

PRILOG 3.4 KOEFIČIJENTI ZA PRORAČUN KRIVINE ELEMENTA PRAVOUGAONOG PRESEKA IZLOŽENOG SLOŽENOM SAVIJANJU

Koeficijenti za proračun krivine elemenata pravougaonog preseka izloženog složenom savijanju prikazani na dijagramima (Prilog 3.4.1 do 3.4.80) uvode uticaj armature, tečenja i skupljanja betona na deformaciju armiranobetonskih elemenata i pružaju mogućnost za brz i jednostavan proračun. Vrednost koeficijenata prikazanih na dijagramima je u funkciji koeficijenta armiranja zategnutom armaturom pomnoženog odnosom modula elastičnosti armature i betona (nA_{st}/bh).

Proračun koeficijenata, krivina i ugiba izvršen je prema modelu datom u Priručniku, poglavlje IV 2 b, član 117.

PRORAČUN KOEFICIJENATA

Koeficijenti k_a^I i k_a^{II} uvode uticaj armature u proračun deformacije preseka za stanje I i stanje II:

$$k_a^I = \frac{J_b}{J_i^I} \quad (3.4/1)$$

$$k_a^{II} = \frac{J_b}{J_i^{II}} \quad (3.4/2)$$

Koeficijenti k_φ^I i k_φ^{II} uvode uticaj tečenja betona u proračun deformacije preseka za stanje I i stanje II:

$$k_\varphi^I = 1 - \frac{n^*}{J_i^{*I}} [J_a + A_a (y_{a2} - y_{i2}^I) (y_{a2} - y_{i2}^{*I})] \quad (3.4/3)$$

$$k_\varphi^{II} = 1 - \frac{n^*}{J_i^{*II}} [J_a + A_a (y_{a2} - y_{i2}^{II}) (y_{a2} - y_{i2}^{*II})] \quad (3.4/4)$$

Koeficijenti k_s^I i k_s^{II} uvode uticaj skupljanja betona u proračun deformacije preseka za stanje I i stanje II:

$$k_s^I = \frac{n^*}{J_i^{*I}} A_a d (y_{a2} - y_{i2}^{*I}) \quad (3.4/5)$$

$$k_s^{II} = \frac{n^*}{J_i^{*II}} A_a d (y_{a2} - y_{i2}^{*II}) \quad (3.4/6)$$

RELEVANTNI PARAMETRI OD KOJIH ZAVISE KOEFIČIJENTI ZA PRORAČUN KRIVINE

Parametri od kojih zavise koeficijenti za proračun krivine su α_1 i α_2 (određuju položaj zategnute i pritisnute armature od ivice betona), odnos površina pritisnute i zategnute armature i proizvod koeficijenta starenja i koeficijenta tečenja betona $\chi(t, t_0) \varphi(t, t_0)$.

Koeficijent k_s^{II} ne zavisi od odnosa površina pritisnute i zategnute armature.

Koeficijenti za proračun krivine za stanje I više zavise od α_1 nego od α_2 , pa su dijagrami na kojima su prikazani ovi koeficijenti urađeni za sledeće vrednosti α_1 : 0.05, 0.10, 0.15 i 0.20, i $\alpha_2 = 0.10$. Dijagrami se mogu koristiti za sve vrednosti α_2 izmedju 0.05 i 0.20, pri čemu učinjenja greška ne prelazi 15%. Za koeficijent k_s^I uticaj α_2 je nešto veći, pa su dijagrami za ovaj koeficijent urađeni za vrednosti $\alpha_2 = 0.075$ (koristi se za α_2 izmedju 0.05 i 0.10) i $\alpha_2 = 0.175$ (koristi se za α_2 izmedju 0.15 i 0.20).

Koeficijenti za proračun krivine za stanje II više zavise od α_2 nego od α_1 , pa su dijagrami na kojima su prikazani ovi koeficijenti urađeni za sledeće vrednosti α_2 : 0.05, 0.10, 0.15 i 0.20, i $\alpha_1 = 0.10$. Zaključci o zavisnosti ovih koeficijenata od α_1 su analogni zaključcima o zavisnosti koeficijenata za proračun krivine za stanje I od α_2 .

Dijagrami za koeficijente k_φ i k_s urađeni su za tri vrednosti proizvoda koeficijenta starenja i koeficijenta tečenja betona $\chi(t, t_0) \varphi(t, t_0)$: 1.00, 2.00 i 3.00.

PRORAČUN KRIVINA I UGIBA

Krivina betonskog preseka za $t=0$ usled momenta savijanja M:

$$\kappa_b = \frac{M}{E_b(t_0) J_b} \quad (3.4/7)$$

Krivine usled momenta savijanja M i normalne sile N u vremenu $t=0$:

$$\kappa_M^I(t_0) = k_a^I \kappa_b \quad (3.4/8)$$

$$\kappa_M^{II}(t_0) = k_a^{II} \kappa_b \quad (3.4/9)$$

$$\kappa_N^{II}(t_0) = -(k_a^{II} - k_a^I) \frac{M_0}{E_b(t_0) J_b} \quad (3.4/10)$$

Krivine usled momenta savijanja M i normalne sile N u vremenu $t=\infty$:

$$\kappa_M^I(t) = k_a^I [1 + k_\varphi^I(\varphi(t, t_0))] \kappa_b + k_s^I \frac{\epsilon_s(t, t_0)}{d} \quad (3.4/11)$$

$$\kappa_M^{II}(t) = k_a^{II} [1 + k_\varphi^{II}(\varphi(t, t_0))] \kappa_b + k_s^{II} \frac{e_s(t, t_0)}{d} \quad (3.4/12)$$

$$\kappa_N^{II}(t) = - [k_a^{II} [1 + k_\varphi^{II}(\varphi(t, t_0))] - k_a^I [1 + k_\varphi^I(\varphi(t, t_0))]] \frac{M_0}{E_b(t_0) J_b} \quad (3.4/13)$$

gde je moment M_0 :

$$M_0 = \frac{N(y_{i2}^I - y_{i2}^{II})}{1 - k_a^I / k_a^{II}} \quad (3.4/14)$$

Ako se vrši proračun ugiba po Bilinearnoj metodi, onda je ugib u vremenu t:

$$v_M^I(t) = k_a^I [1 + k_\varphi^I(\varphi(t, t_0))] v_b + k_s^I \delta_s \frac{1^2}{8d} e_s(t, t_0) \quad (3.4/15)$$

$$v_M^{II}(t) = k_a^{II} [1 + k_\varphi^{II}(\varphi(t, t_0))] v_b + k_s^{II} \delta_s \frac{1^2}{8d} e_s(t, t_0) \quad (3.4/16)$$

gde je v_b ugib betonskog preseka u vremenu $t=0$, a δ_s koeficijent koji zavisi od statičkog sistema (Prilog 3.6).

Za ovako izračunate krivine ili ugibe za stanja I i II mogu se izračunati i srednja krivina ili ugib.

UTICAJ SKUPLJANJA BETONA NA UGIB

Skupljanje betona može značajno da utiče na veličinu deformacije armiranobetonskih elemenata. U primerima 1 do 8 prikazane su razlike ugiba armiranobetonske proste grede raspona 6.0m za dva slučaja armiranja: (dvostruko, primeri 1 do 5) i jednostruko (primeri 6 do 8), za različite nivoe opterećenja.

Eb= 31.5MPa	Ea=200.0MPa	HI=0.8	FI=2.5
Aa1=11.36cm ²	Aa2= 5.68cm ²	a1=5.00cm	a2=5.00cm
-> primer 1			
b= 30.0cm	d= 50.0cm	l= 6.00m	g=20.00kN/m
STANJE II			
vo= 7.66mm		vt= 13.28mm	
epss= 0.340		vts= 15.69mm	
		del= 18.2%	

-> primer 2
b= 30.0cm d= 50.0cm l= 6.00m g=15.00kN/m
STANJE II
vo= 4.92mm vt= 9.64mm
epss= 0.340 vts= 11.89mm
del= 23.4%

-> primer 3
b= 30.0cm d= 50.0cm l= 6.00m g=10.00kN/m
STANJE II
vo= 2.17mm vt= 6.00mm
epss= 0.340 vts= 7.94mm
del= 32.4%

-> primer 4
b= 15.0cm d= 50.0cm l= 6.00m g= 6.00kN/m
STANJE II
vo= 2.30mm vt= 5.90mm
epss= 0.340 vts= 9.27mm
del= 57.2%

-> primer 5
b= 15.0cm d= 50.0cm l= 6.00m g= 4.00kN/m
STANJE I
vo= 1.17mm vt= 3.30mm
epss= 0.340 vts= 5.60mm
del= 69.6%

Eb= 31.5MPa Ea=200.0MPa HI=0.8 FI=2.5
Aa1=11.36cm² Aa2= 0.00cm² a1=5.00cm a2=5.00cm

-> primer 6
b= 15.0cm d= 70.0cm l= 6.00m g=30.00kN/m
STANJE II
vo= 7.12mm vt= 12.68mm
epss= 0.340 vts= 15.21mm
del= 20.0%

-> primer 7
b= 15.0cm d= 70.0cm l= 6.00m g=20.00kN/m
STANJE II
vo= 4.24mm vt= 8.27mm

epss= 0.340

vts= 10.71mm

del= 29.5%

-> primer 8

b= 15.0cm

d= 70.0cm

l= 6.00m

g=10.00kN/m

STANJE II

vo= 1.36mm

vt= 3.86mm

epss= 0.340

vts= 6.02mm

del= 55.8%

U primerima je sa epss označena vrednost skupljanja u promilima, a sa del je označeno povećanje ugiba armiranobetonske grede usled uticaja skupljanja betona.

Udeo skupljanja betona na ukupnu deformaciju armirano betonskog elementa obrnuto je srazmeran nivou opterećenja. Za slabo opterećene elemente skupljanje betona povećava ugib armirano betonske grede i preko 50% (primer 5, 69,6%). Povećanje ugiba od skupljanja je značajnije za jednostruko armirane preseke (primeri 1 i 7) za iste nivoe opterećenja. Za uobičajeno napregnut presek (primer 2 i 7) povećanje ugiba se kreće između 20 i 30%.

Na osnovu prethodnog razmatranja može se zaključiti da se u slučajevima kada je potreban tačniji proračun ugiba elemenata konstrukcije uticaj skupljanja betona ne može zanemariti. Ovakav zaključak dobija na značaju ako se radi o konstrukcijama čiji se elementi betoniraju na licu mesta i opterećuju pri malim starostima betona.

PRIMER PRORAČUNA UGIBA

Primer predstavlja nastavak primera 117/1 iz Priručnika uvodjenjem uticaja skupljanja betona.

Ugibi za stanje I i II (bez uticaja skupljanja betona):

$$v_i^I(t=\infty) = 6.28 \text{ mm}$$

$$v_i^{II}(t=\infty) = 10.91 \text{ mm}$$

Koeficijenti k_s za stanje I i II:

$$k_s^I = \frac{19.05}{439830} 17.04 \times 50 (31.67 - 26.19) = 0.202$$

(Ako se vrednost očitava sa dijagrama dobija se $k_s^I = 0.195$)

$$k_s^{II} = \frac{19.05}{232144} 17.04 \times 50 (31.67 - 18.18) = 0.943$$

(Ako se vrednost očitava sa dijagrama dobija se $k_s^{II} = 0.94$)

Usvaja se konačna vrednost skupljanja betona (Pravilnik, tabela 57/1, $v_l = 70\%$, $d_m = 20\text{cm}$) $\epsilon_s = 0.34$ promila.

Za prostu gredu koeficijent $\delta_s = 1$, pa su ugibi za stanje I i II:

$$v_i^I(t=\infty) = 6.28 \times 10^{-3} + .202 \times \frac{6.0^2}{8 \times 0.50} 0.34 \times 10^{-3} = 6.90 \times 10^{-3} \text{m} = 6.9 \text{mm}$$

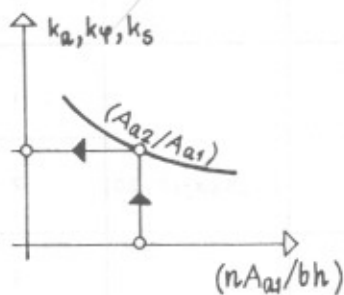
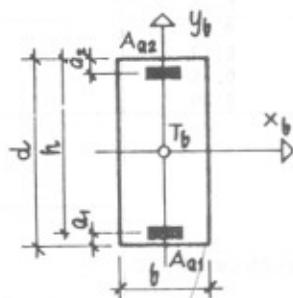
$$v_i^{II}(t=\infty) = 10.91 \times 10^{-3} + .943 \times \frac{6.0^2}{8 \times 0.50} 0.34 \times 10^{-3} = 0.0138 \text{m} = 13.8 \text{mm}$$

Srednji ugib za vreme $t=\infty$:

$$v(t=\infty) = (1 - 0.722) 6.9 + 0.722 \times 13.8 = 11.9 \text{mm}$$

PRILOG	KOEFICIJENT	α_1	α_2	X φ	
3.4.1	k_a^I	0,05	$\leq 0,2$	-	
3.4.2		0,10			
3.4.3		0,15			
3.4.4		0,20			
3.4.5	k_a^II	0,05	$\leq 0,2$	-	
3.4.6		0,10			
3.4.7		0,15			
3.4.8		0,20			
3.4.9	k_φ^I	0,05	$\leq 0,2$	1	
3.4.10		0,10			
3.4.11		0,15			
3.4.12		0,20			
3.4.13		0,05		2	
3.4.14		0,10			
3.4.15		0,15			
3.4.16		0,20			
3.4.17		0,05		3	
3.4.18		0,10			
3.4.19		0,15			
3.4.20		0,20			
3.4.21	k_φ^II	$\leq 0,2$	0,05	1	
3.4.22			0,10		
3.4.23			0,15		
3.4.24			0,20		
3.4.25			0,05	2	
3.4.26			0,10		
3.4.27			0,15		
3.4.28			0,20		
3.4.29			0,05	3	
3.4.30			0,10		
3.4.31			0,15		
3.4.32			0,20		
3.4.33	k_s^I	0,05	$0,05 \leq \alpha_2 \leq 0,10$	1	
3.4.34		0,10			
3.4.35		0,15			
3.4.36		0,20			
3.4.37		0,05		2	
3.4.38		0,10			
3.4.39		0,15			
3.4.40		0,20			
3.4.41		0,05		3	
3.4.42		0,10			
3.4.43		0,15			
3.4.44		0,20			
3.4.45		0,05		$0,15 \leq \alpha_2 \leq 0,20$	1
3.4.46		0,10			
3.4.47		0,15			
3.4.48		0,20			
3.4.49		0,05			2
3.4.50		0,10			
3.4.51		0,15			
3.4.52		0,20			
3.4.53		0,05			3
3.4.54		0,10			
3.4.55		0,15			
3.4.56		0,20			

PRILOG	KOEFICIJENT	α_1	α_2	$X \ \varphi$	
3.4.57	k_S^{II}	$0.05 \leq \alpha_1 \leq 0.10$	0,05	1	
3.4.58			0,10		
3.4.59			0,15		
3.4.60			0,20		
3.4.61			0,05		
3.4.62			0,10		
3.4.63		0,15	2		
3.4.64		0,20			
3.4.65		0,05			
3.4.66		0,10	3		
3.4.67		0,15			
3.4.68		0,20			
3.4.69		$0.15 \leq \alpha_1 \leq 0.20$	0,05	0,05	1
3.4.70				0,10	
3.4.71				0,15	
3.4.72				0,20	
3.4.73	0,05		2		
3.4.74	0,10				
3.4.75	0,15				
3.4.76	0,20		3		
3.4.77	0,05				
3.4.78	0,10				
3.4.79	0,15				
3.4.80	0,20				



$$\alpha_1 = a_1/d$$

$$\alpha_2 = a_2/d$$

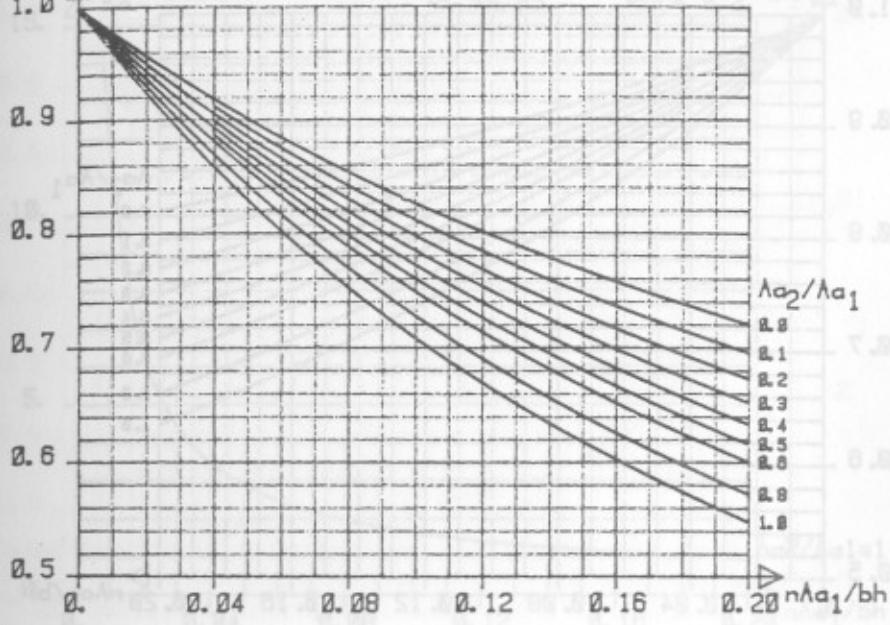
$$[X(t, t_0) \ \varphi(t, t_0)], \text{ za } k_{\psi} \text{ i } k_S$$

3.4.1

Δk_a^I

$\alpha_1 = 0.05$

$\alpha_2 \leq 0.2$

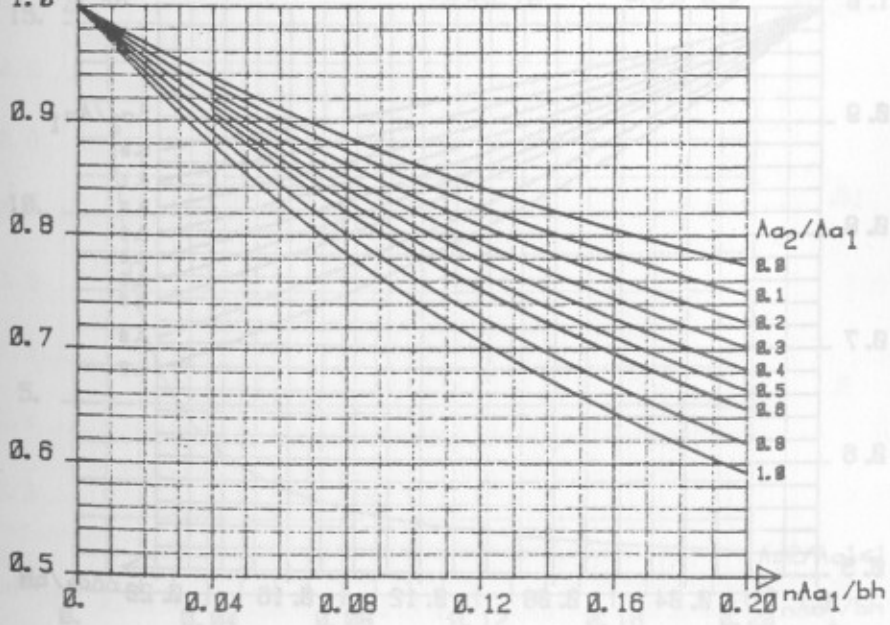


3.4.2

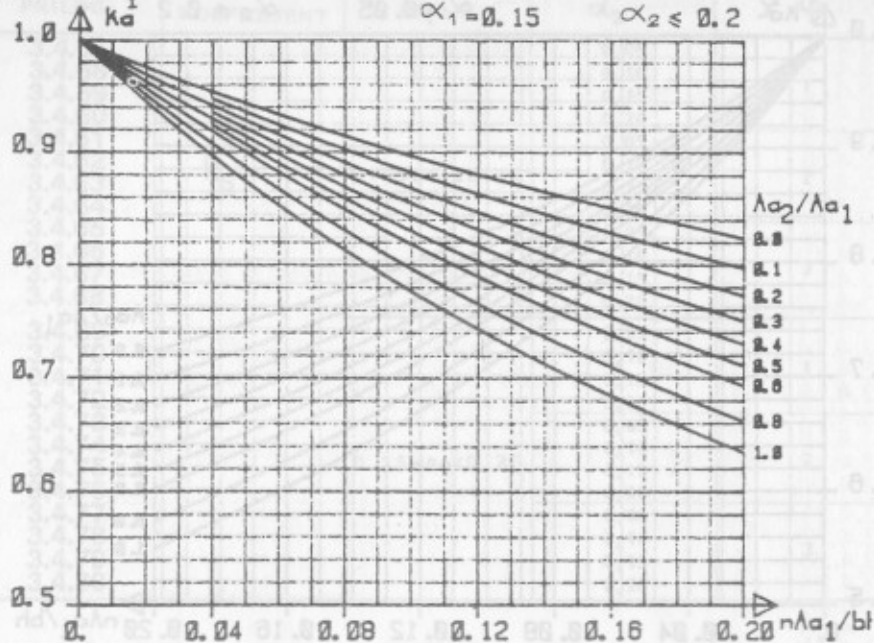
Δk_a^I

$\alpha_1 = 0.10$

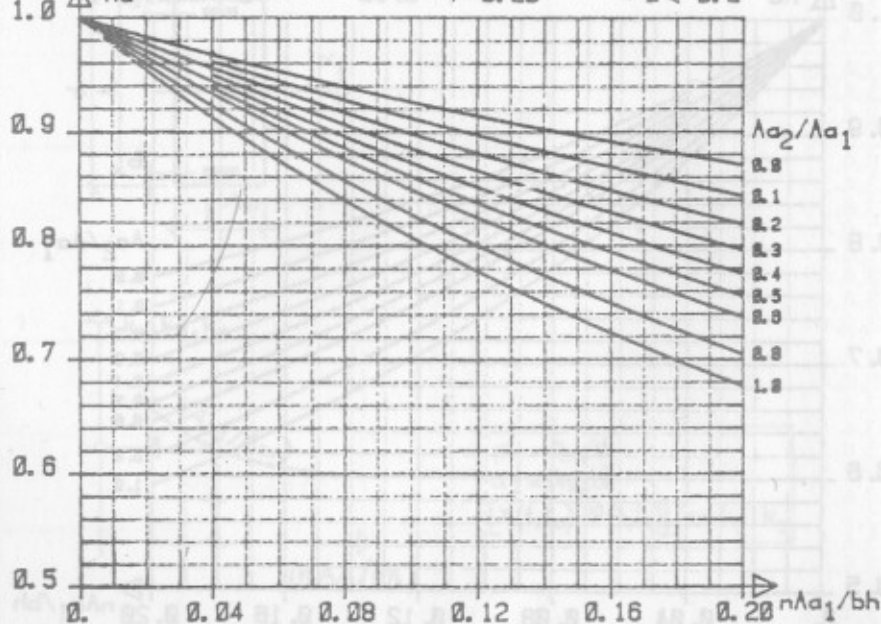
$\alpha_2 \leq 0.2$



3.4.3

 Δk_a^I $\alpha_1 = 0.15$ $\alpha_2 \leq 0.2$ 

3.4.4

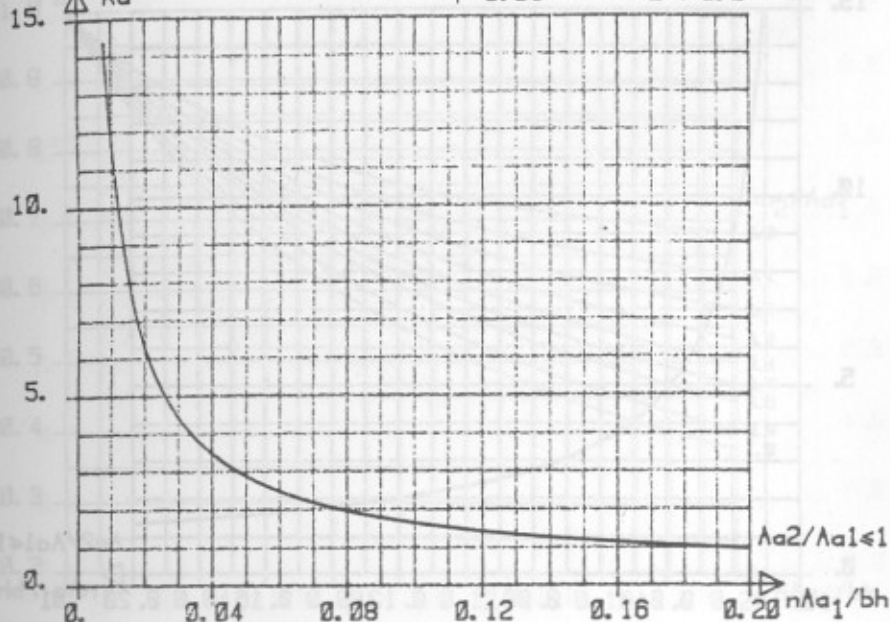
 Δk_a^I $\alpha_1 = 0.20$ $\alpha_2 \leq 0.2$ 

3.4.5

Δk_a^{II}

$\alpha_1 = 0.05$

$\alpha_2 \leq 0.2$

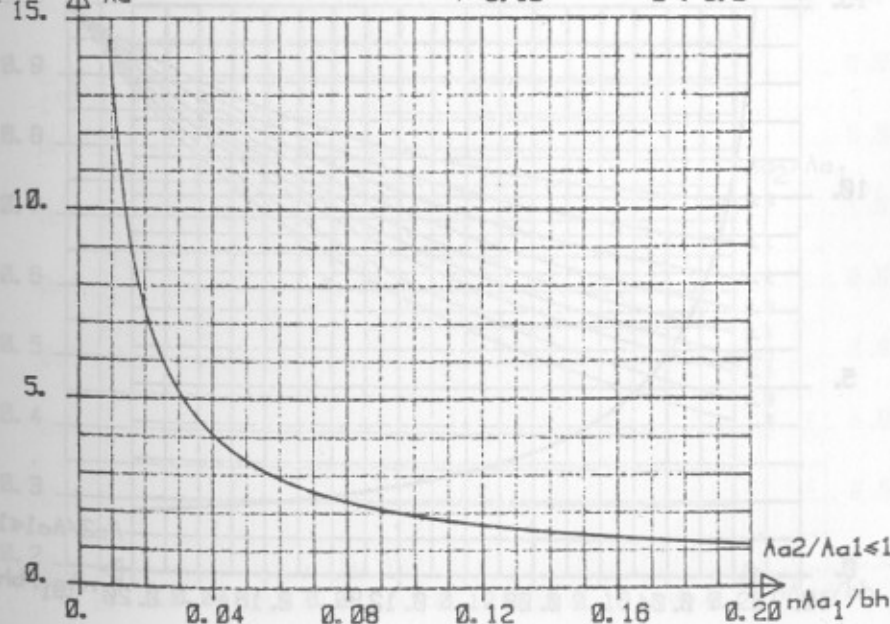


3.4.6

Δk_a^{II}

$\alpha_1 = 0.10$

$\alpha_2 \leq 0.2$

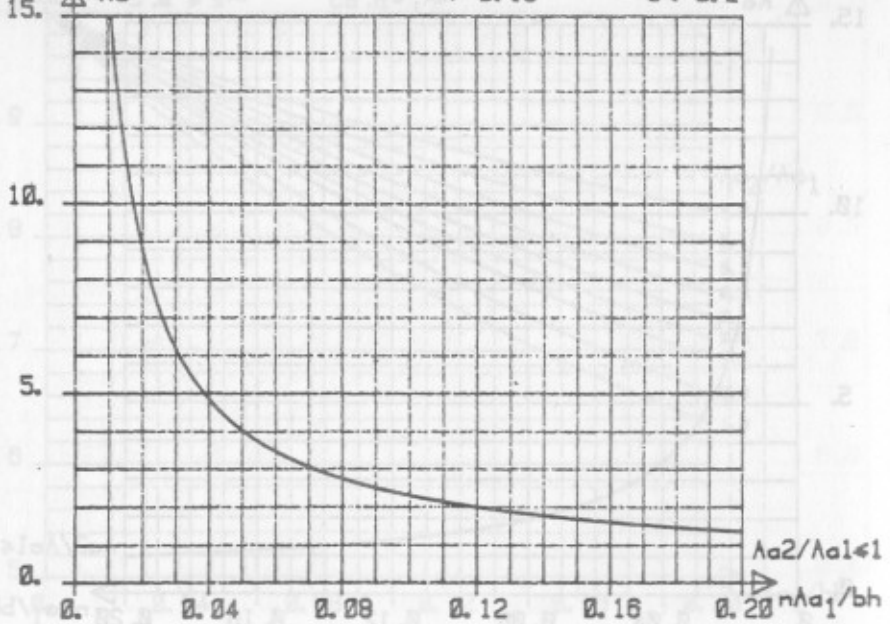


3.4.7

$\Delta k_{\alpha}^{\text{II}}$

$\alpha_1 = 0.15$

$\alpha_2 \leq 0.2$



3.4.8

$\Delta k_{\alpha}^{\text{II}}$

$\alpha_1 = 0.20$

$\alpha_2 \leq 0.2$

