

SILE
KOJE DELUJU NA
HIDROTEHNIČKE
KONSTRUKCIJE

SADRŽAJ

Pitanje br.		
	A. SILE KOJE DELUJU NA HIDROTEHNIČKE KONSTRUKCIJE	
1.	Sopstvena težina	<u>I8</u>
2.	Hidrostaticki pritisak	<u>I9</u>
3.	Hidrodinamički protisak	<u>I10</u>
4.	Uzgon	<u>I11</u>
5.	Pritisak leda	<u>I12</u>
6.	Pritisak nanosa - aluvijuma	<u>I13</u>
7.	Pritisak talasa	<u>I14</u>
8.	Proračun seizmičkih sila	<u>I15</u>

<p style="text-align: center;">1.</p> <p style="text-align: center;">Definicija opterećenja</p>	<p>Pod silom ili opterećenjem se podrazumeva bilo koji slučaj koji je u stanju da izazove napone i deformacije u konstrukciji na koju deluje.</p> <p>Poznavanje opterećenja je neophodno za određivanje: napona u konstrukciji, napona u fundamentu, deformacije konstrukcije, deformacije fundamenta i dimenzije konstrukcije.</p>
<p style="text-align: center;">2.</p> <p style="text-align: center;">Klasifikacija opterećenja</p>	<p>Opterećenje koje deluje na konstrukciju deli se na:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Osnovno opterećenje</i>, koje deluje na konstrukciju u normalnim uslovima eksploatacije. <p>Ovo opterećenje čine: sopstvena težina konstrukcije sa instalacijama, hidrostatički i hidrodinamički pritisak sa normalno usporenim nivoom u jezeru, uzgon u uslovima normalnog funkcionisanja drenaže, pritisak talasa, pritisak leda, pritisak zemlje, pritisak nanosa, opterećenje snegom, opterećenje od brodova i pritisak vetra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Izuzetno ili vanredno opterećenje</i>, javlja se u trenutku kada ne postoje uslovi za normalnu eksploataciju konstrukcije. <p>Ovo opterećenje čine: saeizmičko opterećenje, pritisak vode u uslovima preliivanja maksimalnog proticaja za verifikaciju, pritisak leda u slučaju kretanja slojeva leda sa katastrofalnim intezitetom, pritisak katastrofalnog talasa, sila katastrofalnog vetra, opterećenje usled promene temperature i sleganja temelja kod hidrotehničkih konstrukcija od betona i armiranog betona.</p> <p>Grupisanje sila na hidrotehničku konstrukciju treba uraditi u funkciji fizičkih mogućnosti njihovog istovremenog delovanja (npr. ne uzima se istovremeno delovanje talasa i leda jer fizički nije moguće, itd.)</p>

3. Sopstvena težina

Ima značajan udeo u opterećenje masivnih konstrukcija. Sopstvena težina zavisi od težine materijala koji čini konstrukciju.

Kod betonskih brana sopstvenu težinu čini težina: cementa, agregata i vodocementni faktor. Zapreminska težina betona određuje se laboratorijski, precizno (označava se sa γ_b i kreće se u granicama od 2250 do 2450 daN/m³). Vodocementni faktor značajno utiče na veličinu γ_b .

Sopstvenu težinu zemljanih brana čine: pesak, šljunak, glina i kamen. Od njihovog odnosa zavisi zapreminska težina γ_z koje se kreće u granicama od 1650 do 1900 daN/m³.

Sopstvena težina konstrukcije definisana je izrazom:

$$G_s = V_b \cdot \gamma$$

gde je:

- V_b , zapremina konstrukcije, a
- γ , zapreminska težina konstrukcije.

4. Hidrostatički pritisak

Odredjuje se poznatim hidrauličkim metodama. Računa se za 1 m dužni konstrukcije i ima linearnu promenu sa dubinom vode. Hidrostatički pritisak deluje normalno na površinu, pa sledi iz (Sl.2.1):

- **horizontalna komponenta:**

uzvodno:
$$P_o = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2,$$

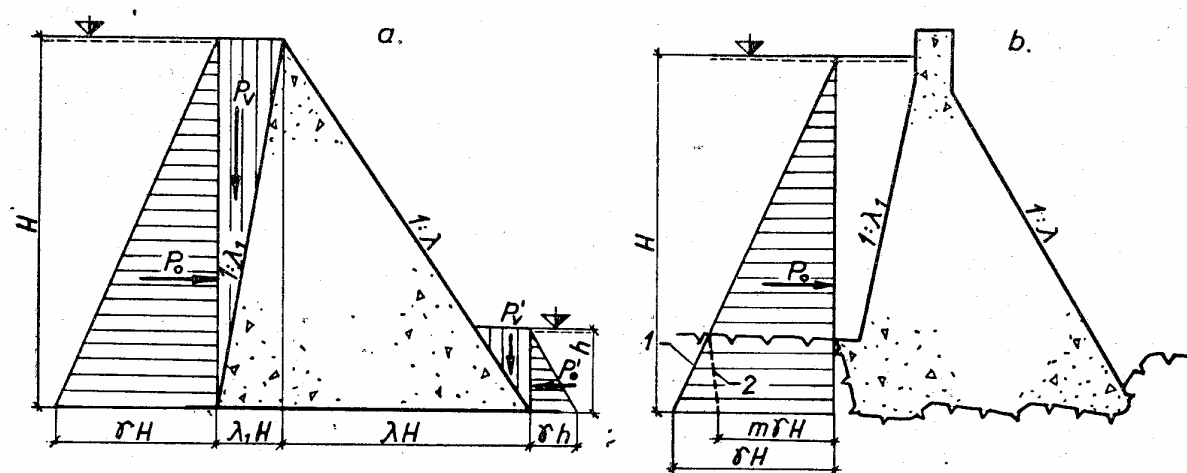
nizvodno:
$$P_o' = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2,$$

- **vertikalna komponenta:**

uzvodno:
$$P_v = \frac{1}{2} \gamma \cdot \lambda_1 \cdot H^2,$$

nizvodno:
$$P_v' = \frac{1}{2} \gamma \cdot \lambda \cdot h^2,$$

u kome se specifična težina vode uzima obično koa 1000 daN/m³.



Sl.2.1. Opterećenje usled hidrostatičkog pritiska:

a – pritisak na uzvodnom i nizvodnom licu; b – pritisak na uzvodnoj nožici; 1 – teorijska linija pritiska; 2 - realna linija pritiska.

**5.
Hidrodinamički
pritisak**

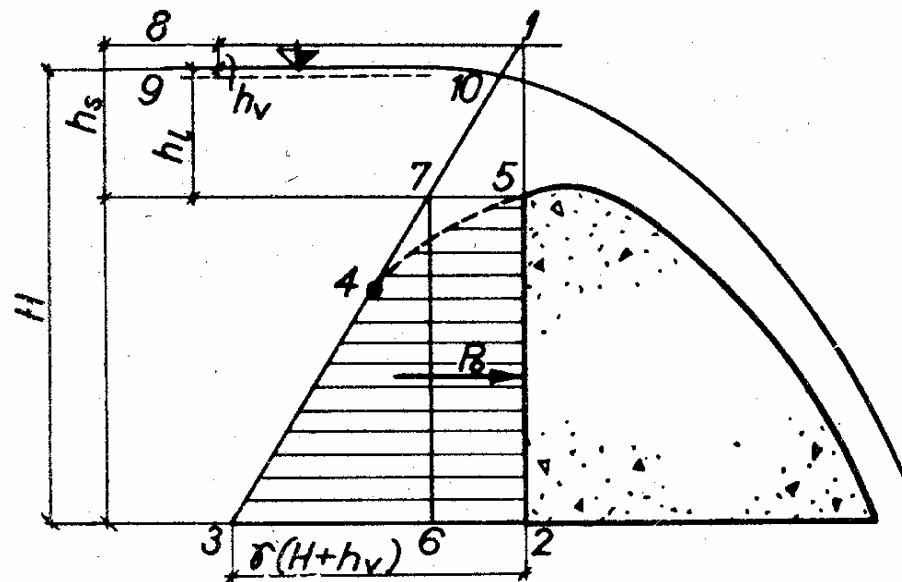
Hidrodinamički pritisak se javlja prilikom preliivanja vode preko krune preliiva. Na uzvodnom delu javlja se kao dodatni pritisak $\frac{V^2}{2g}$ koga treba uzeti u obzir. Linija 5-4-3-2 pretstavlja hidrodinamički pritisak.

Analitički izraz za proračun hidrodinamičkog pritiska:

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot [(H+h_v)^2 - h_s^2], \text{ gde je } h_v = \frac{V^2}{2g},$$

a V dolazna brzina vode u jezeru.

Dinamički pritisak je uvek veći od hidrostatičkog. Razlika hidrodinamičkog i hidrostatičkog pritiska kod visokih brana je 1 – 2%, a kod niskih brana ta razlika je značajna.



Sl.2.2. Hidrodinamički pritisak u slučaju prelivnog profila.

**6.
Uzgon – potisak**

Uzgon na površini fundamenta brane zavisi od koeficijenta vodopropusnosti, odnosno od rasporeda vodopropusnog materijala (Sl.2.3).

Na (Sl.2.3):

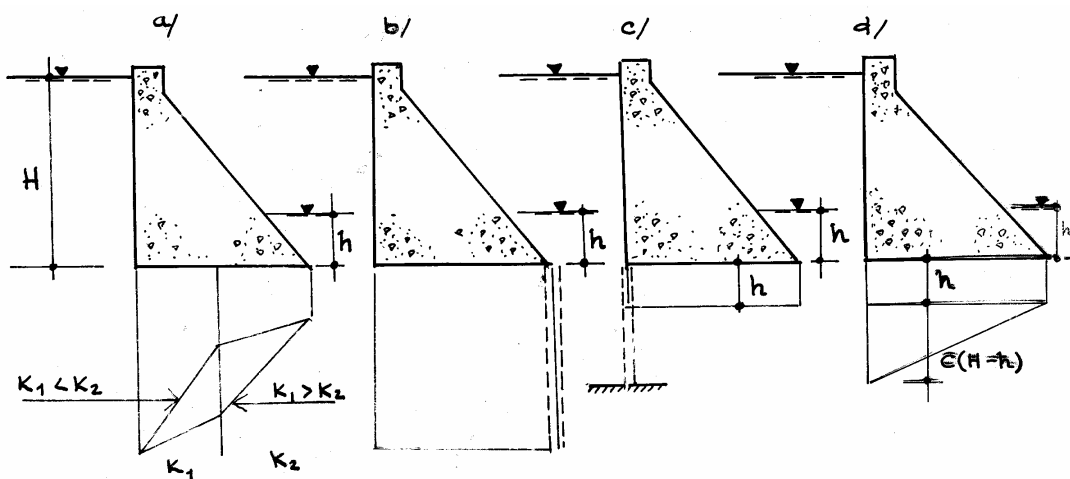
- a, dat je dijagram u različitim kombinacijama vodopropusnosti fundamenta,
- b, imamo slučaj kada je **injekciona zavesa na nizvodnom licu** (ovakav slučaj se obično ne dešava),
- c, je najpovoljniji slučaj, **injekciona zavesa je postavljena na uzvodnom licu** i završava se u vodonepropusnom sloju,

d, dat je slučaj dijagrama kada se u fundamentu nalazi drenažni sistem. Drenaža redukuje pritisak na uzvodnoj nažici. Ova redukcija je označena *koeficijentom redukcije* c .

Koeficijent redukcije c :

- **u SAD**, kod dreniranih brana $c = \frac{2}{3}$,
- **u švajcarskim normama** preporučuju linearnu raspodelu uzgona. Na uzvodnom licu uzgon je $c \cdot \gamma \cdot H$ ($c = 0.7 - 0.8$), a na nizvodnom licu uzgon je jednak nuli.
- **u Italiji i bivšem SSSR** – u, preporučuje se koeficijent redukcije u funkciji kvaliteta stene u fundamentu i visine brane:

Kod lučnih brana uzgon nema veliki uticaj. Kod brana fundiranih na stenovitom fundamentu uzgon se smanjuje povećanjem puta filtracije.



Vrsta stene u fundamentu	Visina brane		
	H < 25 m	H = 25 – 50 m	H > 50 m
• stena dobra, homogena, kompaktna i nepropusna	1/3	1/2	1
• stena dobra sa malim nedostacima	1/2	3/4	1
• loša stena, neophodno je injektiranje	2/3	1	1

7. Pritisak leda

Sila leda po Grišinu definisana je izrazom:

gde je:

- d - debljina leda u m;
- t_g - max. mogući porast temperature leda u periodu od S časova, koja se može uzeti kao $0.35 \cdot t_c$ gde je t_c porast temperature vazduha u istom vremenskom intervalu.

Zbog nedostatka direktnih merenja, u pojedinim evropskim državama usvajaju se sledeće vrednosti pritiska leda po metru debljine leda:

- **u SSSR-u**, 7 000 – 28 000 daN/m;
- **u Francuskoj**, 10 000 daN/m;
- **u Švedskoj**, 15 000 – 20 000 daN/m;
- **u Italiji**, 2 500 daN/m na svakih 10 cm debljine leda; i u Rumuniji, 10 000 daN/m.

$$P_g = 90 \cdot d \cdot (t_g + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{t_g}{S} (t_g + 1)^2} \quad [\text{daN/m}]$$

8. Pritisak talasa

U akumulacionim jezerima pod dejstvom vetra stvaraju se talasi koji izazivaju dodatni pritisak na branu iznad onog koji se stvara normalno usporeni nivo. Ukoliko je jezero veće dužine utoliko su i talasi veći. U slučaju vertikalnog uzvodnog lica ili male nagnutosti dodatni pritisak usled talasa definisan je izrazom (prema Labzovskom):

$$P_{val} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (H + 2 \cdot h + h_0) \cdot H + a - \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (\quad)$$

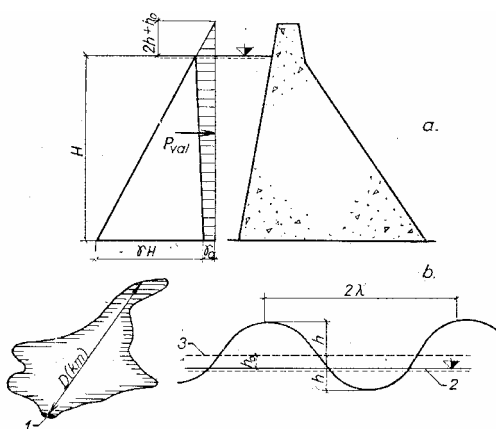
gde je (Sl.2.4):

- $2h$ - srednja visina talasa;
- h_0 - nadvišenje srednje linije talasa u odnosu na normalni nivo retenzije u jezeru: $h_0 = \frac{\pi \cdot (2h)^2}{2\lambda} \operatorname{cth} \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{2\lambda}$
- a - intezitet pritiska talasa na dubini H , na kontaktu sa terenom, fundamentom: $a = \frac{2h}{\operatorname{ch} \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{2\lambda}}$

Kod dubokih akumulacionih jezera, gde je $H \gg \lambda/2$, izrazi (2.10) i (2.11) postaju: $h_0 = \frac{\gamma \cdot (2h)^2}{2\lambda}$; $a = 0$.

Parametri talasa: visina talasa $2h$ i talasna dužina 2λ , definisani su preko izraza Labzovskog:

$$2h = 0.073 \cdot K \cdot v \cdot \sqrt{D \frac{2h}{2\lambda}}; \quad 2\lambda = 0.073 \cdot v \cdot \sqrt{D \frac{2h}{2\lambda}}; \quad \frac{2h}{2\pi} = \frac{1}{9 + 19 \cdot e^{-14/v}}; \quad K = 1 + e^{-0.4D/v}.$$



Sl.2.4. Dodatni pritisak usled pritiska talasa:

a – dijagram raspodele; b – elementi talasa; 1 – brana; 2 – nivo mirne vode; nadvišeni srednji nivo.

gde je:

- $2h$ - visina talasa u m;
- 2λ - talasna dužina u m;
- v - brzina vetra u km/č, na 10 m iznad površine jezera;
- D - dužina formiranja talasa u km;
- K - koeficijent koji vodi računa o intezitetu razvoja talasa.

Orjentaciono se može usvojiti za jezero sa površinom od:

50 km² visina talasa $h=0.50$ m;
 50 – 200 km² visina talasa $h=0.75$ m;
 više od 200 km² visina talasa $h=1.00$ m.

9.
Seizmičko
opterećenje

U seizmičkim zonama uzima se i uticaj stvoren seizmičkim pomeranjem zemljine kore. Na zemlji, zemljotres se manifestuje kao:

- **nepravilno pomeranje u prostoru;**
- **sa različitim amplitudama i**
- **različitim periodama.**

Za definiciju zemljotresa, koriste se skale inteziteta koje baziraju na:

- ***efektima stvorenim zemljotresom*** - tu spadaju: **Rossi Forel-ova skala** koja klasifikuje intezitet zemljotres u 10 stepeni i **Mercalli-jeva skala** koja klasifikuje intezitet zemljotres u 12 stepeni;
- ***registrovanim merenjima*** - tu spadaju: **Gutenberg – Richter-ova skala magnitudina** i **Hausner-ova skala spektralnog inteziteta**.

Magnitudina je definisana izrazom:

$$M = \log_{10} A$$

gde je A , amplituda u mikrosezizmima koja se određuje seizmografom sa uvećanjem od 2800 puta i sopstvenom periodom od 0.8 sek. Veza između energije zemljotresa E i magnitudine M data je izrazom:

$$\log E = 11.8 + 1.5 \cdot M \text{ [erg].}$$

Smatra se da najači zemljotres može imati magnitudinu $M = 9$. U tabeli 2.1 data je korelacija između različitih skala na bazi:

- **veličine ubrzanja zemljotresa (c), i**
- **odnosa $a = \frac{c}{g}$, odnosa ubrzanja zemljotresa i ubrzanja zemljine teže. a se zove *koeficijen seizmičnosti*.**

Proračunska seizmičnost zavisi od klase konstrukcije. Prema normama bivšeg SSSR-a koje se primenjuju u većini balkanskih zemalja data je u tabeli 2.2.

U većini zemalja za seizmički proračun brana se uzima $a = 0.1$, odnosno da je ubrzanje zemljotresa 0.981 m/s^2 . Veće vrednosti se uzimaju u zonama vrlo jakih zemljotresa.

Uticao zemljotresa u telu brane ima dinamički karakter. Za proračun uticaja zemljotresa koriste se metode koje uticaj zemljotresa posmatraju kao:

- statički problem, i
- dinamički problem.

Uticaji koji se dobijaju statičkim metodama veći su od uticaja koji se dobijaju dinamičkim metodama.

Pretpostavlja se da je brana kruto vezana za fundament i da se u telu brane javljaju inercijalne sile koje imaju suprotan smer od pravca delovanja zemljotresa.

SKALA <i>Rossi - Forel 1883</i>		Modifikovana skala Mercalli 1931, Rihter 1956		c cm/s^2	$\frac{c}{g}$	Magnitudina	Energija (erg)
I		1	ne oseća se			2	10^{14}
	mikroseizm	2	osećaju osobe u stanju odmora				10^{15}
II	ekstremno slab	3	oseća se u nutrašnjosti	10	0.01	3	10^{16}
III	vrlo slab	4	obešeni objekti osciluju			4	10^{17}
IV	slab	5	oseća se spolja	20			10^{18}
V	umereni intezitet	6	osećaju svi	30			10^{19}
VI	dosta jak	7	teško je stajati na nogama	40	0.05	5	10^{20}
VII	jak	8	ometa se vožnja automobilom	50			10^{21}
VIII	vrlo jak	9	izaziva opštu paniku	60			10^{22}
IX	ekstremno jak	10	oštećenu su zidane konstrukcije	70	0.10	6	10^{23}
X	ekstremnog inteziteta	11	šine su jako odvojene	80			10^{24}
		12	totalno uništenje	90	0.50	7	10^{25}
				1000	1.00	8	

Klasa konstrukcije	Lokalna seizmičnost			
	6	7	8	9
I	7	8	9	ne radi se
II - III	6	7	8	9
IV	6	7	7	8

Seizmička sila usled sopstvene težine brane, definisana je izrazom:
$$C_g = \frac{G}{g} \cdot c = a \cdot G \quad 2.16$$

Sila C_g deluje u težištu mase poprečnog profila.

Pravac delovanja zemljotresa može biti horizontalan u svim pravcima i vertikalno, zavisno od pravca ubrzanja zemljotresa.

Na veličinu seizmičke sile utiče i priroda terena na kome je brana fundirana, odnosno:
$$C_g = \alpha \cdot a \cdot G$$

(2.17)

α zavisi od vrste fundamenta, ako je teren:

- stenovit, zdrav..... $\alpha = 0.5$;
- peskovit, zemljan, slab..... $\alpha = 2.0$.

Kod vitkih konstrukcija, i masivnih visokih brana, seizmička sila se povećava za 30 do 50%.

Seizmička sila stvorena masom vode u jezeru. Ovu silu je definisao Westergard, (Sl.2.5):

- **parabolična raspodela:** $p_c = a \cdot C_p \cdot \sqrt{H \cdot z}$; $C_a = \frac{2}{3} \cdot a \cdot C_p \cdot H^2$; $C_p = \frac{817}{\sqrt{1 - \frac{7.75}{10^6} \left(\frac{H}{T}\right)^2}} \text{ [daN/m}^3\text{]}, \quad (2.18)$

- **eliptična raspodela:** $p_c = a \cdot C_e \cdot \sqrt{z \cdot (2 \cdot H - z)}$; $C_a = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot C_e \cdot H^2$; $C_p = \frac{654}{\sqrt{1 - \frac{7.75}{10^6} \left(\frac{H}{T}\right)^2}} \text{ [daN/m}^3\text{]} \quad (2.19)$

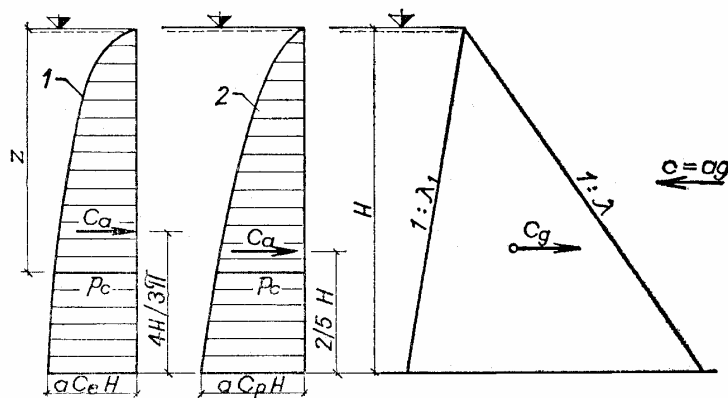
U izrazima (2.18) i (2.19) korišćene su sledeće oznake:

- C_a - ukupni dodatni pritisak usled zemljotresa, rezultanta (daN/m);
- C_p, C_e - koeficijenti koji imaju dimenzije specifične težine (daN/m³);
- H - visina brane (m);
- T - period seizmičnih vibracija (sek).

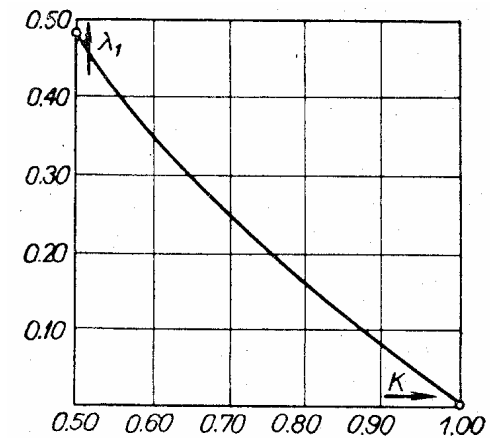
Za brane srednje visine može se uzeti dovoljno tačno, da je: $C_p = 830 \text{ daN/m}^3$; $C_e = 660 \text{ daN/m}^3$

U slučaju nagnutosti uzvodnog lica, seizmička sila mase vode se redukuje koeficijentom K : $p_c = K \cdot a \cdot C_p \cdot \sqrt{H \cdot z} \quad (2.20)$

Koeficijent redukcije K dat je na (Sl.2.6).



Sl.2.5. Dodatni pritisak vode usled zemljotresa:
1 – eliptična raspodela; 2 – parabolična raspodela



Sl.2.6. Promene kefcijenta redukcije K sa uzvodnim nagibom λ_1 .