήμα 34: Ελάχιστο ενεργό ολικό βάθος σκλήρυνσης h_{emin} για οδοντωτούς τροχούς με ενανθράκωση. Ενεργό βάθος σκλήρυνσης ορίζεται ως το βάθος με ελάχιστη σκλήρυνση 50RC.



Σχήμα 35: Ελάχιστο ενεργό ολικό βάθος σκλήρυνσης για οδοντωτούς τροχούς με εναζώτωση

18.7 Επιφανειακή αντοχή μετωπικών τροχών κατά AGMA

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{F_t}{bd_1 I} K_o K_v K_s K_m C_f} \leq S_{c,επ} = \frac{S_{ac} Z_N C_H}{S_H K_T K_R}$$

όπου

σ_c = η προκαλούμενη επιφανειακή πίεση

C_p = ο ελαστικός συντελεστής του οποίου η τιμή υπολογίζεται από την σχέση

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[(1-\nu_p^2)/E_p + (1-\nu_g^2)/E_g \right]}}$$

και δίνεται στον Πίνακα 19 σε \sqrt{MPa} . E_p , E_g , ν_p , ν_g είναι τα μέτρα ελαστικότητας και οι λόγοι Poisson του pinion και του τροχού αντίστοιχα.

F_t = η μεταφερόμενη επαφτομενική δύναμη

b = πλάτος δοντιού σε επαφή του τροχού μικρότερου πλάτους

d_1 = αρχική διάμετρος του pinion

= $2a/(i+1)$ για εξωτερικούς οδοντωτούς τροχούς

= $2a/(i-1)$ για εσωτερικούς οδοντωτούς τροχούς

I = γεωμετρικός συντελεστής αντίστασης σε επιφανειακή φθορά (σχήματα 36 και 37). Επίσης ο γεωμετρικός συντελεστής I υπολογίζεται στην επόμενη παράγραφο κατά AGMA. Ο Πίνακας 22 έχει τους υπολογισμούς αυτούς σε Excel.

K_o = συντελεστής υπερφόρτισης (Πίνακας 13)

K_v = δυναμικός συντελεστής (Σχήμα 21)

K_s = Συντελεστής διόρθωσης μεγέθους (Πίνακας 14)

K_m = Συντελεστής διανομής φορτίου (Πίνακας 16)

C_f = Συντελεστής επιφανειακών συνθηκών για αντίσταση σε φθορά.

Και για το δεύτερο μέλος της ανισότητας έχουμε ότι

$S_{c,επ}$ = η επιτρεπόμενη πίεση επαφής

S_{ac} = επιτρεπόμενη πίεση επαφής κατά τους Πίνακες 20 και 21 και Σχήμα 39.

Z_N = συντελεστής διάρκειας ζωής σε επιφανειακή φθορά (Σχήμα 38).

C_H = Συντελεστής λόγου σκληρότητας για αντίσταση σε φθορά (Σχήμα 40 και 41)

S_H = Συντελεστής ασφαλείας σε επιφανειακή φθορά

K_T = Συντελεστής θερμοκρασίας

K_R = Συντελεστής αξιοπιστίας

Πίνακας 19: Ελαστικός συντελεστής, $C_p, (MPa)^{1/2}$						
Υλικό του ριπίου	Μέτρο ελαστικότητας του ριπίου, $E_p (MPa)$	Υλικό του κινούμενου οδοντωτού τροχού, E_p, MPa				
		Χάλυβας	Μαλακός σίδηρος	Χυτοσίδηρος	Αλουμίνιο-μπρούντζος	Μπρούντζος-κασσίτερος
		Μέτρο ελαστικότητας του κινούμενου οδοντωτού τροχού, $E_p (MPa)$				
		210000	170000	150000	120000	110000
Χάλυβας	210000	192	181	175	163	159
Μαλακός σίδηρος	170000	181	172	167	157	153
Χυτοσίδηρος	150000	175	167	162	153	149
Αλουμίνιο-μπρούντζος	120000	163	157	153	145	142
Μπρούντζος-κασσίτερος	110000	159	153	149	142	139

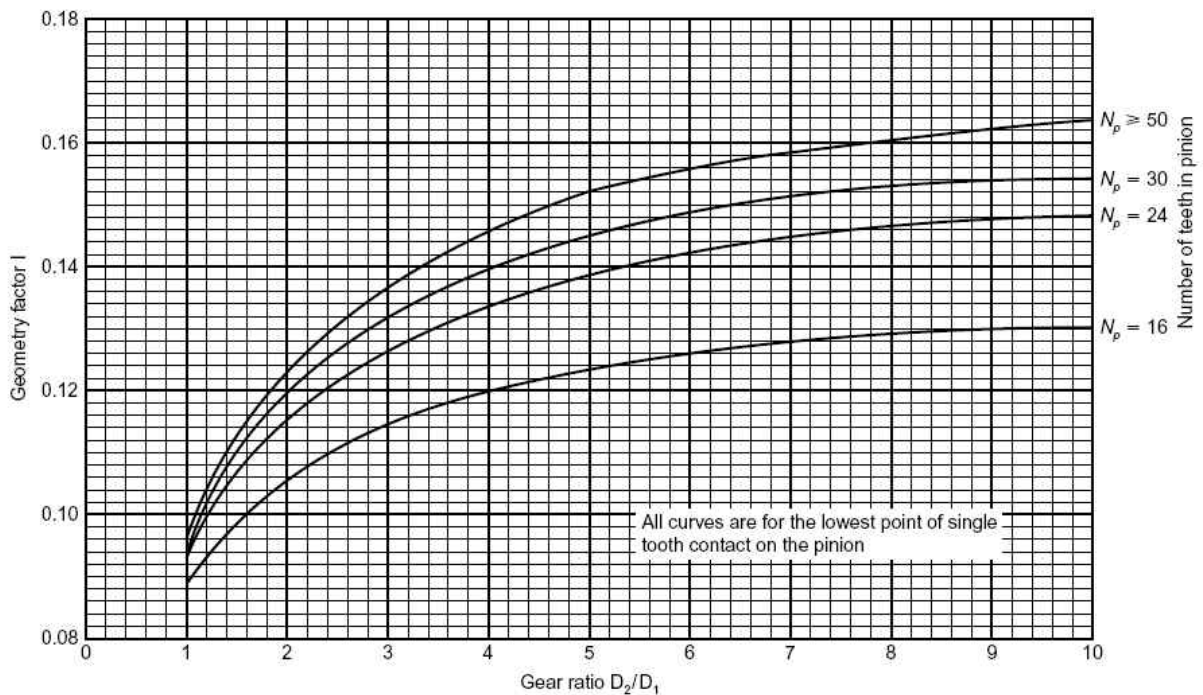
Λόγος Poisson = 0.30

Ο τρόπος υπολογισμού του γεωμετρικού συντελεστή I , κατά AGMA δίνεται στην επόμενη παράγραφο.

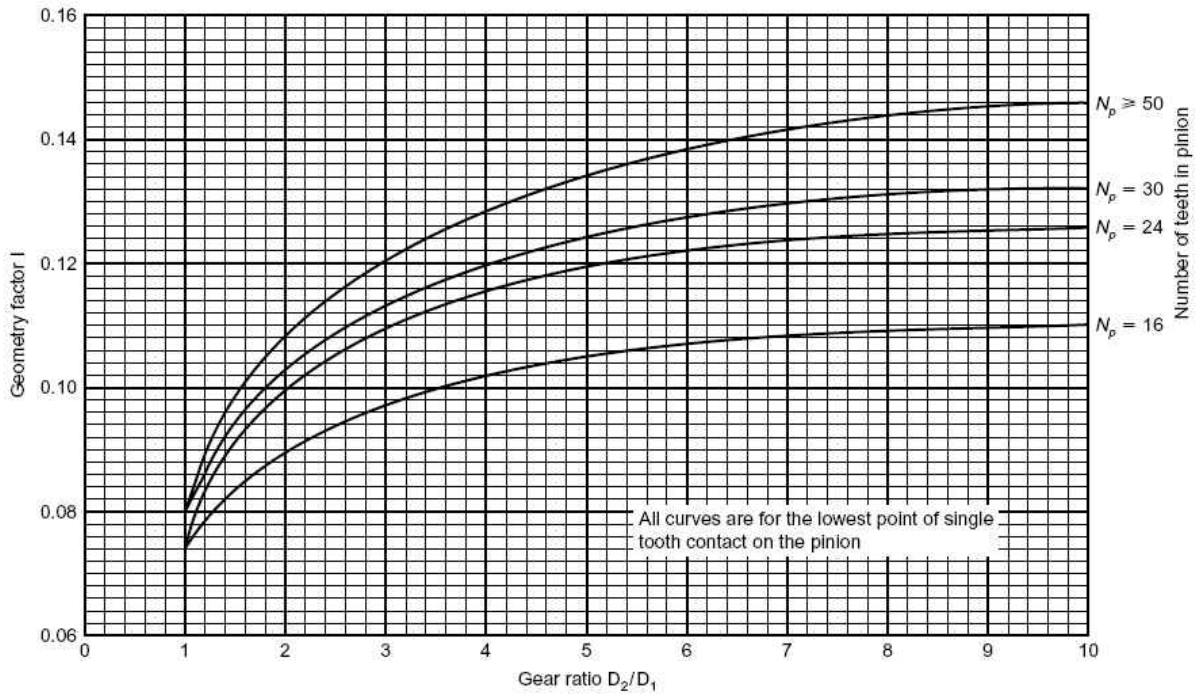
Πίνακας 20: Επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση S_{ac} για χαλύβδινους οδοντωτούς τροχούς					
Υλικό	Θερμική επεξεργασία	Ελάχιστη επιφανειακή σκληρότητα	Επιτρεπόμενη επιφανειακή τάση S_{ac}, MPa		
			Ποιότητα 1	Ποιότητα 2	Ποιότητα 3
Χάλυβας	Σκλήρυνση σε βάθος	Σχήμα 39	Σχήμα 39	Σχήμα 39	----
	Σκλήρυνση με φλόγα ή επαγωγή	50 HRC	1197	1338	----
		54 HRC	1232	1373	----
	Σκλήρυνση με ενανθράκωση	Πίνακας 9 Σημείωση 1	1268	1585	1937
	Εναζώτωση	83.5 HR15N	1056	1148	1232
		84.5 HR15N	1092	1183	1268
2.5% Chrome (no aluminum)	Εναζώτωση	87.5 HR15N	1092	1211	1331
Nitralloy 135M	Εναζώτωση	90.0 HR15N	1197	1289	1373
Nitralloy N	Εναζώτωση	90.0 HR15N	1211	1324	1444
2.5% Chrome (no aluminum)	Εναζώτωση	90.0 HR15N	1239	1380	1521

Πίνακας 21: Επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση S_{ac} για οδοντωτούς τροχούς από σίδηρο και μπρούντζο

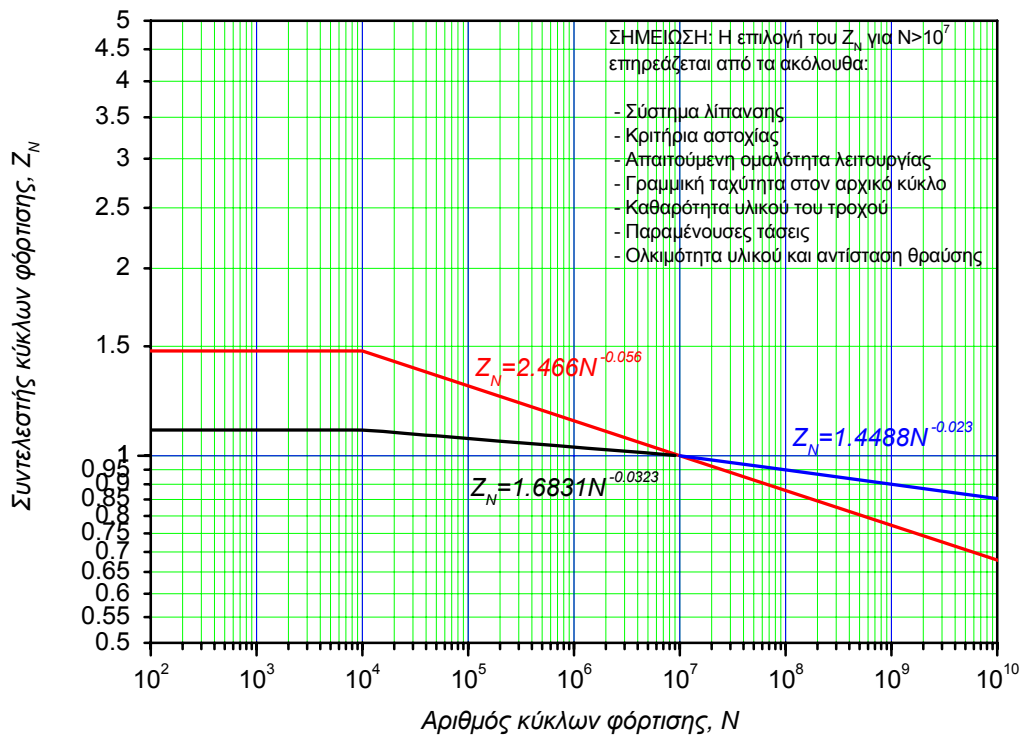
Υλικό	Κατηγορία υλικού	Θερμική επεξεργασία	Τυπική ελάχιστη επιφανειακή σκληρότητα	Επιτρεπόμενη επιφανειακή τάση S_{ac} , MPa		
ASTM A48 φαιός χυτοσίδηρος	Κατηγορία 20	Κατά την χύτευση	----	352	έως	423
	Κατηγορία 30		174 HB	458	έως	528
	Κατηγορία 40		201 HB	528	έως	599
ASTM A536 όγκιμος σίδηρος	Ποιότητα 60-40-18	Ανόπτηση	140 HB	542	έως	648
	Ποιότητα 80-55-06	Βαφή και επαναφορά	179 HB	542	έως	648
	Ποιότητα 100-70-03		229 HB	648	έως	789
	Ποιότητα 120-90-02		269 HB	725	έως	887
Μπρούντζος	----	Χύτευση (άμμος)	Ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού, 282 MPa	211		
	ASTM B-148 Alloy 945	Βαφή και επαναφορά	Ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού, 634 MPa	458		



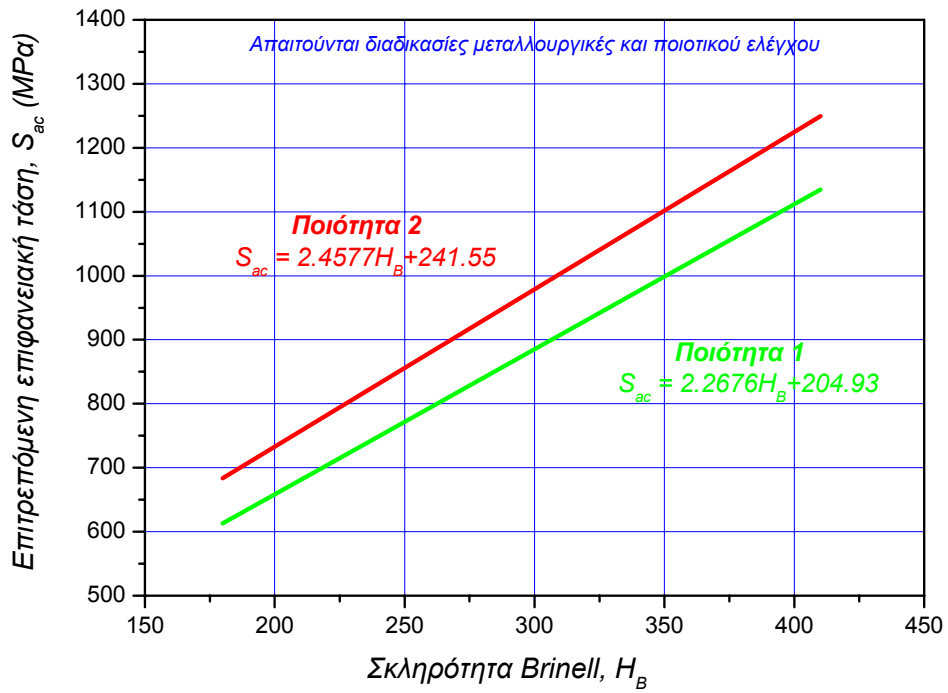
Σχήμα 36: Γεωμετρικός συντελεστής I για κανονικούς μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς 20°



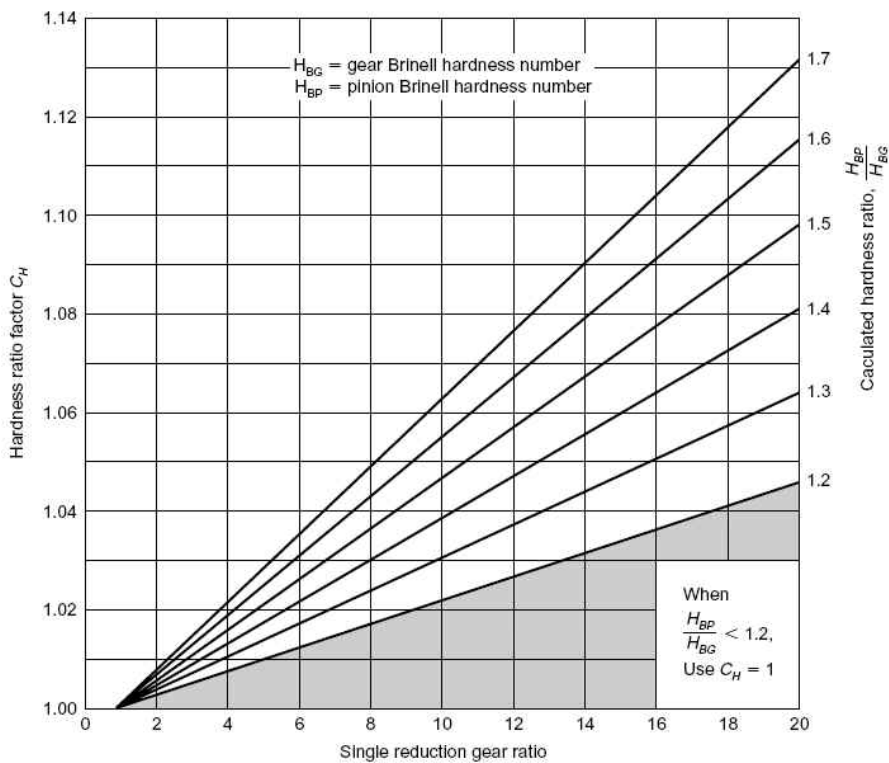
Σχήμα 37: Γεωμετρικός συντελεστής I για κανονικούς μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς 25°



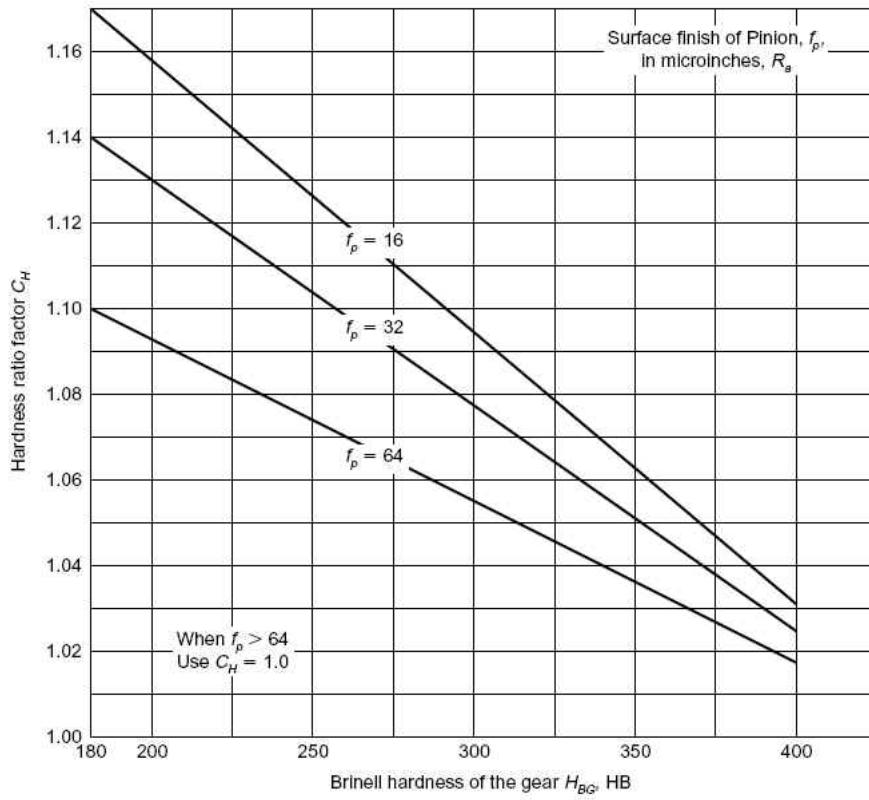
Σχήμα 38: Συντελεστής κύκλων φόρτισης ή διάρκειας ζωής Z_N λόγω επιφανειακών τάσεων



Σχήμα 39: Επιτρεπόμενη επιφανειακή τάση S_{ac} για χαλύβδινους οδοντωτούς τροχούς με σκλήρυνση σε βάθος



Σχήμα 40: Συντελεστής C_H λόγω σκληρότητας pinion / τροχού για χάλυβες με σκλήρυνση σε βάθος



Σχήμα 41: Συντελεστής C_H λόγω σκληρότητας pinion / τροχού για χάλυβες με επιφανειακή σκλήρυνση