

Primjena balističkog modela MPMM za izračun diferencijalnih koeficijenata za tablice gađanja prema NATO STANAG-u 4119

Ivan Katalinić

Sažetak

Balistički model MPMM (engl. modified point mass model) služi za izračunavanje svih elemenata balističke putanje (domet, vrijeme leta, padni kut, tjeme putanje, diferencijalni koeficijenti i dr.) potrebnih za klasične žiroskopski stabilizirane topničke projekte. U ovom radu prikazane su diferencijalne i algebarske jednadžbe koje u potpunosti definiraju balistički model MPMM i njegovo programsko rješenje MPMM_D30. Njime je omogućeno izračunavanje diferencijalnih koeficijenata za oružje H122mmD30 (i ostalih elemenata balističke putanje) koji su sastavni dio tablica gađanja po NATO STANAG²-u 4119 (Adoption of a standard cannon artillery firing table format, Brussel, 2007) koji bi trebao postati HRVN STANAG³ 4119.

Ključne riječi

vanjska balistika, balistički model, standardna atmosfera, putanja projektila, meteobilten, diferencijalne jednadžbe, H122mmD30

1 Članak je primljen u Uredništvo 30. Ožujka 2021. i prihvaćen za objavu 12. srpnja 2021.

2 STANAG (NN 88/2019, članak 6)

3 HRVN STANAG ((NN 88/2019, članak 5)

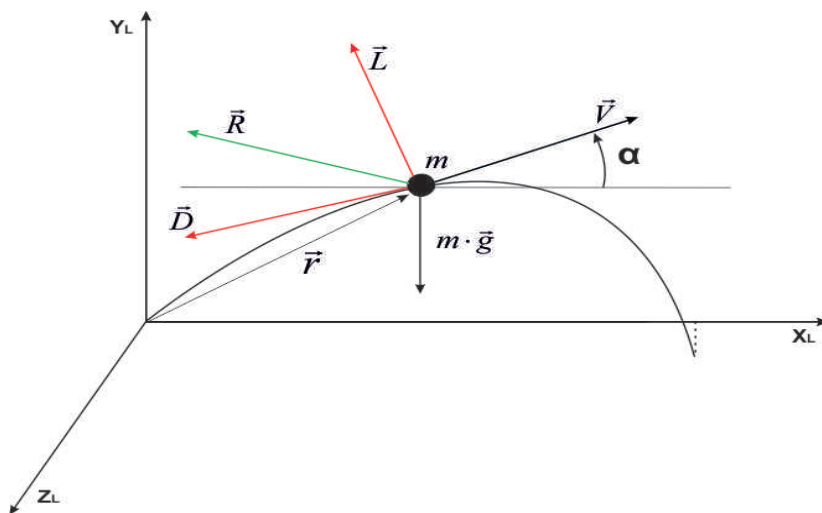
Uvod

Topništvo kao rod Hrvatske kopnene vojske preuzelo je dva potrebna STANAG-a NATO-a kao hrvatske vojne norme (HRVN) koji definiraju način izrade tablica gađanja (TG-a) po NATO standardu, a to su balistički model po kojemu se izrađuju HRVN STANAG 4355 i standardna atmosfera ICAO (engl. *international civil aviation organization*), koja je usvojena kao HRVN STANAG 4044. Format NATO TG-ova propisan je STANAG-om 4119 i uskoro bi trebao biti ratificiran u cijelosti te postati HRVN STANAG-om 4119. S obzirom na to da hrvatsko topništvo ima mnogo oružja iz tzv. "istočnog" bloka koje ima TG-ove po „ruskom“ standardu (M. Gajić i J. Viličić 1978, str. 396-421) trebalo bi ih konvertirati na NATO STANAG 4119 radi kompatibilnosti s topničkim postrojbama članica NATO saveza. Diferencijalni koeficijenti, odnosno standardne korekcije temeljni su podaci u TG-ovima (bilo kojeg formata) na osnovi kojih se ručno izračunava balistička putanja u stvarnoj atmosferi. U ovom će radu biti prikazan detaljno opisani način izračuna diferencijalnih koeficijenata za gustoću ρ i virtualnu temperaturu zraka T_v (uračunata značajka vlažnog zraka) koji su sastavni elementi TG-a po NATO STANAG-u 4119 za oružje H122mmD30 na osnovi dostupnih TG-ova po „ruskom“ standardu za navedeno oružje. Ostali diferencijalni koeficijenti (početna brzina, masa projektila, vjetar i dr.) izračunavaju se na isti način. Balistički model MPMM omogućava rješenje dvaju temeljnih zadataka vanjske balistike, a to su direktni i indirektni. Direktni zadatak vanjske balistike (DMPMM) na osnovi poznatog početnog kuta (elevacija cijevi) u standardnoj ili stvarnoj atmosferi izračunava dva težišna elementa balističke putanje (jasno i sve ostale elemente), a to su domet i skretanje projektila od ravnine gađanja. Direktni zadatak vanjske balistike koristi se za izrađivanje TG-ova pomoću kojih se ručno izračunavaju početni elementi (elevacija i pravac) za gađanje ciljeva. Indirektni zadatak vanjske balistike (INMPMM) na osnovu poznatog dometa u standardnoj ili stvarnoj atmosferi izračunava adekvatni početni kut (također i sve ostale elemente balističke putanje) pa je zbog toga pogodan za izradu sustava za upravljanje paljbom za klasične žiroskopski stabilizirane topničke projekte. Da bi se ovaj proračun

diferencijalnih koeficijenata (i svih ostalih elemenata balističke putanje) mogao provesti, izrađen je program naziva **MPMM_D30** prema blok dijagramu (Slika 3) koji može rješavati direktni (DMPMM) i indirektni zadatak vanjske balistike (INMPMM). **MPMM_D30** omogućava izračunavanje svih Tablica ($F(i)$, $F(ii)$, $G(i)$, H i dr.) koje su sastavni dio TG-a po NATO STANAG-u 4119 na osnovu „ruskog“ standarda (M. Gajić i J. Viličić 1978, str.396-421), a samim time i mogućnost njihova korištenja (TC 3-09.81, 2016).

Balistički model MPMM

Balistički model MPMM osnovni je balistički model (HRVN STANAG 4355) za određivanje svih potrebitih parametara balističke putanje za klasične topničke žiroskopski stabilizirane projektele. Osnovne diferencijalne jednačbe koje predstavljaju ovaj model (Slika 1) su:



Slika 1. Grafički prikaz sila koje djeluju na projektil mase m u balističkom modelu MPMM

$$m \cdot \frac{d\vec{V}_k}{dt} = \vec{F}_G + \vec{D} + \vec{L} + \vec{F}_k, \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{V}_k, \quad (2)$$

$$\vec{V}_k = \vec{V}_W + \vec{V}. \quad (3)$$

Jednadžba (1) (S. Janković 1998, str 234-235) opisuje koje sile (Slika 1) djeluju na projektil mase m , kalibra d , površine poprečnog presjeka (S), aerodinamičke brzine \vec{V} koja predstavlja brzinu projektila u odnosu na brzinu vjetra \vec{V}_W .

Gdje su :

- $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$ (Zemljina sila teža) ,
- $\vec{D} = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_D(M) \cdot \frac{\vec{v}}{V}$ (aerodinamička sila otpora zraka) ,
- $\vec{L} = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_{L\sigma} \cdot \sigma \cdot \vec{i}_L$ (sila uzgona) ,
- $\vec{F}_k = -2 \cdot m \cdot \vec{\Omega}_E \times \vec{V}_k$ (Koriolisova inercijalna sila) .

Brzina leta \vec{V}_k prikazana jednadžbom (2) u vektorskom obliku i jednadžbom (3) u atmosferi sa vjetrom predstavlja brzinu projektila (apsolutnu) u odnosu na Zemlju. Sila \vec{F}_G je intenzitet Zemljine sile teže i usmjerena je vertikalno prema dolje. Sila \vec{D} je aerodinamička sila otpora zraka koja leži na pravcu aerodinamičke brzine (\vec{V}), ali je suprotnog smjera. Sila \vec{L} je sila uzgona koja se pojavljuje zbog pojave napadnog kuta σ između osi projektila i aerodinamičke brzine \vec{V} . Sila uzgona proporcionalna je veličini napadnog kuta σ , leži u ravnini koju čine os projektila i aerodinamička brzina, okomita je na aerodinamičku brzinu, a ima smjer od aerodinamičke brzine prema osi projektila. Ukupna aerodinamička sila koja djeluje na projektil mase m iznosi $\vec{R} = \vec{D} + \vec{L}$. Sila \vec{F}_k je Koriolisova inercijalna sila zbog rotacije Zemlje, gdje je $\Omega_E = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$ kutna brzina Zemlje. Kada se podijeli jednadžba (1) sa masom m dobije se

jednadžba koja predstavlja ukupno ubrzanje zbog djelovanja svih navedenih sila:

$$\frac{d\vec{v}_k}{dt} = -\frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{S}{m} \cdot C_D \cdot \frac{\vec{v}_k - \vec{v}_W}{V} + \vec{g} + \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{S}{m} \cdot C_{L\sigma} \cdot \sigma \cdot \vec{l}_L - 2 \cdot \vec{\Omega}_E \times \vec{v}_k \quad (4)$$

Projeciranjem jednadžbe (4) na osi lokalnog koordinatnog sustava (S. Janković 1998, str 29-30) LKS (X_L, Y_L, Z_L) dobije se konačni sustav diferencijalnih jednadžbi balističkog modela MPMM (S. Janković 1998, str. 241-242) sa koeficijentima usklađivanja dometa $C_1(\alpha_0)$ i pravca projektila $C_2(\alpha_0)$:

$$\frac{du_k}{dt} = -E \cdot \left(C_D \cdot \frac{u_k - u_W}{V} + C_L \cdot \beta \cdot \frac{w_k - w_W}{\sqrt{V^2 - v_k^2}} \right) - 2 \cdot (-\Omega_{EZ} \cdot v_k + \Omega_{EY} \cdot w_k), \quad (5)$$

$$\frac{dv_k}{dt} = -E \cdot \left(C_D \cdot \frac{v_k}{V} \right) - g - 2 \cdot (-\Omega_{EZ} \cdot u_k - \Omega_{EX} \cdot w_k), \quad (6)$$

$$\frac{dw_k}{dt} = -E \cdot \left(C_D \cdot \frac{w_k - w_W}{V} - C_L \cdot \beta \cdot \frac{u_k - u_W}{\sqrt{V^2 - v_k^2}} \right) - 2 \cdot (-\Omega_{EY} \cdot u_k + \Omega_{EX} \cdot v_k), \quad (7)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{S \cdot d^2}{4 \cdot l_x} \cdot \rho \cdot V \cdot C_{lp} \cdot p, \quad (8)$$

$$\frac{dx}{dt} = u_k, \quad (9)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_k, \quad (10)$$

$$\frac{dz}{dt} = w_k. \quad (11)$$

Gdje su :

- u_k (horizontalna komponenta brzine u LKS)
- v_k (okomita komponenta brzine u LKS)
- w_k (bočna komponenta brzine u LKS)
- u_W (horizontalna komponenta vjetra u LKS)
- w_W (bočna komponenta vjetra u LKS)
- $E = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{S}{m}$ (parametar)

- g (ubrzanje Zemljine sile teže)
- V_W (brzina vjetra)
- $V = \sqrt{(u_k - u_W)^2 + v_k^2 + (w_k - w_W)^2}$ (aerodinamička brzina)
- V_k (brzina leta)
- V_0 (standardna početna brzina projektila na ustima cijevi)
- I_x (uzdužni moment inercije), m (masa projektila)
- m_n (standardna masa projektila)
- d (kalibar projektila)
- $S = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ (površina poprečnog presjeka projektila)
- A_ε (kut uvijanja žlebova u cijevi oružja)
- $p = \frac{2 \cdot V_k \cdot \tan A_\varepsilon}{d}$ (kutna brzina projektila)
- α_0 (početni kut elevacije)
- α (kut nagiba tangente na putanji projektila)
- $\beta = -\frac{2 \cdot I_x \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot p}{\rho \cdot S \cdot d \cdot V^3 \cdot C_{m\sigma}}$ (kut klizanja)
- A_0 (azimut gađanja)
- A_W (azimut vjetra)
- φ_{ZS} (zemljopisna širina pozicije oružja)
- Ω_E (kutna brzina Zemlje)
- $\Omega_{EX} = \Omega_E \cdot \cos A_0 \cdot \cos \varphi_{ZS}$ (horizontalna komponenta kutne brzine Zemlje u LKS)
- $\Omega_{EY} = \Omega_E \cdot \sin \varphi_{ZS}$ (okomita komponenta kutne brzine Zemlje u LKS)
- $\Omega_{EZ} = -\Omega_E \cdot \sin A_0 \cdot \cos \varphi_{ZS}$ (bočna komponenta kutne brzine Zemlje u LKS)

- a (brzina zvuka)
- $M = \frac{v}{a}$ (Mahov broj)
- $a(y)$ (promjena brzine zvuka sa visinom)
- $T_v(y)$ (promjena virtualne temperature zraka sa visinom)
- $H(y)$ (promjena tlaka zraka sa visinom)
- $\rho(y) = 0,3484 \cdot \frac{H(y)}{T_v(y)}$ (promjena gustoće zraka sa visinom)
- $C_{D43}(M)$ (etalon koeficijent sile otpora zraka)
- $C_1(\alpha_0)$ (koeficijent usklađivanja dometa)
- $C_2(\alpha_0)$ (koeficijent usklađivanja pravca)
- $C_D = C_1(\alpha_0) \cdot C_{D43}(M)$ (popravljeni aerodinamički koeficijent sile otpora zraka)
- $C_L = C_2(\alpha_0) \cdot C_{L\sigma}(M)$ (popravljeni aerodinamički koeficijent sile uzgona)
- $C_{L\sigma}(M)$ (derivativ koeficijenta sile uzgona)
- $C_{\bar{m}\sigma}(M)$ (derivativ koeficijenta momenta prevrtanja)
- $C_{lp}(M)$ (derivativ koeficijenta prigušnog uzdužnog momenta) .

Da bi balistički model MPMM od sedam diferencijalnih jednadžbi bio kompletan, mora se dopuniti sa dva unutarnjobalistička diferencijalna koeficijenta l_t i l_q pomoću kojih se provodi korekcija početne brzine projektila zbog temperature baruta (l_t) i mase projektila (l_q) koji se određuju prema Sluhockom (M.Gajić i J.Viličić 1978, str.151-153). Poznato je da temperatura baruta T_b °C koja je veća od tablične T_{tb} °C daje veću početnu brzinu V_0 , a masa projektila m veća od standardne m_n uzrokuje pad početne brzine. Odstupanje početne brzine zbog razlike u temperaturi baruta između izmjerene i tablične računa se prema jednadžbi:

$$\Delta V_{0b} = (T_b - T_{tb}) \cdot l_t \cdot V_0. \quad (12)$$

Utjecaj mase projektila na odstupanje početne brzine računa se prema jednadžbi:

$$\Delta V_{0m} = -\frac{m-m_n}{m_n} \cdot l_q \cdot V_0. \quad (13)$$

Dodatan pad početne brzine na ustima cijevi ΔV_{0c} uzrokuje produženje barutne komore i istrošenost cijevi, a taj pad početne brzine evidentiran je u tehničkoj knjižici oružja. Sada se početna brzina na ustima cijevi V_k može izraziti sa jednadžbom:

$$V_k = V_0 + \Delta V_{0b} + \Delta V_{0m} + \Delta V_{0c} \quad (14)$$

Ovdje su prikazane diferencijalne i algebarske jednadžbe koje sadrži potpuni balistički model MPMM. Njihovim rješavanjem balistička putanja klasičnog žiroskopski stabiliziranog projektila potpuno je određena u standardnoj ili stvarnoj atmosferi. Stvarna atmosfera dobiva se radiosondažnim promatranjem, odnosno mjerenjem parametara atmosfere po visini (temperatura, vlažnost, azimut vjetrova, brzina vjetrova, tlak zraka itd.), koji se u HV-u mjere meteopostajom „Vaisala“ (K. Šilinger, M. Blaha, 2017, str.196-197). Diferencijalne jednadžbe ovakvog balističkog modela rješavaju se numeričkom integracijom najčešće pomoću poznate *metode Runge Kutta* koja je korištena i programirana (MPMM_D30) u ovom radu.

Diferencijalni koeficijenti

Svi TG-ovi (bez obzira da li su izrađene po „ruskom“ ili NATO standardu) uz najvažnije elemente balističkih putanja (domet, vrijeme leta, tjeme putanje itd.) koje su izračunate za određene početne kutove u usvojenoj standardnoj atmosferi (ICAO) sadrže i diferencijalne koeficijente odnosno tablične korekcije s pomoću kojih se standardna balistička putanja „popravlja“ na trenutne meteobalističke uvjete. Vidljivo je iz diferencijalnih i algebarskih jednadžbi potpunog balističkog modela MPMM da svaki element balističke putanje „B“ ovisi o nizu meteobalističkih parametara p_i (gustoća zraka, brzina zvuka, vjetar, temperatura baruta, odstupanje

početne brzine, odstupanje mase projektila itd.) odnosno postoji funkcionalna ovisnost $B = f(p_i)$. Nekom standardnom elementu balističke putanje B_0 odgovaraju standardni meteobalistički parametri p_{i0} i ako se oni promijene za iznos poremećaja (perturbacije) δp_i tj. $p_i = p_{i0} + \delta p_i$ promijenit će se i element balističke putanje za veličinu δB tako da će nova vrijednost balističkog elementa B_1 biti $B_1 = B_0 + \delta B$. Iznos odstupanja (ili popravka) elementa (elemenata) balističke putanje δB može se izračunati primjenom Taylerove jednadžbe:

$$\delta B = B_1 - B_0 = \frac{\partial B_0}{\partial p_1} \cdot \delta p_1 + \frac{\partial B_0}{\partial p_2} \cdot \delta p_2 + \dots = \sum_{i=1}^n \frac{\partial B_0}{\partial p_i} \cdot \delta p_i \quad (15)$$

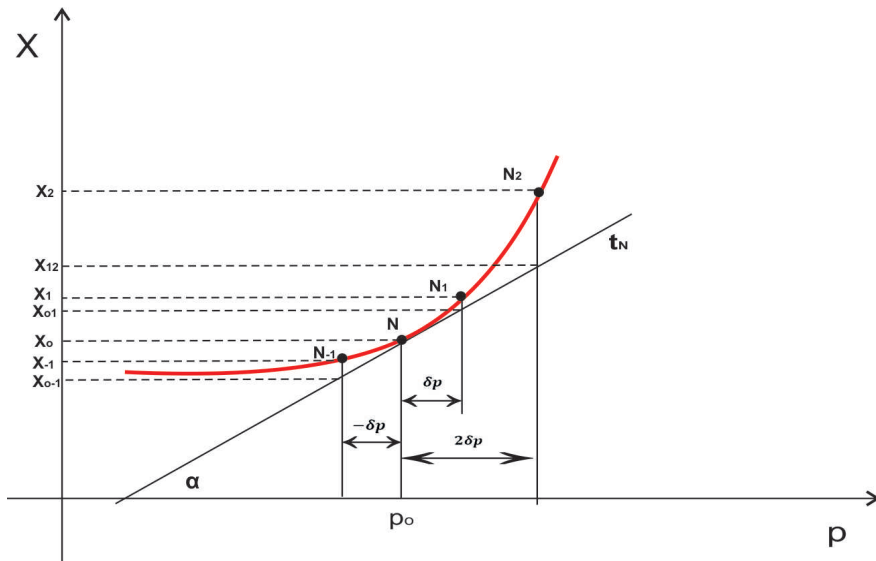
u kojoj su zanemareni članovi višeg reda :

$\frac{\partial^2 \cdot B_0}{\partial p_1 \cdot \partial p_2} \cdot \delta p_1 \cdot \delta p_2, \frac{\partial^2 \cdot B_0}{\partial p_1 \cdot \partial p_3} \cdot \delta p_1 \cdot \delta p_3, \frac{\partial^2 \cdot B_0}{\partial p_2 \cdot \partial p_3} \cdot \delta p_2 \cdot \delta p_3$, zbog toga što su δp_i male veličine. Vrijednosti $\frac{\partial B_0}{\partial p_1}, \frac{\partial B_0}{\partial p_2}, \frac{\partial B_0}{\partial p_3} \dots$ nazivaju se diferencijalni koeficijenti za standardni element balističke putanje B_0 .

Svaki poremećaj p_i uzrokuje nelinearno odstupanje elementa (elemenata) balističke putanje zato što su i diferencijalne jednadžbe po samoj svojoj prirodi nelinearne. Poznato je da uvijek postoje uvjeti kada neka nelinearna odstupanja mogu imati linearnu promjenu, ali to bitno ovisi od veličine poremećaja i veličine osjetljivosti balističkog elementa putanje na taj poremećaj. Budući da se u vanjskoj balistici obično promatraju mali poremećaji kao što je i u ovom slučaju tako da odstupanje elementa balističke putanje ima gotovo linearnu promjenu. Linearnost odstupanja elementa (elemenata) balističke putanje u slučaju utjecaja malog poremećaja proporcionalna je veličini tog poremećaja, a utjecaj više različitih poremećaja jednak je zbroju utjecaja pojedinačnih poremećaja kao što je i prikazano jednadžbom (15). Tako se npr. za korekciju dometa δX kao elementa balističke putanje koji ovisi o virtualnoj temperaturi zraka T_v , gustoći zraka ρ , uzdužnom vjetru W_X i masi projektila m može napisati:

$$\delta X = \frac{\partial X}{\partial T_v} \cdot \delta T_v + \frac{\partial X}{\partial \rho} \cdot \delta \rho + \frac{\partial X}{\partial W_X} \cdot \delta W_X + \frac{\partial X}{\partial m} \cdot \delta m \quad (16)$$

Vrijednosti $\frac{\partial X}{\partial T_v}$, $\frac{\partial X}{\partial \rho}$, $\frac{\partial X}{\partial W_X}$, $\frac{\partial X}{\partial m}$ zovu se diferencijalni koeficijenti dometa za temperaturu zraka, gustoću zraka, uzdužni vjetar i masu projektila. U TG-ovima oni se daju za određenu vrijednost poremećaja, npr. za $\delta T_v = \Delta T_v = 1\%(1^\circ\text{C})$, $\delta \rho = \Delta \rho = 1\%$, $\delta W_X = \Delta W_X = 1 \text{ m/s}$, $\delta m = \Delta m = 1 \text{ težinski znak}$, nazivaju se odstupanja ili korekcije dometa δX i obilježavaju se sa ΔX_{T_v} , ΔX_ρ , ΔX_{W_X} , ΔX_m . Ovdje je potrebno napomenuti da se topnička bojeva gađanja provode u svim vremenskim uvjetima tako da veličine poremećaja δp_i za virtualnu temperaturu zraka, brzinu vjetra i temperaturu baruta koji utječu na domet projektila mogu biti i nekoliko puta veća od vrijednosti za koje su izračunati njihovi pripadajući diferencijalni koeficijenti $\frac{\partial X}{\partial p_i}$. U tom slučaju odstupanja dometa δX_{p_i} po svakom tom poremećaju mogu izaći iz dopuštene granice linearnosti koja vrijedi samo za male poremećaje, dok je trend promjene u naravi uvijek nelinearan. Ovo se vrlo jednostavno može objasniti sa Slikom 2, gdje je prikazana promjena dometa X u ovisnosti o nekom parametru p .



Slika 2. Promjena dometa X u ovisnosti o veličini poremećaja δp

Na Slici 2 nekom standardnom dometu X_o odgovara određeni parametar p_o pa je diferencijalni koeficijent $\frac{\partial X_o}{\partial p_o} = \text{tg}(\alpha)$ u točki N prikazan tangentom t_N . Domet X_1 može se izračunati pomoću diferencijalnog koeficijenta $\frac{\partial X_o}{\partial p_o}$ i vrijednosti pozitivnog poremećaja $+\delta p$ na osnovu jednadžbe $X_1 = X_o + \frac{\partial X_o}{\partial p_o} \cdot \delta p$. Međutim sa Slike 2 vidljivo je da se zapravo s pomoću te jednadžbe dobije domet X_{o1} , ali ne i stvarni domet X_1 pa se na taj način pravi vrlo mala pogreška koja iznosi $\Delta X_1 = X_1 - X_{o1}$. Kada se provodi određivanje dometa X_2 na osnovu dvostruko većeg poremećaja $2 \cdot \delta p$ pomoću diferencijalnog koeficijenta $\frac{\partial X_o}{\partial p_o}$ tj. $X_2 = X_o + \frac{\partial X_o}{\partial p_o} \cdot 2\delta p$ (dobije se domet X_{12} , ali ne i stvarni X_2), radi se značajna pogreška u određivanju stvarnog dometa X_2 , a koja iznosi $\Delta X_2 = X_2 - X_{12}$. Iz navedenog proizlazi da je početne elemente za izvršenje topničkih bojevih gađanja točnije određivati pomoću sustava za upravljanje paljbom koji su napravljeni na osnovu balističkog modela MPMM, koji točno izračunava stvarne domete nego „ručnim“ načinom korištenjem TG-ova, gdje se standardni dometi „popravljaju“ na stvarne (trenutne) pomoću diferencijalnih koeficijenata, a oni zbog svoje nelinearnosti daju pogrešku u određivanju stvarnih dometa. Ovdje je potrebno napomenuti (Slika 2) kada je vrijednost poremećaja negativna $-\delta p$, te na osnovi diferencijalnog koeficijenta $\frac{\partial X_o}{\partial p_o}$ određujemo vrijednost stvarnog dometa X_{-1} po jednadžbi $X_{-1} = X_o - \frac{\partial X_o}{\partial p_o} \cdot \delta p$ neće se dobiti ta vrijednost nego domet X_{o-1} , odnosno pojaviti će se također pogreška $\Delta X_{-1} = X_{-1} - X_{o-1}$, koja je veća od pogreške ΔX_1 koja je dobivena za pozitivnu vrijednost poremećaja $+\delta p$. Jasno je također da to može biti i obrnuto ovisno o vrsti diferencijalnog koeficijenta i njegovoj promjeni o određenom parametru p . Zbog ove činjenice tablice gađanja po NATO STANAG-u 4119 imaju dva diferencijalna koeficijenta za jedan parametar. Prvi diferencijalni koeficijent $\frac{\partial X_o}{\partial p_{o+}}$ primjenjuje se za područje pozitivnih poremećaja $+\delta p$, dok se drugi diferencijalni koeficijent $\frac{\partial X_o}{\partial p_{o-}}$ primjenjuje za područje negativnih poremećaja $-\delta p$ pa se na taj način interval

primjenjivosti linearnih odstupanja proširuje i točnije se dolazi do stvarnih dometa. Diferencijalni koeficijenti matematički se izračunavaju za „ruski“ standard TG-ova pomoću jednadžbe:

$$\frac{\partial B_o}{\partial p_o} = \frac{B(p_o + \Delta p) - B(p_o - \Delta p)}{2 \cdot \Delta p} \quad (17)$$

Postupak izračunavanja diferencijalnih koeficijenata pomoću jednadžbe (17) zove se *metoda razlika*, a provodi se pomoću programa **MPMM_D30** na taj način da se dva puta izračuna balistička putanja odnosno dvije vrijednosti elementa balističke putanje da bi se dobio jedan diferencijalni koeficijent. Prvi puta se određeni parametar p_o kojem pripada standardni element putanje B_o uveća za Δp pa se izračuna element putanje $B(p_o + \Delta p)$, a drugi se put parametar p_o umanjuje za Δp i izračuna se element putanje $B(p_o - \Delta p)$, vodeći računa da oba puta svi ostali parametri p_{oi} ostanu nepromijenjeni. Dobiveni rezultati uvrste se u jednadžbu (17) i izračuna se diferencijalni koeficijent $\frac{\partial B_o}{\partial p_o}$ za element putanje B_o i parametar p_o . Diferencijalni koeficijenti za TG-ove po NATO STANAG-u 4119 matematički se izračunavaju za pozitivnu vrijednost poremećaja $+\delta p$ na osnovu jednadžbe:

$$\frac{\partial B_o}{\partial p_{o+}} = \frac{B(p_o + \Delta p) - B(p_o)}{\Delta p}, \quad (18)$$

dok se za negativnu vrijednost poremećaja $(-\delta p)$ izračunavaju na osnovu jednadžbe:

$$\frac{\partial B_o}{\partial p_{o-}} = \frac{B(p_o - \Delta p) - B(p_o)}{\Delta p}. \quad (19)$$

Postupak izračunavanja diferencijalnih koeficijenata za pozitivne $+\delta p$ i negativne $-\delta p$ vrijednosti poremećaja za TG-ove po NATO standardu također se provodi s pomoću programa **MPMM_D30** *metodom razlika*, samo što u ovom slučaju nije potrebno dva puta računati balističku putanju za jedan diferencijalni koeficijent, nego samo jedanput. Jasno je da su diferencijalni koeficijenti bez obzira da li se izračunavaju po „ruskom“ ili NATO STANAG-u 4119 izrade TG-ova konstantni za jednu balističku putanju.

Postupak izračuna diferencijalnih koeficijenata

Izračun diferencijalnih koeficijenata za gustoću i virtualnu temperaturu zraka kao sastavnih elemenata TG-ova po NATO STANAG-u 4119 u ovom će se radu provesti za oružje H122mmD30 za nekoliko standardnih dometa u intervalu od 11000m do maksimalnog dometa, koji iznosi 15221m za donju i gornju skupinu kutova za puno punjenje sa projektilom OF-462 i upaljačem RGM-2. Da bi se ovakav izračun mogao provesti, potrebno je iz TG-ova po „ruskom“ standardu odrediti ovisnost koeficijenata usklađivanja dometa $C_1(\alpha_0)$ i pravca $C_2(\alpha_0)$ o početnom kutu elevacije α_0 . Koeficijenti usklađivanja dometa i pravca također se određuju pomoću programa **MPMM_D30** za standardnu atmosferu ANA (engl. *artillery normal atmosphere*) i standardne balističke uvjete po kojima su izrađene TG-ovi po „ruskom“ standardu (M.Gajić, i J.Viličić 1978, str.396-421), ali oni vrijede za sve standardne ili stvarne atmosfere pa tako i za ICAO (HRVN STANAG 4044) atmosferu na osnovu koje su izrađene TG-ovi po NATO STANAG-u 4119. Koristeći *metodu najmanjih kvadrata* (R. Scitovski,1993, str.39-42) dobiveni koeficijenti usklađivanja, koji su ovisni o početnim kutovima α_0 , aproksimiraju se određenim funkcijama modelima najčešće u obliku polinoma $C = b_0 + b_1 \cdot \alpha_0^1 + b_2 \cdot \alpha_0^2 + \dots$, odnosno pomoću nje se određuju traženi koeficijenti b_0, b_1, b_2, \dots itd. Jasno, što je funkcija model u obliku polinoma većeg stupnja, biti će manja pogreška aproksimacije. Izračunati koeficijenti usklađivanja dometa $C_1(\alpha_0)$ i pravca $C_2(\alpha_0)$ projektila nalaze se u programskom kodu **MPMM_D30**. Da bi program **MPMM_D30** mogao rješavati i indirektni model INMPMM, odnosno na osnovi poznatog dometa odrediti početni kut α_0 u stvarnoj ili standardnoj atmosferi on mora u sebi sadržavati početne aproksimacijske kutove α_0 koji odgovaraju tim dometima. U ovom radu su ti početni kutovi određeni na osnovu standardnih dometa X_T iz TG-a po „ruskom“ standardu također korištenjem *metode najmanjih kvadrata*, odnosno određena je funkcionalna ovisnost $\alpha_0(X_T)$ početnog kuta α_0 o pripadajućem standardnom dometu X_T . Ova aproksimacija početnog kuta α_0 pokazala se dovoljno točna jer se

standardne atmosfere ANA i ICAO malo razlikuju (ICAO je za 1,6% „teža“ od ANA atmosfere). Funkcionalne ovisnosti $\alpha_0(X_T)$ početnog kuta α_0 o standardnom dometu X_T za donju skupinu kutova nalaze se u Tablici 1. a za gornju skupinu kutova u Tablici 2.

Tablica 1. Ovisnost početnog kuta α_0 o dometu X_T za donju skupinu kutova iz TG-a po „ruskom“ standardu

α_0	18,36°	26,04°	38,46°	45°
X_T	11000m	13000m	15000m	15286m
$\alpha_0(X_T) = -184,45532 + 43,838276 \cdot \alpha_0^1 - 3,4366705 \cdot \alpha_0^2 + 0,09009344 \cdot \alpha_0^3$				

Tablica 2. Ovisnost početnog kuta α_0 o dometu X_T za gornju skupinu kutova iz TG-a po „ruskom“ standardu

α_0	66,84°	61,02°	50,7°	45°
X_T	11000m	13000m	15000m	15286m
$\alpha_0(X_T) = 37,77706 - 7,7175736 \cdot \alpha_0^1 + 0,6537563 \cdot \alpha_0^2 - 0,01902082 \cdot \alpha_0^3$				

Postupak izračuna diferencijalnih koeficijenata za virtualnu temperaturu zraka T_v i gustoću zraka ρ za format TG-ova po NATO STANAG-u 4119 korištenjem programa **MPMM_D30** biti će prikazan na standardnom dometu od 11000m za donju skupinu kutova (postupak je isti za sve domete i skupine kutova). Budući da su original TG-ova po NATO STANAG-u izrađene za standardnu temperaturu baruta $T_{tb} = 21^\circ\text{C}$ dok su TG-ovi po „ruskom“ standardu izrađene za standardnu temperaturu baruta $T_{tb} = 15^\circ\text{C}$, potrebno je izračunati povećanje standardne početne brzine V_0 na osnovi koje će se provesti postupak izračuna jer veća temperatura baruta povećava početnu brzinu projektila. Unutarnjorbalistički popravni koeficijent za temperaturu baruta (Sluhocki) za standardnu početnu brzinu od $V_{01} = 690 \text{ m/s}$ iznosi $l_t = 0,0008$. Potrebno povećanje standardne početne brzine sada se izračunava na osnovu jednadžbe (12) koje iznosi $\Delta V_{0b} = (T_b - T_{tb}) \cdot l_t \cdot V_{01} = (21^\circ\text{C} -$

$15^{\circ}\text{C}) \cdot 0,0008 \cdot 690 = 3,312 \text{ m/s}$, tako da sada standardna početna brzina za TG-a po NATO STANAG-u 4119 koju koristi **MPMM_D30** iznosi $V_{02} = 693,3 \text{ m/s}$.

Potrebni ulazni parametri za proračun diferencijalnih koeficijenata

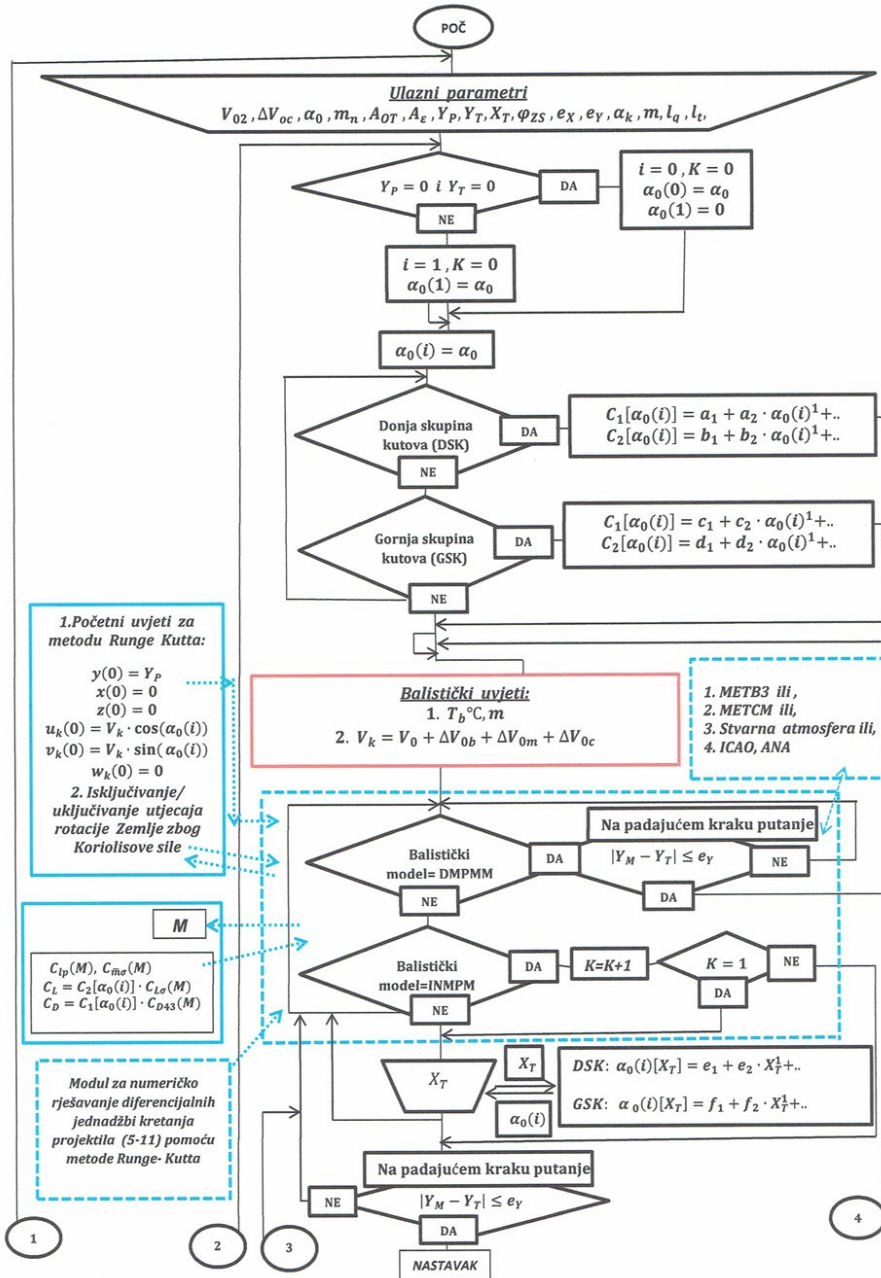
- PeP → puno punjenje
- Projektil OF-462 sa upaljačem RGM-2
- α_0 → početni kut u ° za balistički model DMPMM
- $C_1(\alpha_0)$, $C_2(\alpha_0)$ → koeficijenti usklađivanja (integrirani u MPMM_D30)
- $\alpha_0(X_T)$ → (Tablice 1,2.)
- $V_{01} = 690 \text{ m/s}$ → standardna početna brzina za „Ruski“ standard TG-a
- $V_{02} = 693,3 \text{ m/s}$ → standardna početna brzina za TG-a po NATO STANAG-u 4119
- $m_n = 21,76 \text{ kg}$ → standardna masa projektila
- 1 težinska oznaka (+ ili -) na projektilu OF-462 = 0,145 kg
- $I_x = 0,0414 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ → uzdužni moment inercije
- $A_\varepsilon = 7,15^{\circ}$ → kut uvijanja žljebova na ustima cijevi
- $l_t = 0,0008$ → unutarjobalistički koeficijent za temperaturu baruta
- $l_q = 0,31$ → unutarjobalistički koeficijent za masu projektila
- $\varphi_{ZS} = 45^{\circ}$ → zemljopisna širina pozicije oružja (PP),
- $\alpha_k = 1^{\circ}$ → korekcija početnog kuta $\alpha_0(0)$ za balistički model INMPMM,

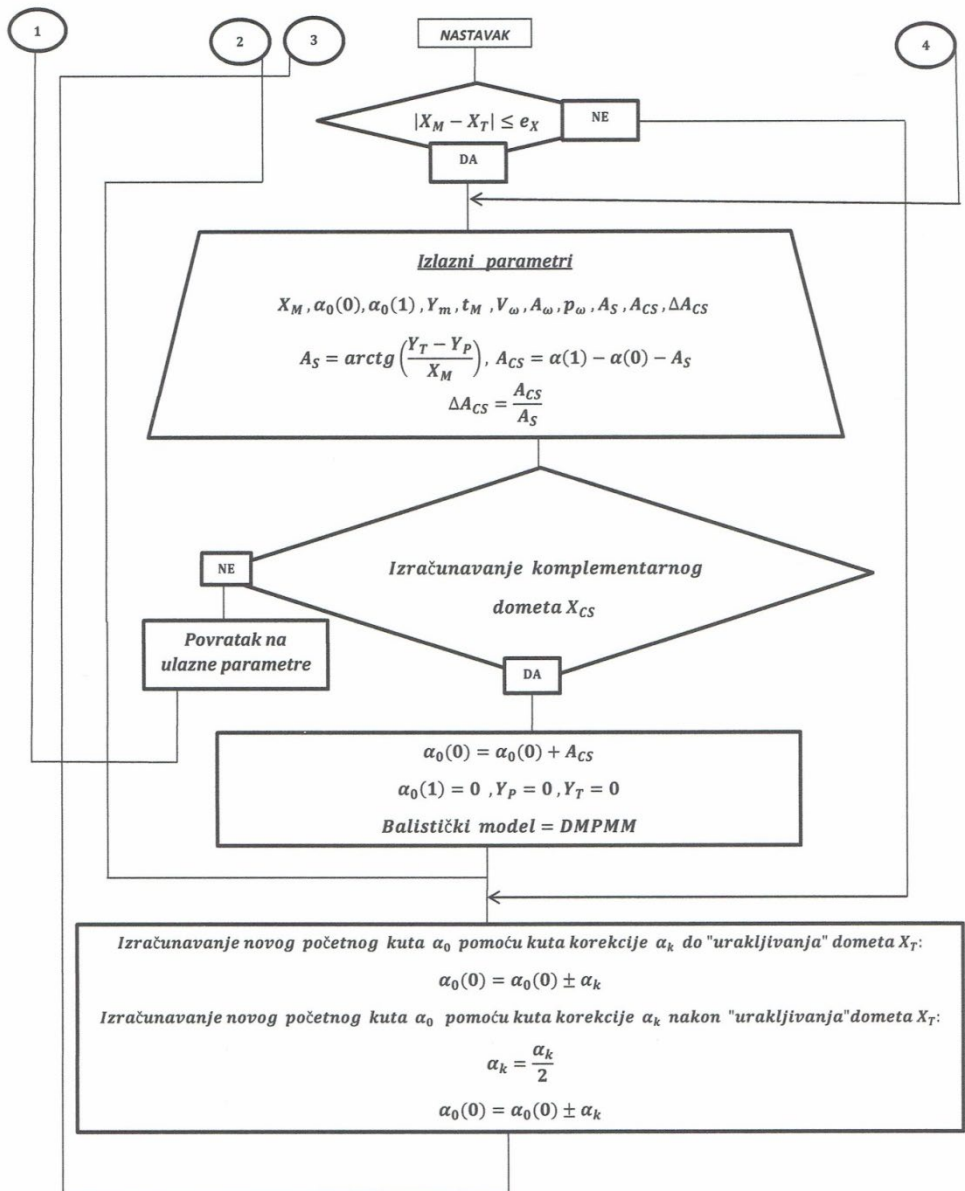
- mil → tisućiti 1/6400 opsega kruga
- td → tisućiti 1/6000 opsega kruga .

U Tablici 3 prikazani su aerodinamički koeficijenti za projektil OF-462 (S. Janković 1998, CD) .

Tablica 3: Aerodinamički koeficijenti za projektil OF-462

M	C_{D43}	$C_{L\sigma}$	C_{lp}	$C_{m\sigma}$
0,1	0,157	1,635	-0,038	2,831
0,4	0,157	1,610	-0,034	2,874
0,6	0,158	1,566	-0,031	2,950
0,8	0,160	1,470	-0,029	3,126
0,9	0,190	1,355	-0,028	3,339
0,94	0,244	1,311	-0,027	3,507
0,96	0,271	1,299	-0,027	3,579
0,98	0,298	1,325	-0,027	3,591
1,05	0,360	1,597	-0,026	3,651
1,1	0,382	1,787	-0,026	3,455
1,2	0,385	2,044	-0,025	3,189
1,3	0,382	2,218	-0,024	3,039
1,5	0,361	2,440	-0,023	2,840
2	0,316	2,702	-0,020	2,551
2,5	0,287	2,707	-0,016	2,322





Slika 3: Blok dijagram za MPMM_D30

U program **MPMM_D30** unesu se svi standardni balistički i meteouvjeti, standardni domet $X_T = 11000\text{m}$, te koristeći se indirektnim balističkim modelom INMPMM dobiju se slijedeći izlazni rezultati koji su prikazani na Slici 4.

Standardni početni kut A_E iz modela INMPMM $\alpha_0(0) =$	18,47°
Standardni početni kut A_E iz modela INMPMM (1/6400) $\alpha_0(0) =$	328,3 mils
Ukupna elevacija A_{QE} iz modela INMPMM (1/6400) $\alpha_0(1) =$	328,3 mils
Mjesni kut iz modela INMPMM (1/6400) $A_S =$	0 mils
Korekcija mjesnog kuta iz modela INMPMM (1/6400) $A_{CS} =$	0 mils
Korekcija A_S za 1 mil iz modela INMPMM (1/6400) $\Delta A_{CS} =$	0 mils
Računski domet iz modela INMPMM $X_M =$	10999,5 m
Visina pozicije oružja iz modela INMPMM $Y_P =$	0 m
Visina cilja iz modela INMPMM $Y_T =$	0 m
Standardno skretanje (derivacija 1/6400) po modelu INMPMM $A_D =$	8,3 mils
Standardna početna brzina $V_{02} =$	693,3 m/s
Visina tjemena putanje dobijena iz modela INMPMM $Y_m =$	1310,4 m
Vrijeme leta iz modela INMPMM $t_M =$	31,43 s
Padni kut iz modela INMPMM (1/6400) $A_\omega =$	-563 mils
Krajnja brzina iz modela INMPMM $V_\omega =$	279,7 m/s
Krajnja kutna brzina iz modela INMPMM $p_\omega =$	994,0 rad/s

Slika 4: Parametri balističke putanje za standardni domet

$X_T = 11000\text{m}$ po NATO STANAG-u 4119

Oznake koje se koriste za kutove elevacije i pravca cijevi po NATO STANAG-u 4119 su: A_{QE} (ukupna elevacija), A_E (standardni tablični početni kut), A_S (mjesni kut), A_{CS} (korekcija mjesnog kuta), ΔA_{CS} (korekcija mjesnog kuta za 1 mil), A_ω (padni kut), A_D (derivacija), X_{CS} (komplementarni domet). Komplementarni domet X_{CS} (Elizabeth R. Dickinson, 1967 str. 57-58) je domet sa uračunatom komplementarnom korekcijom dometa $\Delta_c X_{CS}$ koja postoji zbog razlike visine pozicije oružja i cilja. Ukupna elevacija za gađanje nekog cilja ukoliko postoji visinska razlika između pozicije oružja Y_P i cilja Y_T iznosi: $A_{QE} = A_E + A_S + A_{CS}$. U programu **MPMM_D30** ukupna elevacija A_{QE} označena je sa $\alpha_0(1)$, a standardni početni kut A_E sa $\alpha_0(0)$ zbog prilagođavanja oznaka strukturi programskog koda. Tablica F(ii), (Slika 9) u TG-ovima izrađenim prema NATO STANAG-u 4119 služi za određivanje diferencijalnih koeficijenata (korekcije dometa) pomoću kojih se izračunava balistička putanja projektila u stvarnoj atmosferi. Za izračunavanje tablice F(ii) koristi se direktni model DMPMM u programu **MPMM_D30**. U TG-ovima prema NATO STANAG-u 4119 stanje

atmosfere određeno je s diferencijalnim koeficijentima za balističko odstupanje gustoće $\Delta\rho_B$ i balističko odstupanje virtualne temperature zraka ΔT_{Bv} dok je prema „ruskom“ standardu određeno s diferencijalnim koeficijentima za balističko odstupanje tlaka zraka ΔH_B i balističko odstupanje virtualne temperature zraka ΔT_{Bv} . Diferencijalni koeficijent za balističko odstupanje virtualne temperature zraka ΔT_{Bv} u TG-ovima po NATO STANAG-u 4119 zapravo predstavlja diferencijalni koeficijent za balističko odstupanje brzine zvuka Δa_B jer je virtualna temperatura zraka T_v već uračunata u gustoći zraka ρ . Tako da se u TG-ovima po NATO STANAG-u umjesto diferencijalnog koeficijenta za balističko odstupanje brzine zvuka od $\Delta a_B = 0.5\%$ unosi ekvivalentni diferencijalni koeficijent za balističko odstupanje virtualne temperature zraka $\Delta T_{Bv} = 1\%$ (promjena temperature zraka od 1% mijenja brzinu zvuka za 0.5%). Utjecaj virtualne temperature zraka T_v u tablicama gađanja po „Ruskom“ standardu različit je od utjecaja virtualne temperature zraka u TG-a po NATO STANAG-u 4119. Po „ruskom“ standardu temperatura zraka utječe dvojakom tj. virtualna temperatura zraka T_v mijenja funkciju tlaka zraka H s visinom (u skladu sa vertikalnom ravnotežom atmosfere), što naravno odmah utječe na promjenu gustoće zraka i brzine zvuka. Tako da je u tablicama gađanja po „ruskom“ standardu utjecaj virtualne temperature zraka T_v prikazan kao zbroj oba efekta. Jasno je da je utjecaj virtualne temperature zraka T_v za oba standarda samo rezultat načina programiranja balističkog modela MPMM (za oba standarda diferencijalni koeficijenti za utjecaj vjetra na isti način se izračunavaju pomoću programa **MPMM_D30**). Kada se ne raspolože meteobiltenom METB3 (HRVN STANAG 4061, M. Blaha, L.Potužák, 2013, str.291-292), koji je kompatibilan sa NATO STANAG-om 4119, vrši se ručno izračunavanje relativnog balističkog odstupanja gustoće $\Delta\rho_B$ (%) i virtualne temperature zraka ΔT_{Bv} (%) pomoću jednadžbi:

$$\Delta\rho_B (\%) = \frac{\rho_i - \rho_o}{\rho_o} \cdot 100, \quad (20)$$

$$\Delta T_{Bv} (\%) = \frac{T_{iv} - T_o}{T_o} \cdot 100, \quad (21)$$

gdje je ρ_i (stvarna gustoća zraka), $\rho_o = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (standardna gustoća zraka za ICAO atmosferu na razini mora), T_{iv} °K (izmjerena virtualna temperatura zraka), $T_o = 273,15 + 15 = 288,15 \text{ °K}$ (standardna temperatura zraka za ICAO atmosferu na razini mora). Izlazni rezultati direktnog modela DMPMM programa **MPMM_D30** za standardni domet $X_T = 11000\text{m}$ i za vrijednost balističkog odstupanja virtualne temperature zraka $\Delta T_{Bv} (\%) = +1\%$ prikazani su na Slici 5. Svi ostali standardni meteobalistički uvjeti ostaju nepromijenjeni. Balističko odstupanje virtualne temperature zraka od $\Delta T_{Bv} (\%) = +1\%$ utjecalo je na povećanje dometa $\Delta X_{M-T} = +3,7\text{m}$ pa je diferencijalni koeficijent koji se upisuje u kolonu 15. u Tablici F(ii) $\Delta X_{M-T} = -3,7\text{m}$.

Standardni početni kut A_E iz modela DMPMM $\alpha_o(0) = \dots\dots\dots$	18,47°
Standardni domet iz modela DMPMM $X_T = \dots\dots\dots$	11000 m
Računski domet iz modela DMPMM $X_M = \dots\dots\dots$	11003,7 m
Korekcija dometa zbog $\Delta T_{Bv} (\%) = +1\%$ $\Delta X_{M-T} = \dots\dots\dots$	-3,7 m
Standardna početna brzina $V_{o2} = \dots\dots\dots$	693,3 m/s
Visina tjemena putanje iz modela DMPMM $Y_m = \dots\dots\dots$	1308,4 m
Vrijeme leta iz modela DMPMM $t_M = \dots\dots\dots$	31,42 s

Slika 5: Korekcija dometa zbog balističkog odstupanja virtualne temperature zraka $\Delta T_{Bv} = +1\%$

Izlazni rezultati direktnog modela DMPMM programa **MPMM_D30** za standardni domet $X_T = 11000\text{m}$ i za vrijednost balističkog odstupanja virtualne temperature zraka $\Delta T_{Bv} (\%) = -1\%$ prikazani su na Slici 6. Svi ostali standardni meteobalistički uvjeti ostaju nepromijenjeni. Balističko odstupanje virtualne temperature zraka od $\Delta T_{Bv} (\%) = -1\%$ utjecalo je na smanjenje dometa $\Delta X_{M-T} = -4,8\text{m}$ pa je diferencijalni koeficijent koji se upisuje u kolonu 14. u Tablici F(ii) $\Delta X_{M-T} = +4,8\text{m}$.

Standardni početni kut A_E iz modela DMPMM $\alpha_0(0) =$	18,47°
Standardni domet iz modela DMPMM $X_T =$	11000 m
Računski domet iz modela DMPMM $X_M =$	10995,2 m
Korekcija dometa zbog ΔT_{Bv} (%) = -1% $\Delta X_{M-T} =$	+4,8m
Standardna početna brzina $V_{02} =$	693,3 m/s
Visina tjemena putanje iz modela DMPMM $Y_m =$	1310,6 m
Vrijeme leta iz modela DMPMM $t_M =$	31,45 s

Slika 6: Korekcija dometa zbog balističkog odstupanja virtualne temperature zraka $\Delta T_{Bv} = -1\%$

Izlazni rezultati direktnog modela DMPMM programa **MPMM_D30** za standardni domet $X_T = 11000\text{m}$ i za vrijednost balističkog odstupanja gustoće zraka $\Delta\rho_B$ (%) = +1% prikazani su na Slici 7. Svi ostali standardni meteo-balistički uvjeti ostaju nepromijenjeni. Balističko odstupanje gustoće zraka od $\Delta\rho_B$ (%) = +1% utjecalo je na smanjenje dometa $\Delta X_{M-T} = -53,9\text{m}$ pa je diferencijalni koeficijent koji se upisuje u kolonu 17. u Tablici F(ii) $\Delta X_{M-T} = +53,9\text{m}$.

Standardni početni kut A_E iz modela DMPMM $\alpha_0(0) =$	18,47°
Standardni kartografski domet iz modela DMPMM $X_T =$	11000 m
Računski domet iz modela DMPMM $X_M =$	10946,1 m
Korekcija dometa zbog $\Delta\rho_B$ (%) = +1% $\Delta X_{M-T} =$	+53,9m
Standardna početna brzina $V_{02} =$	693,3 m/s
Visina tjemena putanje iz modela DMPMM $Y_m =$	1303,5 m
Vrijeme leta iz modela DMPMM $t_M =$	31,36 s

Slika 7: Korekcija dometa zbog balističkog odstupanja gustoće zraka $\Delta\rho_B = +1\%$

Izlazni rezultati direktnog modela DMPMM programa **MPMM_D30** za standardni domet $X_T = 11000\text{m}$ i za vrijednost balističkog odstupanja gustoće zraka $\Delta\rho_B$ (%) = -1% prikazani su na Slici 8. Svi ostali standardni meteo-balistički uvjeti ostaju nepromijenjeni. Balističko odstupanje gustoće zraka od $\Delta\rho_B$ (%) = -1% utjecalo je na povećanje dometa $\Delta X_{M-T} = +52,7\text{m}$ pa je diferencijalni koeficijent koji se upisuje u kolonu 16. u Tablici F(ii) $\Delta X_{M-T} = -52,7\text{m}$.

Standardni početni kut A_B iz modela DMPMM $\alpha_0(0) = \dots\dots\dots 18,47^\circ$
Standardni domet iz modela DMPMM $X_T = \dots\dots\dots 11000 \text{ m}$
Računski domet iz modela DMPMM $X_M = \dots\dots\dots 11052,7 \text{ m}$
Korekcija dometa zbog $\Delta\rho_B$ (%) = $-1\% \Delta X_{M-T} = \dots\dots\dots -52,7 \text{ m}$
Standardna početna brzina $V_{0,2} = \dots\dots\dots 693,3 \text{ m/s}$
Visina tjemena putanje iz modela DMPMM $Y_m = \dots\dots\dots 1315,4 \text{ m}$
Vrijeme leta iz modela DMPMM $t_M = \dots\dots\dots 31,51 \text{ s}$

Slika 8: Korekcija dometa zbog balističkog odstupanja gustoće zraka $\Delta\rho_B = -1\%$

Osim standardnog dometa $X_T = 11000\text{m}$, Tablica F(ii) na Slici 9 popunjena je za još nekoliko standardnih dometa u intervalu od 11000m do maksimalnog dometa 15221m za donju i gornju skupinu kutova pomoću programa MPMM_D30 .

TG-u za H122mmD30 prema NATO STANAG-u 4119

punjenje PUNO projektil OF462/462Ž upaljač RGM-2 $V_0=693,3\text{m/s}$

TABLICA F(ii)

KOREKCIJE DOMETA ZBOG NESTANDARDNIH UVJETA ΔcX

1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Domet (X)	Korekcije dometa									
	1 M/S početne brzine (1 m/s V_0)		1 KT uzdužnog vjetra (1KT W_X)		1% balističke temp.zraka (1% T_B)		1% balističke gustoće zraka (1% ρ_B)		1 znak mase projektila ($m_n - 1$ oznaka)	
	Smanj. (-)	Poveć. (+)	Čeoni \bar{W}	Stražnji \underline{W}	Smanj. (-)	Poveć. (+)	Smanj. (-)	Poveć. (+)	Smanj. (-)	Poveć. (+)
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
.
11000	4.8	-3.7	-52.7	53.9	.	.
11200	5.1	-3.9	-54.2	55.4	.	.
.
15200	11.7	-12.0	-88.5	87.1	.	.
15221	12.1	-12.2	-90.2	88.3	.	.
GORNJA SKUPINA KUTEVA										
15200	12.5	-12.3	-90.1	88.5	.	.
.
11200	10.6	-10.2	-71.3	69.5	.	.
11000	10.5	-10.0	-70.1	68.3	.	.
.

Slika 9: Tablica F(ii) po NATO STANAG-u 4119

U ovom radu tablica F(ii) popunjena je s dva diferencijalna koeficijenta

mogu se na identičan način izračunati i ostali diferencijalni koeficijenti i u potpunosti popuniti Tablica F(ii).

Zaključak

Balistički model MPMM omogućuje određivanje svih potrebnih parametara balističke putanje (domet, vrijeme leta, diferencijalni koeficijenti, tjeme putanje itd.) i zato je vrlo pogodan za izračivanje tablica gađanja po raznim standardima i projektiranje računalnih sustava za upravljanje paljbom za klasične žiroskopski stabilizirane topničke projekte. Isto tako s pomoću ovog modela može se provesti suvremen i cjelovit postupak konverzije bilo kojih standardiziranih tablica gađanja na neki drugi standard, kao što je prikazano u ovom radu ako su poznati standardni meteobalistički uvjeti, podaci o projektilu, njegovi aerodinamički koeficijenti i ostali eventualni tehnički uvjeti po kojima su izrađene. Također je potrebno spomenuti da je balistički model MPMM prikladan za izračunavanje svih elemenata putanje klasičnog projektila (ili mine) i zbog

Oznake

A_0 azimut gađanja	[mil]
A_w azimut vjetra	[mil]
A_ε kut uvijanja žljebova	[°]
d kalibar	[mm]
H tlak zraka	[hPa]
I_X uzdužni moment inercije	[kg·m ²]
KT čvor	[m/s]
m masa	[kg]
p kutna brzina projektila (parametar)	[rad/s]
V_0 početna brzina projektila	[m/s]
V_w brzina vjetra	[m/s]
u horizontalna komponenta brzine	[m/s]
v okomita komponenta brzine	[m/s]
w bočna komponenta brzine	[m/s]
T_V virtualna temperatura zraka	[° K]
T_b temperatura baruta	[° C]
X_T standardni domet	[m]

X_M domet iz modela MPMM	[m]
X_{CS} komplementarni domet	[m]
$\Delta_c X_{CS}$ komplementarna korekcija dometa	[m]
Y_T visina cilja	[m]
Y_M visina cilja iz modela MPMM	[m]
Y_P visina pozicije oružja	[m]
<i>Grčka slova</i>	
α_0 početni kut	[°]
α kut nagiba tangente na putanji projektila	[°]
β kut klizanja	[°]
ρ gustoća zraka	[kg/m ³]
φ_{ZS} zemljopisna širina pozicije oružja	[°]
σ napadni kut	[°]
Ω_E kutna brzina Zemlje	[rad/s]

Literatura

- S. Janković (Zagreb 1998) , *Mehanika leta projektila*, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- M. Gajić, i J. Viličić (Beograd 1978), *Balistika*, Vojnoizdavački zavod
- Adoption of a standard cannon artillery firing table format (Brussel, 2007) , STANAG 4119
- TC 3-09.81 (Washington DC,2016), *Field Artillery Manual Cannon Gunnery*, Headquarters, Department of the Army
- M.Blaha, L.Potužák (Brno,2013), *Meteorological reports in the Perspective Automated Artillery Fire Support Control System*, Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control, Signal Processing and Informatics, Czech Republic
- K.Šilinger,M.Blaha (Brno 2017), *Conversions of METB3 Meteorological Messages into the METEO11 Format*, 2017 International Conference on Military Technologies (ICMT) May 31 – June 2, 2017, Czech Republic
- Elizabeth R.Dickinson (Maryland,1967) ,*The production of firing tables for cannon artillery*, Ballistic research laboratories, report no.1371
- R.Scitovski (Osijek 1993) ,*Problemi najmanjih kvadrata i financijska matematika*, Elektrotehnički fakultet Osijek
- Pravilnik o normizaciji u MO i OSRH, izdanje NN 88/2019, broj dokumenta u izdanju 1759, (članak 5, članak 6)

O autoru

Bojnik Ivan Katalinić (ivankatal@net.hr) u OSRH je pristupio 30. 6. 1991. u dragovoljačke odrede Narodne zaštite. Od 28. 8. 1991. godine pripadnik je A-satnije druge bojne 132. brigade Našice, iz koje 10. 8. 1992. prelazi u Topničko-raketnu bojnu, 3. gbr-a (današnja Gardijska oklopno-mehani-zirana brigada) i ostaje u njoj do 31. 1. 2016. Na HVU „Dr. Franjo Tuđman“ raspoređen je 1. 2. 2016. godine na dužnost nastavnika topništva u Dekanatu, Katedra taktike rodova, Odsjek rodova borbene potpore, gdje provodi nastavu na vojnoj izobrazbi (TČI, NČI) i na vojno-studijskim programima, smjer Vojno inženjerstvo, rod topništvo. Sudjeluje u timu GS OSRH-a za usvajanje softvera za upravljanje vatrom za OSRH. Područje interesa i rada su teorija i pravilo gađanja zemaljskog topništva, sustavi za upravljanje vatrom topništva i implementacija specijalističkih ciljeva sposobnosti i topničkih STANAG-a u nastavne planove i programe za rod topništvo.