

# Određivanje elemenata gađanja raketnih bacača iz kose ravni i ugla poprečnog zakretanja i njišuće nišanske sprave

Mr Dragoslav Nikolić, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Za savremene raketne bacače kojima se gađanje vrši bez nivelisanja, neposredno sa zaposnutih vatrenih položaja, izvedeni su izrazi za određivanje elemenata gađanja iz kose ravni, korišćenjem poznatih nagiba oruđa duž dve upravne ose prema horizontu i elementa gađanja iz horizontalne ravni. Uporedo sa tim, za manje raketne bacače koji nemaju davače za merenje nagiba kulevke prema horizontu, ni uređaje za nivelisanje, već se usmeravanje cevi s koso zaposnute ravni vatrenog položaja vrši, tzv. njišućom nišanskom spravom, izveden je izraz za izračunavanje ugla poprečnog zakretanja njišuće nišanske sprave.

*Ključne reči:* Raketni bacač, vatreni položaj, elementi gađanja, nivelisanje oruđa, kulevka oruđa, njišuća nišanska sprava.

## Korišćene oznake i simboli

$\xi$	– azimut oruđa (kulevke), azimut vertikalne ravni kroz uzdužnu osu kulevke (oruđa) u polaznom položaju,	$Ox'_1$	– osa pomenjena od ose $Ox_2$ za ugao $\psi_1$ u kosoj ravni
$\xi_n$	– azimut vertikalne ravni kroz uzdužnu osu pokretnog dela kulevke $Ox'_1$ ,	$Oy'_2$	– osa upravna na osu $Ox'_1$ kosoj ravni,
$\Psi$	– računski vrednost ugla pomenanja oruđa po pravcu u horizontalnoj ravni,	$\varepsilon_1$	– nagib ose $Ox_2$ prema horizontu,
$\psi_n$	– vrednost ugla $\psi$ posle pomenanja oruđa za ugao $\psi_1$ ,	$\varepsilon_{1n}$	– nagib ose $Ox'_1$ prema horizontu,
$\psi_1$	– ugao pomenanja oruđa po pravcu u kosoj ravni,	$\varepsilon_2$	– nagib ose $Oy_2$ prema horizontu,
$\psi_{1h}$	– ugao između vertikalnih ravni kroz ose $Ox$ i $Ox'_1$ ,	$\varepsilon_{2n}$	– nagib ose $Oy'_2$ prema horizontu,
$\theta$	– ugao elevacije oruđa iz horizontalne ravni,	$\varepsilon$	– ugao koji obrazuje vertikalna ravan između ose $Ox'$ i kose ravni,
$\theta_1$	– ugao elevacije oruđa iz kose ravni,	$\beta$	– ugao zakretanja (njihanja) njišuće nišanske sprave,
$Oxyz$	– koordinatni sistem vezan za kulevku oruđa kada se ova nalazi u horizontalnoj ravni,	$\rho$	– jedinični vektor iz središta kulevke paralelan osama cevi (ili staza) lansera,
$Ox$	– uzdužna osa kulevke (oruđa) kada se nalaze u horizontalnoj ravni,	$\varphi$	– pomoćni ugao između osa $Oy$ i $Oy_2$ .
$Ox'$	– osa pomenjena od ose $Ox$ za ugao $\psi$ u horizontalnoj ravni,		
$Oy$	– poprečna osa kulevke (oruđa) u horizontalnoj ravni,		
$Oz$	– vertikalna osa kulevke (oruđa), (okrenuta prema dole),		
$h = -z$	– visina		
$Ox_2y_2z_2$	– koordinatni sistem vezan za kulevku oruđa kada se kulevka nalazi u kosoj ravni		
$Ox_2$ $\text{a}$ $Ox_1$	– uzdužna osa kulevke nagnuta prema horizontu za ugao $\varepsilon_1$ u vertikalnoj ravni kroz osu $Ox$ ,		
$Oy_2$	– poprečna osa kulevke nagnuta prema horizontu za ugao $\varepsilon_2$ ,		

## Uvod

POSADJE, sa ranijim rešenjima višecevnih raketnih bacača, po zaposedanju vatrenog položaja i oslanjanju oruđa na stope, vršile su istovremeno i nivelisanje oruđa, tj. dovođenje kulevke oruđa u vodoravan položaj iz koga je, potom, oruđe pomoću nišanskih sprava usmeravano po pravcu i kvadranta ili drugih uređaja po elevaciji. Pre toga morali su topografi ili obučene nišandžije odrediti merenjima i izračunavanjem koordinate vatrenog položaja, azimut ravni gađanja (za poznate koordinate cilja) i azimute repnih ili nišanskih tačaka. Za ovo je bilo potrebno određeno vreme da se, od trenutka dolaska posade sa oruđem na vatreni položaj, oruđe dovede u stanje bojeve gotovosti, što je stvaralo veću mogućnost neprijatelju da otkrije oruđe na vatrenom položaju, kao i smanjivalo brzinu i iznenadnost dejstva. Iz ovih razloga danas postoje rešenja koja omogućavaju da se odmah po dolasku na vatreni položaj sa kose (zaposnute) ravni, po završetku

<sup>1)</sup> Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

oslanjanja (utvrđivanja) oruđa na stope ili gusenice i izračunavanju elementa gađanja pomoću podataka dobijenih sa davača, automatski zauzmu elementi gađanja i potom otvori vatra.

Za ostvarenje opisanog, danas su oruđa raketnih bacača snabdevena savremenim mernim i računarskim uređajima, koji po dolasku vozila na vatreni položaj i utvrđivanju na stope ili gusenice, omogućavaju da se odmah, iz izmerenih nagiba (davača) uzdužne i poprečne ose kolevke (odnosno oruđa) prema horizontu, izmerenog azimuta vertikalne ravni kroz uzdužnu osu oruđa ili kulevke, izmerenih koordinata vatrene položaja, zadatih koordinata cilja i prethodno izmerenih i učitanih meteoroloških podataka, izračunavaju elementi gađanja po pravcu i elevaciji iz horizontalne i kose ravni, prosleđuju izvršnim organima za zauzimanje elemenata gađanja, i potom otvara vatra.

Za potrebe izvršavanja napred opisanog, u ovom radu su izvedeni izrazi za izračunavanje elemenata gađanja oruđem iz kose ravni ako su poznati nagibi kulevke duž uzdužne i poprečne ose prema horizontu i elementi gađanja oruđem iz horizontalne ravni.

Postupak izračunavanja i zauzimanja elemenata gađanja je sledeći:

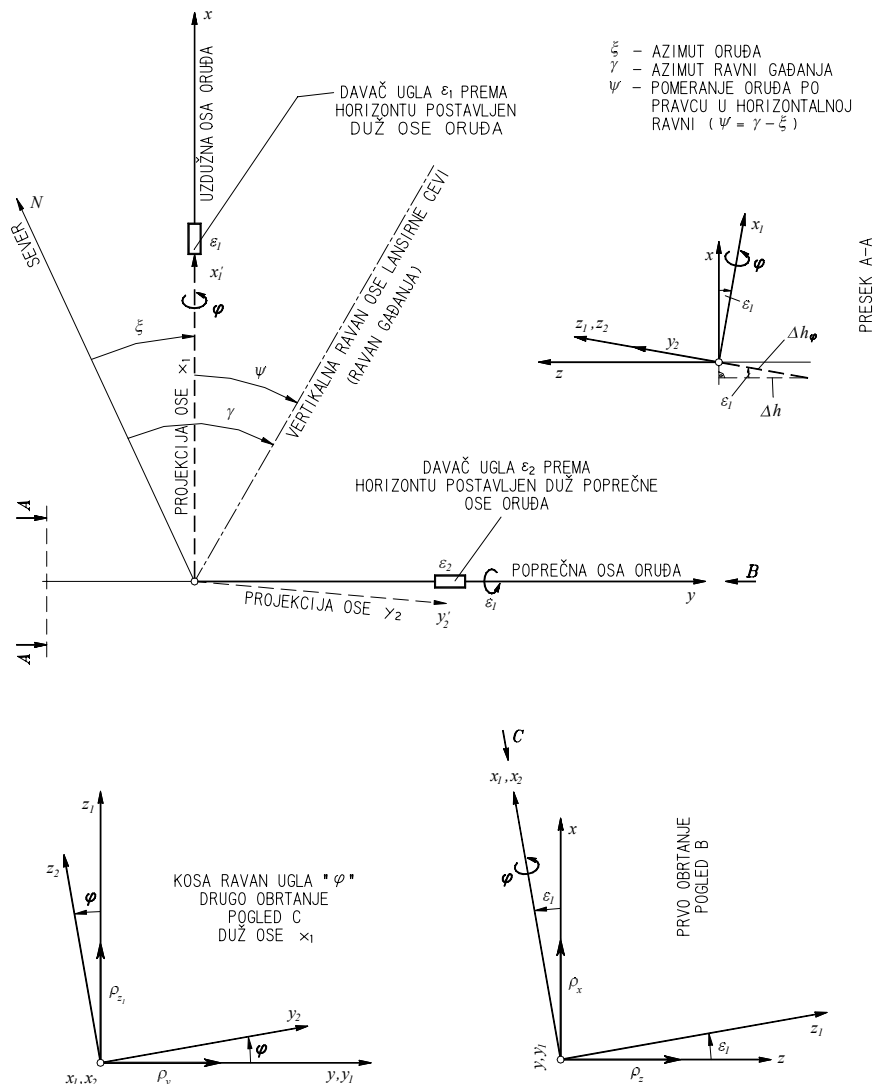
Računarom, što je uobičajeno i jednostavnije, prvo se izračunavaju elementi gađanja iz horizontalne ravni s istog vatrene položaja i istog azimuta uzdužne ose oruđa (koja

se nalazi u vertikalnoj ravni u kojoj se nalazi ista osa nagnutog oruđa pod uglom  $\varepsilon_1$  prema horizontu, sl.1) i potom, u zavisnosti od tih poznatih podataka  $\Psi$  i  $\theta$  i nagiba  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$ , odrede izvedenim izrazima elementi gađanja po pravcu i elevaciji  $\Psi_1$  i  $\theta_1$ , koje izvršni organi, automatskim pokretanjem za ove uglove, iz kose ravni dovode osu cevi na isto mesto u prostoru, gde bi bila dovedena da je pokretana i iz pomenute horizontalne ravni.

Za potrebe raketnih bacača manjih dometa koji nemaju ugrađenu pomenutu automatiku za zauzimanje elemenata gađanja, kao ni sredstva za nivelisanje, već se nišanje vrši tzv. njišućom (oscilujućom) nišanskom spravom, izveden je izraz za izračunavanje ugla poprečnog zakretanja njišuće nišanske sprave oko ose paralelne osi cevi. Pomoću ovog izraza se unapred mogu odrediti, koliki mogu biti najveći nagibi ravni vatrene položaja sa kojih se, s obzirom na opseg merenja poprečnog ugla postojeće nišanske sprave, mogu još uvek vršiti gađanja, a pri konstruisanju daljinara nišanske sprave, koliki opseg poprečnog zakretanja treba obezbediti da bi se moglo vršiti gađanje sa željenog (ili dopuštenog) nagiba vatrene položaja pri najvećim elevacijama.

### Određivanje uglova elevacije i pravca iz kose ravni

Za izračunavanje uglova elevacije i pravca koje treba

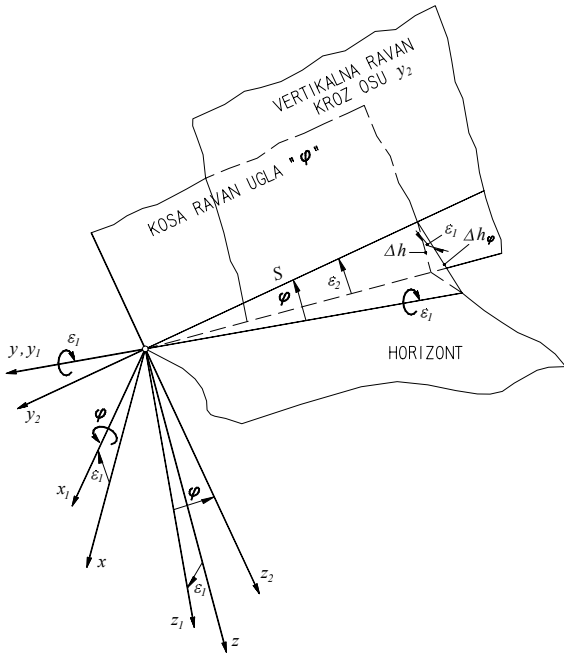


Slika 1. Položaji osa oruđa u horizontalnoj i kosoj ravni sa davačima uglova prema horizontu, položaju severa i vertikalne ravni ose lansirne cevi

ostvariti pokretanjem lansera po pravcu i elevaciji iz kose ravnine, izvršena su sledeća obrtanja oruđa oko koordinatnih osa, prema sl.1, za dovođenje u kosu ravan iz horizontalne. Prvo obrtanje oko ose  $y$  za ugao  $\varepsilon_1$ , kada osa  $x$  pređe u položaj  $x_1$  u vertikalnoj ravni kroz  $x$  (vidi pogled "B" sl.1). Drugo obrtanje oko ose  $x_1$  ( $x_2$ ) za ugao  $\varphi$ , tako da osa  $y_2$  zauzme ugao sa horizontom  $\varepsilon_2$  (vidi pogled "C" obrazovan duž ose  $x_1$  ( $x_2$ ) i sl.2). Korišćenjem crteža sa sl. 1 – preseka "A-A" i crteža prikazanih osa sa ravnima (sl.2) na kojima je ravan trougla katete  $\Delta h$ , hipotenuze  $\Delta h_\varphi$  i ugla zahvaćenog njima  $\varepsilon_1$  upravna na osu  $Oy$ , lako se određuje vrednost ugla  $\varphi$  u zavisnosti od uglova  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$ , tj.:

$$\begin{aligned}\Delta h &= S \sin \varepsilon_2 \\ \Delta h_\varphi &= S \sin \varphi \\ \frac{\Delta h}{\Delta h_\varphi} &= \cos \varepsilon_1 = \frac{\sin \varepsilon_2}{\sin \varphi} \\ \sin \varphi &= \frac{\sin \varepsilon_2}{\cos \varepsilon_1} \\ \cos \varphi &= \frac{1}{\cos \varepsilon_1} \sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 - \sin^2 \varepsilon_2}\end{aligned}\quad (1)$$

Kao što se sa sl.1 i 2 vidi, ose  $x$  i  $y$  vezane za uzdužnu i poprečnu osu oruđa, nalaze se u horizontalnoj ravni (zamišljeni položaj oruđa u horizontalnoj ravni), a ose  $x_1$  ( $x_2$ ) i  $y_2$  u kosoj, nagnute prema horizontu za uglove  $\varepsilon_1$ , odnosno  $\varepsilon_2$ .



Slika 2. Ose oruđa sa ravnima

Ako duž ose lansirne cevi, ili središta kulevke paralelno njoj (što čini isto), postavimo vektor  $\rho$  iz koordinatnog

početka u središtu kulevke, ili uzmemo da je  $\rho = \rho_o$ , gde je  $|\rho_o|=1$  (vidi i sl.3) i izvršimo projektovanje ovog vektora na početni koordinatni sistem  $Oxyz$ , dok su još ose oruđa  $x$  i  $y$  u horizontalnoj ravni, imamo:

$$\begin{bmatrix} \rho_x \\ \rho_y \\ \rho_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cos \theta \cos \Psi \\ \rho \cos \theta \sin \Psi \\ -\rho \sin \theta \end{bmatrix}\quad (2)$$

a, potom, posle prvog obrtanja za  $\varepsilon_1$ , na ose  $Ox_1y_1z_1$

$$\begin{bmatrix} \rho_{x_1} \\ \rho_{y_1} \\ \rho_{z_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_1 & 0 & -\sin \varepsilon_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_1 & 0 & \cos \varepsilon_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_x \\ \rho_y \\ \rho_z \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} \rho_{x_1} \\ \rho_{y_1} \\ \rho_{z_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_x \cos \varepsilon_1 - \rho_z \sin \varepsilon_1 \\ \rho_y \\ \rho_z \cos \varepsilon_1 + \rho_x \sin \varepsilon_1 \end{bmatrix}$$

i posle drugog obrtanja na ose  $Ox_2y_2z_2$

$$\begin{bmatrix} \rho_{x_2} \\ \rho_{y_2} \\ \rho_{z_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_{x_1} \\ \rho_{y_1} \\ \rho_{z_1} \end{bmatrix}\quad (4)$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} \rho_{x_2} \\ \rho_{y_2} \\ \rho_{z_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{x_1} \\ \rho_{y_1} \cos \varphi + \rho_{z_1} \sin \varphi \\ \rho_{z_1} \cos \varphi - \rho_{y_1} \sin \varphi \end{bmatrix}$$

U koordinatnom sistemu  $Ox_2y_2z_2$  isti ort ili vektor  $\rho$  ima projekcije:

$$\begin{aligned}\rho_{x_2} &= \rho \cos \theta_1 \cos \Psi_1 \\ \rho_{y_2} &= \rho \cos \theta_1 \sin \Psi_1 \\ \rho_{z_2} &= -\rho \sin \theta_1\end{aligned}\quad (5)$$

odnosno,

$$-\rho \sin \theta_1 = \rho_{z_2} = \rho_{z_1} \cos \varphi - \rho_{y_1} \sin \varphi$$

odakle je dalje iz (3)

$$\rho \sin \theta_1 = -\cos \varphi (\rho_z \cos \varepsilon_1 + \rho_x \sin \varepsilon_1) + \rho_y \sin \varphi$$

odnosno iz (2)

$$\begin{aligned}\sin \theta_1 &= \cos \varphi (\sin \theta \cos \varepsilon_1 - \cos \theta \cos \Psi \sin \varepsilon_1) + \\ &+ \sin \varphi \cos \theta \sin \Psi\end{aligned}$$

ili zamenom vrednosti za  $\cos \varphi$  i  $\sin \varphi$  iz (1) na kraju dobijamo

$$\begin{aligned}\sin \theta_1 &= \frac{1}{\cos \varepsilon_1} \sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 - \sin^2 \varepsilon_2} \cdot \\ &\cdot [\sin \theta \cos \varepsilon_1 - \cos \theta \cos \Psi \sin \varepsilon_1] + \frac{\sin \varepsilon_2}{\cos \varepsilon_1} \cos \theta \sin \Psi\end{aligned}\quad (6)$$



da se mogu ostvarivati usmeravanja oruđa pri najvećim dozvoljenim nagibima vatrenog položaja i najvećoj vrednosti elevacionog ugla. U literaturi [1] izvedena je zavisnost ovog ugla od vrednosti elevacionog ugla iz horizontalne ravni i nagiba ose ramena artiljerijskih oruđa, koji se pojavljuje samo u poprečnoj ravni.

Pri gađanju raketnim bacačima, gađanja se izvode preko kabine oruđa, ali i poprečno na uzdužnu osu oruđa. Za zaposednuti neiznivalisani položaj oruđa gađanje se može vršiti i za pravce od preko  $\pm 90^\circ$  u odnosu na uzdužnu osu oruđa. Za taj opšti slučaj gde su nagibi oruđa određeni prema horizontu, kao na sl.1 i 2, može se odrediti ugao poprečnog zakretanja njišuće nišanske sprave pomoću ravni i uglova, prikazanih na sl.3, na sledeći način. Na sl.3, zbog preglednijeg prikaza, lanser je pomeren po pravcu u levo, tj. uglovi po pravcu  $\Psi$  i  $\Psi_1$  označeni na slici uzimaju negativne vrednosti.

Vertikalna ravan provučena kroz osu cevi seče kosu ravan po tragu iznad ose  $x'$  i horizontalnu po osi  $x'$ . Ugao između traga i ose  $x'$ ,  $\varepsilon$  je onaj za koji treba smanjiti ugao elevacije  $\theta$  da bi se u ravni upravnoj na osu cevi mogao da odredi ugao  $\beta$  za koji se oscilujuća (obrotno podešljiva oko ose paralelne osi cevi) nišanska sprava mora zakrenuti za dovođenje u vertikalni položaj. Kao što se na sl.3 vidi, da bi se iz kose ravni, čija je  $x_1(x_2)$  osa izdignuta iznad ose  $x$  za ugao  $\varepsilon_1$  u vertikalnoj ravni i  $y_2$  za ugao  $\varepsilon_2$  iznad horizonta, osa lansirne cevi dovela u isti položaj kao i sa uglovima  $\Psi$  i  $\theta$  iz horizontalne, ona (cev) se od svoje ose  $x_1(x_2)$  mora pomeriti za ugao  $\Psi_1$  u kosoj ravni i potom upravno na nju za ugao  $\theta_1$ .

Povlačenjem ravni upravne na osu cevi – presek nje sa vertikalnom ravni ugla  $\theta$ , nagnutom ravni ugla  $\theta_1$  i kosom ravni određenom uglovima osa  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  prema horizontu, obrazuje pravouglo trougao. Ukoliko je dužina duž ose cevi (do prodora sa upravnom ravni) iz središta kulevke ili paralelno pomerenog koordinatnog sistema, što čini isto, jednaka "1" (jedinici), dobijamo da je izdignuta kateta jednaka  $tg\theta_1$  i hipotenuza  $tg\varepsilon$ , gde je  $\varepsilon$  ukupna vrednost nagiba kose ravni prema horizontu u vertikalnoj ravni ugla " $\theta$ ". Odatle je očigledno

$$\cos\beta = \frac{tg\theta_1}{tg\varepsilon} \quad (8)$$

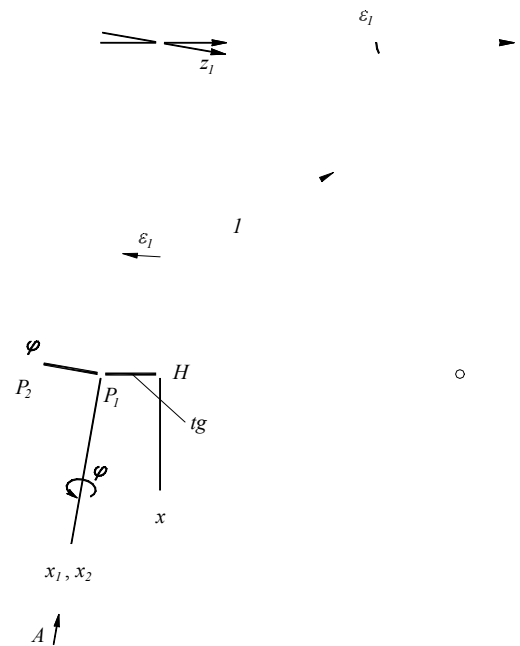
Time je, za bilo koju vrednost uglova  $\Psi, \theta, \varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  određena vrednost ugla " $\beta$ ".

U izrazu (8), vrednost ugla  $\theta_1$  je napred izračunata (jednakost (6)) a vrednost ugla  $\theta$  zadata, potrebno je sa crteža (sl.3) odrediti ugao  $\varepsilon$ . Ovaj ugao može se odrediti na sledeći način.

Posmatrajući prvo horizontalnu ravan na sl.4, potom projekciju osa ravni  $Ox_1y_1$  posle prvog obrtanja za ugao  $\varepsilon_1$  oko ose  $y(y_1)$  na nju i bočnu projekciju osa ravni  $Ox_1y_1$ . Ako u horizontalnoj ravni duž ose  $x$ , iz središta koordinatnog sistema uzmemo dužinu jednaku jedinici za katetu pravouglog trougla, prikazanog na sl.4, onda je vrednost hipotenuze duž ose  $x'$  (vidi sl.3)  $1/\cos\Psi$  i katete naspram ugla  $\Psi$ ,  $tg\Psi$ . Posle ovog prvog obrtanja, prodor

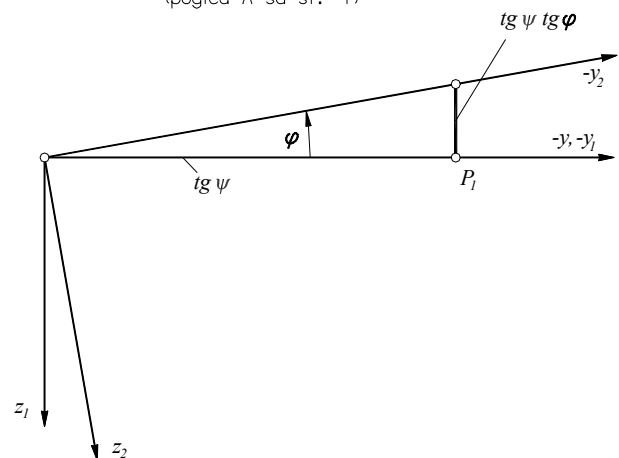
zraka upravnog na horizontalnu ravan  $Oxy$  iz tačke H kroz ravan  $Ox_1y_1$  imaće koordinate u sistemu  $Oxyz(1, tg\Psi, -tg\varepsilon_1)$ , kao što se vidi i iz bočne projekcije (sl.4). Posle drugog obrtanja, tj. ravni  $Ox_1y_1$  oko ose  $Ox_1$  za ugao  $\varphi$ , u ravni ugla  $\varphi$  (kroz tačku  $P_1$ ) upravno na osu  $Ox_1(x_2)$ , naći će se kateta pravouglog trougla dužine  $tg\Psi tg\varphi$  (vidi slike 4 i 5) u preseku ove s vertikalnom ravni kroz H paralelnom s osom  $Ox$ , čija je hipotenuza drugi deo dužine duž vertikalnog zraka iz H jednaka (slike 4 i 5):

$$\overline{P_2P_1} = \frac{tg\Psi tg\varphi}{\cos\varepsilon_1}$$



Slika 4. Ravni uglova  $\Psi, \varphi, i \varepsilon_1$

RAVAN UGLA  $\varphi$   
(pogled A sa sl. 4)



Slika 5. Ravan ugla  $\varphi$

tj. dužina vertikalnog zraka od H do prodora sa kosom ravni  $Ox_2y_2z_2$  je

$$\overline{P_2H} = tg\varepsilon_1 \frac{tg\Psi tg\varphi}{\cos\varepsilon_1}$$

jer ovde  $\Psi$  uzima negativnu vrednost, a odatle i:

$$tg\varepsilon = \frac{tg\varepsilon_1 - \frac{tg\Psi \cdot tg\varphi}{\cos\varepsilon_1}}{\frac{1}{\cos\Psi}} \quad (9)$$

Posle smene vrednosti za ugao  $\varphi$  iz (1) na kraju se dobija:

$$tg\varepsilon = \frac{1}{\cos\varepsilon_1} \left[ \sin\varepsilon_1 \cos\Psi - \frac{\sin\Psi \sin\varepsilon_2}{\sqrt{\cos^2\varepsilon_1 - \sin^2\varepsilon_2}} \right] \quad (10)$$

koja zajedno sa vrednošću za  $\theta_1$  iz (6):

$$\sin\theta_1 = \frac{\sqrt{\cos^2\varepsilon_1 - \sin^2\varepsilon_2}}{\cos\varepsilon_1} \cdot [\sin\theta \cos\varepsilon_1 - \cos\theta \cos\Psi \sin\varepsilon_1] + \frac{\sin\varepsilon_2}{\cos\varepsilon_1} \cos\theta \sin\Psi$$

i zadatom vrednošću za  $\theta$ , određuje vrednost ugla  $\beta$  izrazom (8), tj.:

$$\cos\beta = \frac{tg\theta_1}{tg\theta - \varepsilon}$$

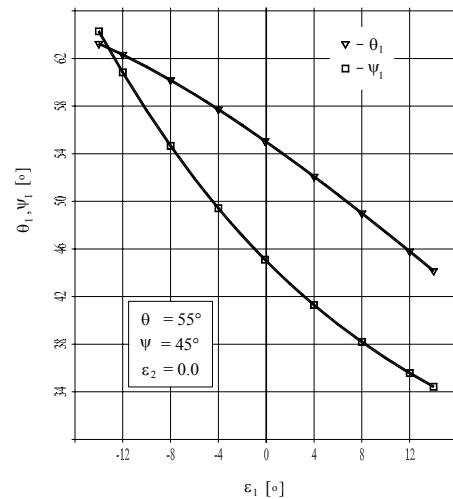
Ista vrednost izraza (10) za  $tg\varepsilon$  može se dobiti i na sledeći način. Uzmimo u izrazu (6) da je  $\theta = \varepsilon$ , kao što se sa slike 3 vidi, tada je  $\theta_1 = 0$ . Odatle se dobija jednakost:

$$\frac{1}{\cos\varepsilon_1} \sqrt{\cos^2\varepsilon_1 - \sin^2\varepsilon_2} \cdot [\sin\varepsilon \cos\varepsilon_1 - \cos\varepsilon \cos\Psi \sin\varepsilon_1] = -\frac{\sin\varepsilon_2}{\cos\varepsilon_1} \cos\varepsilon \sin\Psi$$

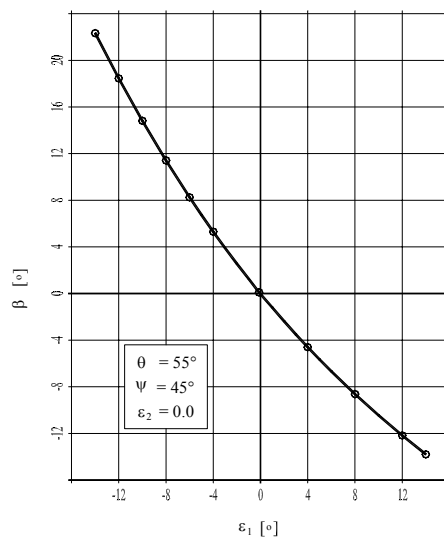
iz koje se posle sređivanja dobija isti izraz za  $tg\varepsilon$ , kao i u jednakosti (10).

Vrednost ugla  $\beta$  za praktično primenjivane uglove elevacije  $\theta$  izračunavana izrazom (8) je uvek pozitivna. Međutim, za dovođenje njišuće nišanske sprave u vertikalnu ravan menjaće se smer zakretanja (njihanja) nišanske sprave zavisno od vrednosti uglova  $\Psi$  i  $\Psi_1$ . Kada je  $\Psi_1$  manje od  $\Psi$  smer zakretanja je isti kao i smer kretanja kazaljke na satu (vidi sl.3), a za  $\Psi_1$  veće od  $\Psi$  suprotan. Stoga u programu za izračunavanje ugla  $\beta$  na računaru treba dodati i uslov ako je  $\Psi_1 < \Psi$ ,  $\beta < 0$  (negativno), odnosno, za  $\Psi_1 > \Psi$ ,  $\beta > 0$  (pozitivno). Time se mogu odrediti najveće vrednosti uglova zakretanja u oba smera. Pozitivne vrednosti uglova nagiba kose ravni prema horizontu  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  i uglova pomeranja lansera po pravcu  $\Psi, \Psi_1$  i po elevaciji  $\theta, \theta_1$  u odnosu na posmatrane koordinatne sisteme (vidi slike 1,2 i 3), saglasne su sa smerovima uglova koji se uzimaju za pozitivne u artiljeriji. Na donjim slikama prikazani su primeri proračuna za pojedine posebne slučajeve, tj. kada je  $\theta = 55^\circ$ ,  $\Psi = 45^\circ$  i  $\varepsilon_2 = 0$ , odnosno  $\varepsilon_1 = 0$ , koje ukazuju na značajna povećanja, odnosno, smanjenja uglova  $\theta_1$  i  $\Psi_1$  i vrednosti promene opsega ugla  $\beta$ . Datim izrazima mogu se za dozvoljene nagibe vatrenih položaja i najveće vrednosti elevacionih uglova i uglova po pravcu odrediti elementi gađanja iz kose ravni  $\theta_1$  i  $\Psi_1$ , odnosno potreban ugao zakretanja (njihanja) njišuće nišanske sprave za lansere koji njome zauzimaju

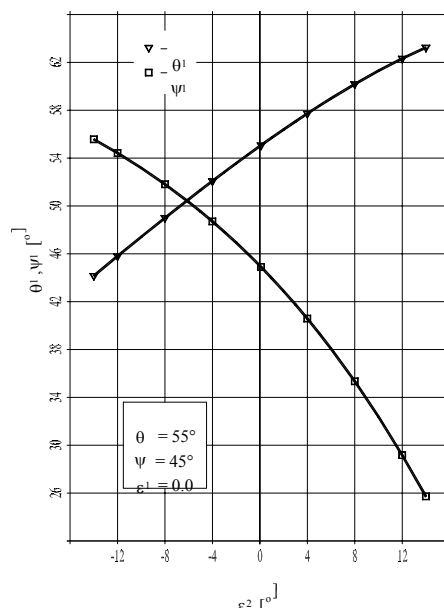
elemente gađanja.



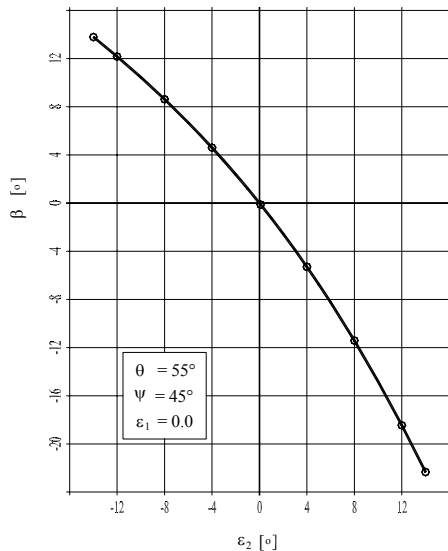
Slika 6. Vrednost uglova  $\theta_1, \Psi_1$  u zavisnosti od  $\varepsilon_1$  pri  $\theta = 55^\circ, \Psi = 45^\circ$  i  $\varepsilon_2 = 0.0$



Slika 7. Vrednost ugla  $\beta$  u zavisnosti od  $\varepsilon_1$  pri  $\theta = 55^\circ, \Psi = 45^\circ$  i  $\varepsilon_2 = 0.0$



Slika 8. Vrednost uglova  $\theta_1, \Psi_1$  u zavisnosti od  $\varepsilon_2$  pri  $\theta = 55^\circ, \Psi = 45^\circ$  i  $\varepsilon_1 = 0.0$



Slika 9. Vrednost ugla  $\beta$  u zavisnosti od  $\varepsilon_2$  pri  $\theta = 55^\circ, \psi = 45^\circ$  i  $\varepsilon_1 = 0.0$

### Određivanje popravki

Pri zauzetim elementima gađanja po pravcu i elevaciji  $\psi_1$  i  $\theta_1$ , pokretni sklop lansera napunjen raketama drugačije će opterećivati konstrukciju vozila nego pri svom polaznom položaju. Zavisno od krutosti nosećih delova konstrukcije, kulevka oruđa u ovom položaju može izaći iz ravni početnog nagiba prema horizontu i biti drugačije nagnuta. U ovom slučaju potrebno je izvršiti popravke zauzetih elemenata gađanja po pravcu i elevaciji, uglova  $\psi_1$  i  $\theta_1$ . Ove se popravke mogu odrediti na sledeća dva načina. Prema prvom načinu, davače uglova nagiba prema horizontu usmerenih na početku duž uzdužne i poprečne ose oruđa treba vezati za pokretni deo kulevke, kao i davač azimuta oruđa. Posle zauzetih elemenata gađanja po pravcu i elevaciji u kosoj ravni, ovi će davači davati uglove nagiba kulevke prema horizontu u ovom novom položaju  $\varepsilon_{1n}$  i  $\varepsilon_{2n}$  (duž osa  $x'_1$  i  $y'_2$ , vidi sl.3) kao i azimut vertikalne ravni kroz uzdužnu osu kulevke  $x'_1$ , označimo ga sa  $\xi_n$ . Iz ovih poznatih podataka i s obzirom da je azimut ravni gađanja  $\gamma$  ostao nepromenjen, kao i ugao elevacije iz horizontalne ravni  $\theta$ , izračunavamo prvo novu vrednost ugla  $\psi$  za ovaj položaj.

$$\psi_n = \gamma - \xi_n$$

a potom pomoću nje i vrednosti  $\varepsilon_{1n}$  i  $\varepsilon_{2n}$  (umesto vrednosti za  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  i  $\psi$  sa nepromenjenim  $\theta$  u izrazu (7)) neposredno iz izraza (7) popravku za  $\psi_1$ ,

$$\Delta\psi_1 = \psi_{1n}$$

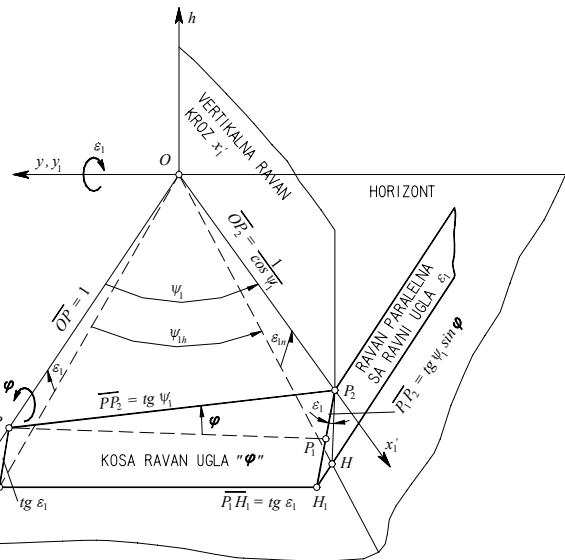
Popravka za elevaciju ugla  $\theta_1$ , izračunava se tako, što se prvo pomoću vrednosti  $\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \psi_n$  i  $\theta$  odredi iz izraza (6)  $\theta_{1n}$  i potom od ovoga oduzme već zauzeta vrednost ugla  $\theta_1$ , tj.

$$\Delta\theta_1 = \theta_{1n} - \theta_1$$

Pokretanjem lansera iz zauzetog položaja elemenata gađanja po pravcu i elevaciji u kosoj ravni još za uglove  $\psi_{1n}$  i  $\Delta\theta_1$ , popravka je završena.

Po drugom načinu – rešenju, davači nagiba kulevke  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  prema horizontu kao i azimuta  $\xi$ , ostaju u svom polaznom položaju vezani za nepokretni deo kulevke. Po zauzimanju elemenata gađanja u kosoj ravni-uglova  $\psi_1$  i  $\theta_1$ , pomoću vrednosti uglova koje u tom novom položaju kulevke daju davači s neobrtnog dela kulevke, mogu se sa dovoljnom tačnošću izračunati nagibi kulevke  $\varepsilon_{1n}$  i  $\varepsilon_{2n}$ , kao i novi azimut kulevke  $\xi_n$ , s obzirom da se pomoću enkodera može dovoljno tačno izmeriti ugao  $\psi_1$ . Mogu se dakle izvoditi i takva rešenja, da se vrednosti za  $\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}$  i  $\xi_n$  dobijaju računski iz izmerenih sa neobrtnog dela kulevke, a ne neposredno iz izmerenih s obrtnog dela kulevke.

Korišćenjem sl.10, izvešćemo izraze za izračunavanje ovih novih nagiba polaznih osa pokretnog dela kulevke, kao i azimut njene uzdužne ose tj.  $\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}$  i  $\psi_{1n}$  odnosno,  $\xi_n = \xi + \psi_{1h}$ .



Slika 10. Osnovne i pomoćne ravni za određivanje uglova  $\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}$  i  $\psi_{1h}$

Za osu  $x'_1$ :

$$\sin \varepsilon_{1n} = \frac{\overline{P_2H}}{\overline{OP_2}} = \sin \varepsilon_1 - \operatorname{tg} \psi_1 \sin \varphi \cos \varepsilon_1 \cos \psi_1$$

odnosno smenom  $\sin \varphi$  iz (1)

$$\sin \varepsilon_{1n} = \sin \varepsilon_1 \cos \psi_1 - \sin \psi_1 \sin \varepsilon_2 \quad (11)$$

odnosno, za nagib ose koja prednjači osi  $x'_1$  za  $\pi/2$  u kosoj ravni.

$$\sin \varepsilon_{2n} = \sin \varepsilon_1 \cos \psi_1 - \pi/2 \sin \psi_1 - \pi/2 \sin \varepsilon_2 \quad (12)$$

potom, vrednost ugla u horizontalnoj ravni  $\psi_{1h}$ , između ravni  $Oxx_1$  i vertikalne ravni kroz osu  $Ox'_1$  (vidi sl.10)

$$\cos \psi_{1h} = \frac{1}{\cos \varepsilon_{1n}} \sin \varepsilon_1 \cos \psi_1 + \sin \psi_1 \sin \varepsilon_2 \operatorname{tg} \varepsilon_1 \quad (13)$$

Pri tome, za  $\pi/2 > \psi_1 > -\pi/2$ , izračunata vrednost za  $\psi_{1h}$ , iz ovog izraza je uvek pozitivna. Stoga za  $0 > \psi_1 > -\pi/2$ ,

dobijenoj vrednosti  $\psi_{1h}$  iz (13) se dodeljuje negativan predznak, koja služi da se po zauzetim elementima gađanja u kosoj ravni odredi nova vrednost pomeranja oruđa po pravcu  $\psi_n$  u horizontalnoj ravni. tj.:

$$\psi_n = \psi - \psi_{1h}$$

Ovo su vrednosti koje bi neposredno izmerili davači uglova  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$  (sa  $\psi_n = \gamma - \xi_n$ ) da su bili vezani za pokretni deo kulevke (pri napred navedenim uslovima).

U drugom slučaju, ovo su izrazi koji bi se koristili za određivanje uglova  $\varepsilon_{1n}$ ,  $\varepsilon_{2n}$  kao i  $\psi_n$  u uslovima da su davači uglova  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$  bili vezani za nepokretni deo kulevke i očitavani po zauzimanju elemenata gađanja  $\psi_1$  i  $\theta_1$ . Pri tome vrednost ugla  $\psi$  mora biti ponovo izračunata (popravljen) izrazom  $\psi = \gamma - \xi$ , gde je  $\gamma$  nepromenjeni azimut ravni gađanja, a  $\xi$  novoizmereni azimut uzdužne ose neobrtnog dela kulevke, jer se azimut uzdužne ose neobrtnog dela kulevke iako za malu vrednost (koji hiljaditi), mogao promeniti posle pokretanja lansera za  $\psi_1$  i  $\theta_1$ .

### Primer proračuna

Uzmimo jedan primer izračunavanja popravki, kojim se mogu obuhvatiti oba slučaja izračunavanja, tj. bilo da su davači uglova  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$  vezani za pokretni deo kulevke bilo za nepokretni. Neka su dati sledeći ulazni podaci pre pokretanja lansera iz polaznog položaja. Nagibi kulevke  $\varepsilon_1 = 7^\circ$  i  $\varepsilon_2 = 6^\circ$ , a elementi gađanja iz horizontalne ravni  $\theta = 55^\circ$  i  $\psi = -60^\circ$ .

Neka ulazni podaci  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$  (sa nepromenjenom vrednošću za  $\xi$  (vidi sl. 1)) budu zamišljeno snimljeni davačima s nepokretnog dela kulevke kao i  $\gamma$ ,  $\psi$  i  $\theta$  određeni. Ako uzmemo na početku, da kulevka po zauzimanju izračunatih elemenata gađanja  $\psi_1 = 56.273^\circ$  i  $\theta_1 = 46.175^\circ$  ostane pod istim nagibom prema horizontu (u istoj polaznoj ravni), dobijamo pomoću gornjih izraza vrednosti za:

$$\varepsilon_{1n} = 8.893709^\circ$$

$$\varepsilon_{2n} = -2.482804^\circ \text{ i}$$

$$\psi_n = -3.161544^\circ$$

Ako sada sa ovim vrednostima i nepromenjenom vrednošću za  $\theta$  pomoću izraza (6 i 7), ponovo odredimo  $\theta_{1n}$  i  $\psi_{1n}$ , videće se da ćemo dobiti, da je  $\psi_{1n} = 0$  i  $\theta_{1n} = \theta_1$ , tj. da iz tog položaja pokretanjem lansera samo za ugao  $\theta_{1n} = \theta_1$  dolazimo na isto mesto u prostoru kao i iz polaznog položaja (čime smo u stvari izvršili proveru tačnosti izraza (11, 12 i 13). Ako sada uzmemo da se je osa  $Ox'$  spustila u svojoj vertikalnoj ravni sa  $\varepsilon_{1n} = 8.893709^\circ$  na vrednost  $\varepsilon_{1n} = 8^\circ$ , a ona koja joj prednjači za  $\pi/2$  podigla se sa  $\varepsilon_{2n} = -2.482804^\circ$  na  $\varepsilon_{2n} = -2.0^\circ$  pri  $\psi = \psi_n$  i  $\theta$

nepromenjenim, dobijamo iz izraza (6 i 7) vrednosti  $\theta_{1n} = 47.066^\circ$  i  $\psi_{1n} = -0.491$ , tj. popravke:

$$\Delta\psi_1 = \psi_{1n} = -0.491^\circ \text{ i}$$

$$\Delta\theta_1 = \theta_{1n} - \theta_1 = 0.891^\circ$$

Kao što se vidi, ovde su vrednosti za  $\varepsilon_{1n} = 8^\circ$  i  $\varepsilon_{2n} = -2^\circ$  kao i za  $\xi$  uzete u odnosu na računске vrednosti dobijene iz izraza (11,12 i 13) u uslovima da se nagib kulevke prema horizontu, nije izmenio posle zauzimanja elemenata gađanja  $\psi_1$  i  $\theta_1$ .

U stvarnim uslovima, uglovi  $\varepsilon_{1n}$  i  $\varepsilon_{2n}$  kao i azimut  $\xi$  bili bi očitani neposredno sa davača vezanih za pokretni deo kulevke, odnosno iz očitanih  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$ , po zauzimanju elemenata gađanja  $\psi_1$  i  $\theta_1$ , s davača vezanih za nepokretni deo kulevke, bili bi izračunati pomoću izraza (11,12 i 13) i  $\psi_n = \gamma - \xi - \psi_{1h}$ .

### Zaključak

Za potrebe savremenih raketnih bacača čiji se elementi gađanja, po zaposedanju vatrenih položaja, izračunavaju neposredno uzimanjem podataka s mernih davača koji se nalaze na oruđu i ranije učitanih meteoroloških podataka, i potom automatski, bez nivelisanja oruđa zauzimaju, izvedeni su izrazi za određivanje elemenata gađanja iz u opštem slučaju kose – zaposednute ravni, iz poznatih elemenata gađanja iz horizontalne ravni i nagiba oruđa (kulevke) prema horizontu duž dve upravne ose. To su jednakosti (6) za elevaciju i (7) za pravac.

Za raketne bacače manjih dometa, koji nisu snabdeveni uređajima za automatsko zauzimanje elemenata gađanja ni sredstvima za nivelisanje, već se elementi gađanja sa zaposednute (kose) ravni vatrenog položaja, zauzimaju njišućim (oscilujućim) nišanskim spravama, izveden je izraz za određivanje ugla poprečnog zakretanja (oscilovanja) oko ose paralelne osi cevi (8), pomoću koga se može odrediti sa kojih se najvećih nagiba vatrenog položaja može vršiti usmeravanje oruđa – zauzimanje elemenata gađanja, s obzirom na opseg merenja ugla zakretanja postojeće nišanske sprave, odnosno, pri konstruisanju daljinara, mehanizam poprečnog zakretanja treba da bude urađen tako, da se mogu ostvarivati usmeravanja oruđa pri najvećim dozvoljenim nagibima vatrenog položaja i najvećoj vrednosti elevacionog ugla.

Na kraju je dat postupak za određivanje popravki zauzetih elemenata gađanja  $\psi_1$  i  $\theta_1$ , za slučajevne vezivanja davača uglova  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  i  $\xi$  za pokretni deo kulevke, kao i za nepokretni deo kulevke kada se koriste izvedeni izrazi (11,12 i 13) za određivanje uglova  $\varepsilon_{1n}$ ,  $\varepsilon_{2n}$  i  $\psi_n$ .

### Literatura

- [1] ŠIMIĆ, P. I. *Teorijske osnove nišanskih sprava streljačkog oružja i oruđa zemaljske artiljerije*, Beograd 1963.



