Sc Milisav Jakovljević,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

STATIČKA ZAKRIVLJENOST CEVI ARTILJERIJSKOG ORUĐA

UDC: 623.423.012

Rezime:

U radu su prikazani različiti modeli i metode analitičkog određivanja statičke zakrivljenosti cevi. Tabelarno su prikazani uporedni rezultati ugiba i ugla nagiba za jednu cev artiljerijskog oruđa, dobijeni primenom različitih metoda i modela analitičkog rešenja. Na osnovu analize dobijenih rezultata predložena je metoda sa modelom analitičkog rešenja koja daje rezultate najbliže stvarnim vrednostima.

Ključne reči: cev artiljerijskog oruđa, statička zakrivljenost, ugib, ugao nagiba.

STATIC CURVATURE OF AN ARTILLERY TUBE

Summary:

Different model and methods of a tube static curvature analytical determination are presented. The results of the bending and the deflection angle of an artillery tube, obtained by different methods and analytical solution models, are compared in a tabelar way. Based on the analysis of obtained results, the method with the analytical solution model is proposed, its results being the closest to the real values.

Key words: artillery tube, static curvature, bending, deffection angle.

Uvod

Cevi artiljerijskih oruđa, s obzirom na moguća konstruktivna rešenja, karakterišu relativno velike gabaritne dimenzije, velika ukupna masa, neravnomeran raspored mase duž cevi i promenljive veličine poprečnog preseka. Pored toga, iz funkcionalnih razloga na cev se ugrađuje gasna kočnica, ejektorski uređaj, navlaka i sl.

Zbog relativno velike dužine i mase cevi i ugrađenih delova javlja se statička zakrivljenost cevi.

Zakrivljenost usled statičkog opterećenja, kao i konstruktivna zakrivljenost neizbežne su za svaku projektovanu cev datih konstruktivnih karakteristika i mogu bitno uticati na

iznos odskočnog ugla γ u vertikalnoj ravni (ravan gađanja).

Konstruktivna zakrivljenost određuje se merenjem i u zavisnosti od njene veličine može se, u većoj ili manjoj meri, kompenzirati statičkom zakrivljenošću.

Za razliku od ugla γ_p koji nastaje usled konstruktivne zakrivljenosti kanala cevi i koji se ne može unapred matematički odrediti, veličina ugla γ_q koji nastaje kao posledica statičke zakrivljenosti cevi zbog sopstvene mase i mase delova i uređaja pričvršćenih za cev može se izračunati primenom odgovarajućih modela oblika i metoda proračuna.

Ako se realno izvedena cev definiše preko mehaničkog modela (tipa gre-

de, konzole i sl.) za koji postoje, pod određenim pretpostavkama, tačna analitička rešenja, postavlja se pitanje koji od primenjenih modela, oblika i metoda proračuna daje dovoljno pouzdane i tačne rezultate.

Cilj ovog rada jeste da se ukaže na moguće načine analitičkog određivanja ugiba i ugla nagiba cevi za usvojeni model oblika cevi, i kroz primer ilustruju dobijeni rezultati. Analizom dobijenih rezultata, predlaže se metoda i relacije koje tačnije opisuju pojavu i daju verodostojnije rezultate. Ideja za ovakav pristup proistekla je iz činjenice da se u razmatranju ovog problema u široj literaturi susreću relacije i izrazi izvedeni sa različitim pretpostavkama u opisu problema.

Određivanje statičkog ugiba i ugla nagiba cevi

Pri određivanju statičkog ugiba i ugla nagiba cevi, koji nastaju kao posledica elastičnog savijanja usled sopstvene mase i koncentrisane sile, cev se posmatra kao greda sa prepustom kontinualno opterećena po čitavoj dužini sa ili bez koncentrisane sile na ustima cevi. U rešavanju problema koriste se poznate metode iz otpornosti materijala.

Prvi i najjednostavniji način jeste da se ukupna masa cevi ravnomerno rasporedi po čitavoj dužini, tj. poprečni presek cevi je konstatovan [1, 2, 3, 4].

Drugi način je da se ukupna masa cevi deli na deo koji se oslanja na kolovku (prosta greda) i deo od prednjeg oslonca do usta cevi (prepust).

I u ovom slučaju mase su ravnomerno raspoređene duž cevi, s tom razlikom što duž proste grede veličina poprečnog preseka ima jednu vrednost, a duž prepusta drugu vrednost [5].

Treći način je da se umesto kontinualnog opterećenja uzimaju koncentrisane sile koje deluju u središtu mase proste grede i središtu mase konzole. Poprečni presek proste grede je konstantan, a za poprečni presek konzole uzima se njegoa srednja vrednost.

Četvrti način je sličan drugom. Razlika je u tome što se za konzolni deo cevi uzima da je poprečni presek promenljiv duž cevi. Pri tome je unutrašnji prečnik cevi konstantan, a spoljni se linearno smanjuje duž cevi.

Peti način je segmentalni. Cev se deli na više segmenata i, zavisno od oblika, može da bude sa konstantnim ili promenljivim poprečnim presekom. U slučaju velikog broja segmenata, umesto analitičkog načina rešenja, može se koristiti neka od numeričkih metoda.

S obzirom na to da je rešenje diferencijalne jednačine elastične linije, koje se dobija u prva tri slučaja, lako, a izrazi za ugib i ugao nagiba relativno jednostavni, u postojećoj literaturi se daju i koriste.

U ovom radu, pored opšteg načina rešenja za slučaj konstantnog po-

Sl. 1 — Cev artiljerijskog oruđa

prečnog preseka, prikazan je i način određivanja elastične linije za promenljiv poprečni presek (koji je realniji s obzirom na konstruktivno rešenje cevi).

Za ilustraciju problema razmatra se cev artiljerijskog oruđa oslonjena na kolevku preko dva oslonca (slika 1).

Usvaja se da je koordinatni početak na sredini zadnjeg oslonca sa pozitivnim pravcem ose z prema ustima cevi. Pretpostavlja se da je cev između oslonca A i B konstantnog poprečnog preseka. Deo cevi od oslonca B do usta cevi (tačka C) posmatra se dvojako: u prvom slučaju, cev je sa konstantnim poprečnim presekom, a u drugom sa promenljivim poprečnim presekom. Na ustima cevi je gasna kočnica čija je masa m_{gk} . Na mestima oslonca cevi na kolevku postoje zazori Δ_1 i Δ_2 .

OPŠTI NAČIN REŠENJA ZA CEV KONSTANTNOG POPREČNOG PRESEKA

Cev se analizira kao greda sa pre-pustom, opterećena ravnomerno pode-ljenim opterećenjem q i silom F na kraju prepusta (slika 2).

Sl. 2 — Greda sa prepustom

Radi lakšeg određivanja elastične linije, greda sa prepustom se seče u osloncu B, pa se dobija prosta greda AB i konzola BC. Uticaj desnog dela

(prepusta) grede na prostu gredu AB zamenjuje se silom F_B i momentom M_B .

$$F_B = F + q \cdot l$$

$$M_B = F \cdot l + \frac{q \cdot l^2}{2}$$

Uticaj levog dela na desni zamenjuje se silom F_B i momentom M_B suprotnog smera. Na taj način dobija se prosta greda AB opterećena kontinualnim opterećenjem q po čitavoj dužini, momentom M_B i silom F_B na desnom osloncu i konzola opterećena kontinualnim opterećenjem q , silom F na slobodnom kraju, momentom M_B i silom F_B na mestu ukleštenja (slika 2).

Kako sila F_B ne utiče na savijanje grede (deluje na mestu oslonca) njeno dejstvo se ne uzima u obzir, pa ostaje slučaj proste grede opterećene kontinualnim opterećenjem po čitavoj dužini i momentom na mestu oslonca. Kod konzole, na mestu ukleštenja nema savijanja, pa se izostavlja delovanje momenta M_B i sile F_B . Tako ostaje samo kontinualno opterećenje po čitavoj dužini i sila na kraju konzole (slika 3).

Kao što je prikazano na slici 3, za određivanje ugiba i ugla nagiba elastične linije može se analizirati svako opterećenje posebno, a zatim algebarski sabrati ugibi i uglovi nagiba svakog opterećenja.

U slučaju opterećenja proste grede i konzole (slika 3), pod pretpostavkom da je krutost ($B=EI$) konstantna, izrazi za određivanje ugiba i ugla nagiba lako se određuju [5 i 6].

Kod proste grede na mestima oslonca ugib je jednak nuli, a uglovi nagiba tangente elastične linije su:

— od kontinualnog opterećenja

$$\gamma_A^q = \frac{q l_0^3}{24EI} \quad (1)$$

$$\gamma_B^q = - \frac{q l_0^3}{24EI} \quad (2)$$

Sl. 3 — Ugib i ugao nagiba
a — grede, b — konzole

— od momenta

$$\gamma_A^{M_B} = - \frac{M_B \cdot l_0}{6 EI} \quad (3)$$

$$\gamma_B^{M_B} = \frac{M_B \cdot l_0}{3 EI} \quad (4)$$

Kod konzole na mestu ukleštenja ugib i ugao nagiba jednaki su nuli, a na kraju konzole uglovi nagiba tangente elastične linije su:

— od kontinualnog opterećenja

$$\gamma_c^q = \frac{q l^3}{6 EI} \quad (5)$$

— od sile

$$\gamma_c^F = \frac{F \cdot l^3}{3 EI} \quad (6)$$

a ugib je:

— od kontinualnog opterećenja

$$f_c^q = \frac{q l^4}{8 EI} \quad (7)$$

— od sile

$$f_c^F = \frac{F \cdot l^3}{3 EI} \quad (8)$$

gde je:

E — modul elastičnosti,

I — momenat inercije.

Ukupan ugao nagiba slobodnog kraja grede sa prepustom dobija se zbirom izraza (2), (4), (5) i (6):

$$\gamma = \gamma_B^q + \gamma_B^M + \gamma_c^q + \gamma_c^F \quad (9)$$

Ukupan ugib slobodnog kraja grede sa prepustom dobija se ako se zbiru ugiba konzole od sile F i kontinualnog opterećenja q, tj. izrazima (7) i (8), doda ugib koji nastaje usled ugla nagiba grede u osloncu B, jer prepust predstavlja elastično uklještenu konzolu:

$$f = f_c^q + f_c^F + (\gamma_B^q + \gamma_B^{M_B}) \cdot l \quad (10)$$

REŠENJE ZA CEV SA PROMENLJIVIM POPREČNIM PRESEKOM

Linearna promena spoljnog prečnika cevi

Kao i u prethodnom slučaju, cev se posmatra kao greda sa prepustom kod koje je poprečni presek između oslonca A i B nepromenljiv, a deo cevi od oslonca B do usta cevi (tačka C) ima promenljiv poprečni presek. Pretpostavlja se da je unutrašnji prečnik cevi d nepromenljiv duž cevi, a da se spoljni prečnik linearno smanjuje od vrednosti D_0 do D_u (slika 4). U postupku određivanja ugiba i ugla nagiba cevi, kao i u prethodnom slučaju, cev se deli na dva dela — prostu gredu i konzolu.

Sl. 4 — Konzolni deo cevi

Za određivanje nagiba proste grede na mestu B koriste se izrazi (2) i (4). Vrednost napadnog momenta M_B , zbog uticaja mase konzole i sile na njenom kraju, iznosi:

$$M_B = F \cdot l + m_k \cdot g \cdot l_q = F \cdot l + \frac{\pi \cdot \gamma_T \cdot l^2}{12}$$

$$[(R_0 - R_u)^2 + 2(R_u^2 - r^2) - 4r^2]$$

gde je:

m_k — masa konzolnog dela cevi,

l_q — rastojanje središta mase konzolnog dela cevi od oslonca B,

γ_T — specifična težina cevi.

Ugib i ugao nagiba konzolnog dela cevi, čiji je poprečni presek promenljiv (slika 4) određuje se kao zbir ugiba i ugla nagiba usled dejstva sile F i sopstvene mase.

Ugib i ugao nagiba usled dejstva sopstvene mase

U opštem slučaju, diferencijalna jednačina elastične linije konzole opterećene kontinualnim opterećenjem je četvrtog stepena i na mestu preseka z iznosi:

$$y^{IV}(z) = \frac{d^4 y}{dz^4} = \frac{q_z}{EI_z} \quad (11)$$

Za promenljiv poprečni presek konzole momenat inercije je promenljiv i na mestu preseka z iznosi:

$$I_z = \frac{(R_z^4 - r^4) \pi}{4} \quad (12)$$

pri čemu je veličina poluprečnika

$$R_z = R_0 - (R_0 - R_u) \frac{z}{l} \quad (13)$$

Veličina kontinualnog opterećenja, usled sopstvene mase za jedinicu dužine na mestu preseka z je:

$$q_z = (R_z^2 - r^2) \cdot \pi \cdot \gamma_T \quad (14)$$

Ako se u izraz (11) uvrste izrazi (12), (13) i (14) dobija se:

$$y^{IV}(z) = \frac{4 \cdot \gamma_T}{(R_z^2 + r^2) \cdot E} \quad (15)$$

U izrazu (15) umesto promenljive z javlja se nova promenljiva R_z čija je veza data relacijom (13) i za koju vredi odnos:

$$dR_z = - \frac{R_0 - R_u}{l} \cdot dz \quad (16)$$

Integraljenjem izraza (15) i određivanjem integracionih konstanti iz uslova da su na mestu ukleštenja $z = 0$, tj. $R_z = R_0$, ugib i ugao nagiba jednaki nuli, dobijaju se izrazi za ugib i ugao nagiba na kraju konzole:

— ugao nagiba je

$$\gamma_c^q = y' = \frac{2 \gamma_T \cdot l^3}{E \cdot r (R_0 - R_u)^3} \cdot [(R_0^2 - r^2) \cdot r \cdot \frac{R_0 - R_u}{r^2 + R_0 R_u} - R_0 \cdot r \cdot \ln \frac{R_0^2 + r^2}{R_u^2 + r^2} + r (R_0 - R_u)] \quad (17)$$

— ugib je

$$f_c^q = y = \frac{\gamma_T \cdot l^4}{3E \cdot r (R_0 - R_u)^4} \{ [4R_0^3 - 6R_u (R_0^2 - r^2)] \cdot r \cdot \frac{R_0 - R_u}{r^2 + R_0 R_u} - [r^3 + 3R_0 \cdot r (R_0 - 2R_u)] \cdot \ln \frac{R_0^2 + r^2}{R_u^2 + r^2} + r (R_0 - R_u) (R_0 - 5R_u) \} \quad (18)$$

Ugib i ugao nagiba usled dejstva koncentrisane sile

Diferencijalna jednačina elastične linije na preseku z za konzolu opterećenu silom F na kraju je:

$$y''(z) = \frac{F(l-z)}{EIz} \quad (19)$$

Ako se uzmu u obzir relacije (12), (13) i (16) i izvrši integraljenje, a iz graničnih uslova odrede konstante integracije, dobiće se jednačine ugiba i ugla nagiba.

Za kraj konzole:

— ugao nagiba je

$$\gamma_c^F = y' = \frac{F \cdot l^2}{E \cdot \pi \cdot r^3 (R_0 - R_u)^2} [r \cdot \ln \frac{(R_u^2 + r^2) (R_0^2 - r^2)}{(R_u^2 - r^2) (R_0^2 + r^2)} - R_u \cdot$$

$$\cdot \ln \frac{(R_u + r) (R_0 - r)}{(R_u - r) (R_0 + r)} + 2R_u \cdot r \frac{R_0 - R_u}{r^2 + R_0 R_u}] \quad (20)$$

— ugib je

$$f_c^F = y = \frac{F \cdot l^3}{E \cdot \pi \cdot r^3 (R_0 - R_u)^3} [2R_u \cdot r \cdot \ln \frac{(R_u^2 - r^2) (R_0^2 + r^2)}{(R_u^2 + r^2) (R_0^2 - r^2)} - (R_u^2 + r^2) \cdot \ln \frac{(R_u - r) (R_0 + r)}{(R_u + r) (R_0 - r)} - 2(R_u^2 - r^2) \cdot r \cdot \frac{R_0 - R_u}{r^2 + R_0 R_u}] \quad (21)$$

Ukupan ugao nagiba slobodnog kraja grede sa prepustom, gde je prepust sa promenljivim poprečnim presekom, dobija se isto kao i za gredu sa konstantnim poprečnim presekom, tj. ako se u izraz (9) uvrste vrednosti izraza (2), (4), (17) i (20), odnosno u izraz (10) vrednosti izraza (2), (4), (18) i (21).

Stepenasta promena spoljašnjeg prečnika cevi — segmentni oblik

Iz konstruktivnih razloga unutrašnji prečnik i spoljašnji prečnik cevi duž ose kanala su promenljivi.

Unutrašnji prečnik duž ležišta metka najčešće je konstantan ili sa blagom linearnom promenom. Na mestu prelaznog konusa linearno se smanjuje da bi duž vodišta projektila zadržao konstantnu vrednost. Spoljašnji prečnik cevi je, najčešće, na prvom delu konstantan, a zatim se prema ustima cevi kontinualno ili skokovito smanjuje. Zbog toga je pri određivanju statičke zakrivljenosti cevi potrebno izdeliti cev na segmente, a zatim, zavisno od broja segmenata, problem rešiti analitički ili numerički.

Za ilustraciju analitičkog rešenja može poslužiti cev prikazana na slici 5.

Pri određivanju ugiba i ugla nagiba ovakve grede analizira se svaki seg-

Sl. 5 — Segmentni oblik cevi artiljerijskog oruđa

Ovakva cev može se prikazati kao greda sa prepustom, podeljena na četiri karakteristična segmenta (slika 6).

ment pojedinačno, određuje se njihov ugib i ugao nagiba, a zatim se sabiraju, vodeći računa o međusobnoj vezi i uti-

Sl. 6 — Segmentni oblik grede sa prepustom

caju svakog segmenta na gredu kao celinu. U konkretnom slučaju ugao nagiba na kraju prepusta (tačka E) određuje se izrazom:

$$\gamma = \gamma_E + \gamma_D + \gamma_C + \gamma_B \quad (22)$$

gde je:

$$\gamma_E = \gamma_E^F + \gamma_E^{q_3}$$

— ugao nagiba segmenta DE na mestu E usled dejstva sile F i opterećenja q_3

$$\gamma_D = \gamma_D^{F_D} + \gamma_D^{M_D} + \gamma_D^{q_2}$$

— ugao nagiba segmenta CD na mestu D usled dejstva sile F_D , momenta M_D i opterećenja q_2

$$\gamma_C = \gamma_C^{F_c} + \gamma_C^{M_c} + \gamma_C^{q_1}$$

— ugao nagiba segmenta BC na mestu C usled dejstva sile F_c , momenta M_c i opterećenja q_1

$$\gamma_B = \gamma_B^{q_u} + \gamma_B^{M_B}$$

— ugao nagiba segmenta AB na mestu B usled dejstva momenta M_B i opterećenja q_0

Ugib na kraju prepusta određuje se izrazom:

$$f = f_E + f_D + f_c + \gamma_B (l_1 + l_2 + l_3) + \gamma_c (l_2 + l_3) + \gamma_D \cdot l_3 \quad (23)$$

gde je:

$$f_E = f_E^F + f_E^{q_3}$$

— ugib segmenta DE na mestu E usled dejstva sile F i opterećenja q_3

$$f_D = f_D^{F_D} + f_D^{M_D} + f_D^{q_2}$$

— ugib segmenta CD na mestu D usled dejstva sile F_D , momenta M_D , i opterećenja q_2 .

$$f_c = f_c^{F_c} + f_c^{M_c} + f_c^{q_1}$$

— ugib segmenta BC na mestu C usled dejstva sile F_c , momenta M_c i opterećenja q_1 .

Način određivanja ugiba i ugla nagiba svakog segmenta za pojedine slučajeve opterećenja objašnjen je u prethodnom delu rada osim za segmente BC i CD koji su prikazani kao konzola opterećena momentom na kraju konzole.

Za segment BC sa konstantnim momentom inercije duž segmenta ($I_1 = \text{const.}$) koji je opterećen momentom M_c na kraju, izraz za ugao nagiba je:

$$\gamma_c^{M_c} = \frac{M_c \cdot l_1^2}{EI_1} \quad (24)$$

a za ugib:

$$f_c^{M_c} = \frac{M_c \cdot l_1}{EI_1} \quad (25)$$

Za segment CD koji predstavlja konzolu sa promenljivim momentom inercije ($I \neq \text{const.}$) i opterećen momentom M_D na kraju konzole, ugib i ugao nagiba određuju se na sledeći način.

Polazeći od oznaka na slici 4 i uzimajući u obzir da je na kraju konzole umesto sile F momenat M_D , može se napisati da je diferencijalna jednačina elastične linije drugog stepena na mestu preseka z:

$$y''(z) = - \frac{M_z}{EI_z} \quad (26)$$

Ako se uzme u obzir da je $M_z = -M_D$, kao i relacije (12), (13) i (16), dobiće se diferencijalna jednačina pogodna za integraljenje. Polazeći od graničnih uslova za konzolu i određivanjem integracionih konstanti dobijaju se jednačine za ugib i ugao nagiba na kraju konzole:

— ugao nagiba je

$$\gamma_D^{M_D} = y' = \frac{M_D \cdot l}{E \cdot \pi \cdot r^3 (R_o - R_u)} \left[\ln \frac{(R_u + r)(R_o - r)}{(R_u - r)(R_o + r)} - 2 \cdot r \frac{R_o - R_u}{r + R_o R_u} \right] \quad (27)$$

— ugib je

$$f_D^{M_D} = y = \frac{M_D \cdot l^2}{E \cdot \pi \cdot r^3 (R_o - R_u)^2} \left[r \cdot \ln \frac{(R_u^2 + r^2)(R_o^2 - r^2)}{(R_u^2 - r^2)(R_o^2 + r^2)} - R_u \ln \frac{(R_u + r)(R_o - r)}{(R_u - r)(R_o + r)} + 2 R_u \cdot r \frac{R_o - R_u}{r^2 + R_o R_u} \right] \quad (28)$$

Bez obzira na način određivanja ugiba i ugla nagiba, izrazi po kojima se određuju njihove vrednosti važe u slučaju kad je težište cevi iza prednjeg oslonca, tj. između tačaka A i B. U slučaju kada je težište cevi ispred prednjeg oslonca treba uzeti u obzir postojanje zazora na mestu oslonca A. U tom slučaju maksimalni ugao nagiba cevi je

$$\gamma_{\max} = \gamma + \frac{\Delta_1}{l_o} \quad (29)$$

a maksimalni ugib cevi je

$$f_{\max} = f + \frac{\Delta_1 \cdot l}{l_o} \quad (30)$$

Rezultati proračuna

Za ilustraciju dobijenih ugiba i ugla nagiba usta cevi uzeta je cev čiji je osnovni oblik prikazan na slici 5, a vrednost osnovnih dimenzija u tabeli 1.

Masa gasne kočnice je $m_{gk} = 150$ kg, a zazor na mestu oslonca A je $\Delta_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m. Specifična težina čelika od kojeg je izrađena cev je $\gamma_T = 7,85 \cdot 10^4 \frac{N}{m^3}$, a modul elastičnosti je $E = 21,6 \cdot 10^{10} \frac{N}{m^2}$.

Vrednost ugiba i ugla nagiba cevi određivana je na svih pet opisanih načina. Proračun je rađen na osnovu programskog rešenja pomoću računara, a rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2

Ugao nagiba i ugib cevi

Način proračuna	γ	$\gamma_{\max}$	f	$f_{\max}$
	$10^{-3}(\text{rad})$	$10^{-3}(\text{rad})$	$10^{-3}(\text{m})$	$10^{-3}(\text{m})$
I	1,59	2,59	5,53	9,93
II	1,92	2,92	6,23	10,63
III	1,33	2,33	4,58	8,98
IV	1,71	2,71	4,94	9,34
V	1,26	2,26	3,78	8,18

Dobijene vrednosti ugiba i ugla nagiba (prikazane u tabeli 2) dovoljno jasno govore da nije svejedno na koji način se vrši proračun i određuju vrednosti ugiba i nagiba cevi.

Tabela 1

Dimenzije cevi

d	d ₀	D ₀	D ₁	D ₂	l ₀	l ₁	l ₂	l ₃
(mm)								
155	162	320	260	203	1500	1400	2600	400

S obzirom na to da se za jednu konkretnu cev u postupku rešenja mogu koristiti različiti modeli sa različitim pretpostavkama i pojednostavljenjima, to su i razlike u rezultatima proračuna logične.

Kako je model segmentne grede u petom načinu proračuna najbliži stvarnom izgledu cevi i rezultati proračuna su najbliži stvarnim vrednostima.

Na veličinu ugiba i ugla nagiba značajno utiče zazor u osloncima cevi. U ilustrovanom primeru, zbog postojanja zazora, vrednost ugiba je povećana od 71% do 116%, a ugla nagiba 52% do 79%, zavisno od načina proračuna.

Zaključak

Komponenta odskočnog ugla γ_q koja nastaje zbog zakrivljenosti cevi usled sopstvene mase i mase uređaja

ugrađenih na cev je značajna. Kako se komponenta odskočnog ugla γ_p , koja nastaje kao posledica konstruktivne zakrivljenosti, može kompenzirati dejstvom sopstvene mase, a uticaj rezultirajuće statičke zakrivljenosti otkloniti rektifikacijom ili uzimanjem u obzir njene vrednosti u toku samog nišanja, neophodno je da se što tačnije odredi vrednost ugiba i ugla nagiba cevi.

Kao metodu proračuna treba koristiti onu koja u postupku definisanja problema najvernije opisuje stvarni proces.

Navedeni model za segmentni oblik cevi, koji uzima u obzir geometrijski oblik cevi, omogućuje da se sa dovoljnom tačnošću odrede veličine ugiba i ugla nagiba cevi.

Literatura:

- [1] Orlov, B. V., Larman, E. K., Malikov, V. G.: *Ustrojstvo i projektovanje strolov artiljerijskih orudii*, Mašinstroenie, Moskva, 1976.
- [2] Milosavljević, M.: *Konstrukcija i proračun cevi i zatvarača artiljerijskih oruđa — Teorijske osnove*, Beograd, 1985.
- [3] Kalezić, M.: *Projektovanje cevi artiljerijskih oruđa*, — Primeri proračuna, Beograd, 1985.
- [4] Ristić, Z.: *Uticaj statičkog i dinamičkog progiba cevi artiljerijskih oruđa na odskočni ugao*, VTG, Beograd, 3/1989.
- [5] Toločkov, A. A.: *Teorija lafetov artiljerijskih ustanovak*, Moskva, 1960.
- [6] Pavelić, V.: *Tehnologija proizvodnje naoružanja*, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [7] Rašković, D.: *Otpornost materijala*, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [8] Čukić, R., Ružić, D.: *Otpornost materijala*, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.