

# IMS - Balistika

Krištof Šiška

December 2022

## 1 Úvod

Žijeme v dobe, kedy každodenný život je sužovaný vojnami a ozbrojenými konfliktmi. Vývoj vojnových zbraní sa opäť dostal do úpredia a krajiny sa snažia čo najrýchlejšie a najefektívnejšie vyvíjať nové a nové prostriedky, ktoré by zvrátili vojnu v jej prospech. Jedna z najvyužívanějších a najefektívnejších vojenských zbraní proti pozemným vojskám sú húfnice. Táto práca je zameraná na zistenie dodatočných informácií a kalibráciu uhla výstrelu na zasiahnutie cieľa húfnice Zuzana 2, ktorá bola vyvinutá Slovenskou Republikou a je aktuálne nasadená v konfliktoch na Ukrajine.

### 1.1 Autor

Autorom tejto práce je Krištof Šiška. V súčasnej dobe študuje 3. ročník bakalárskeho štúdia na Fakulte informačných technológií VUT v Brne.

### 1.2 Validita modelu

Model bol validovaný pomocou porovnania výsledkov s už existujúcimi trajektóriami balisticky chovajúcich sa objektov. Po porovnaní bolo usúdené, že model je validný a vykazuje správanie podobné iným, už existujúcim balistickým modelom, avšak s istotou sa nedá určiť či je správny. Môže za to hlavne veličina zvaná **koeficient odporu vzduchu**, ktorá nie je pre náboje húfnice Zuzany 2 daná a v dnešnej dobe nemá jasný postup pre získanie správnych výsledkov výpočtami a zisťuje sa pomocou experimentov za reálnych podmienok.

## 2 Rozbor témy

Téma sa zaoberá problémom zameriavania na nepriateľské ciele. Pri simuláciach sa uvažujú nasledujúce veci:

- Rýchlosť vystrelenej munície je 932 km/h. Zdroje uvádzajú, že maximálny dostrel húfnice Zuzany 2 je 41 km pri použití striel OFd M3DV. V simuláciach sa uvažuje využitie práve týchto nábojov. Zdroj

- Plocha ničivosti strely s kalibrom 155mm po dopade je kruh so stredom v bode dopadu munície a polomerom 50 m. Cieľ sa považuje za zasiahnutý, pokiaľ sa nachádza v ploche tohto kruhu. Zdroj
- Pri prevádzaní experimentov má húfnica už korektne nastavený smer hlavne smerom k cieľu.
- Sú zanedbané isté faktory pri výpočtoch trajektórie ako rýchlosť a smer vetra a coriolisova sila. Rýchlosť a smer vetra by do výpočtov priniesli prílišnú mieru variability a z výsledkov by bolo ťažké odpozorovať validitu modelu.

### 3 Použité technológie

Keďže modelovaná téma je matematickým modelom je potrebné zvoliť spoľahlivý a hlavne rýchly nástroj na prevádzanie výpočtov. Z týchto dôvodov bol použitý programovací jazyk C. Jeho matematické knižnice umožňujú pracovať s trigonometrickými funkciami, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou riešenia balistických problémov. C je radený medzi najrýchlejšie programovacie jazyky pre jeho jednoduchosť a pri správnej implementácii problémov dosahuje výborné výsledky z oblasti efektivity.

## 4 Konceptia

### 4.1 Popis matematického modelu

Model je popísaný sústavou nasledujúcich rovníc.

$$V_x(t) = V_x(t-1) + \delta t * A_x(t-1)$$

$$V_y(t) = V_y(t-1) + \delta t * A_y(t-1)$$

$$x(t) = x(t-1) + \delta t * V_x(t-1)$$

$$y(t) = y(t-1) + \delta t * V_y(t-1)$$

$$A_x(t) = -\frac{F_d * \cos \alpha}{M}$$

$$A_y(t) = -g - \frac{F_d * \cos \alpha}{M}$$

$V_x(t)$  je horizontálna rýchlosť [m/s]

$V_y(t)$  je vertikálna rýchlosť [m/s]

$A_x(t)$  je horizontálne zrýchlenie [m/s<sup>2</sup>]

$A_y(t)$  je vertikálne zrýchlenie [m/s<sup>2</sup>]

$x(t)$  je horizontálna poloha [m]

$y(t)$  je vertikálna poloha [m]

$\delta t$  je časový krok [s]

$F_d$  je odpor vzduchu [N]

$\alpha$  je uhol vystrelenej strely [°]

$g$  je gravitačné zrýchlenie [ $m/s^2$ ]

$M$  je hmotnosť strely [kg]

## 5 Popis riešenia

Výpočet teoreticky najlepšieho uhla na odpálenie strely bol zisťovaný pomocou modulu `best_angle.c`. Tento modul bol zároveň po menších úpravách použitý na zistenie rýchlosti odpáleného náboja. `howitzer.c` je hlavný súbor, ktorý obsahuje implementáciu simulácií výstrelu a zisťovanie daného uhla. V `howitzer.c` je implementovaná simulácia výstrelu z húfnice na **statický** cieľ. Vzďialenosť cieľa sa dá špecifikovať buď upravením premennej `target` na požadovanú hodnotu, alebo zadať vzdialenosť ako 2. argument spustenia programu. Pri výbere druhotného riešenia sa program spúšťa nasledovne :

```
./how <target>
```

Kde `target` je vzdialenosť cieľa od húfnice v metroch.

Súbor `dragless.c` bol použitý na zistenie miery dôležitosti počítania s odporom vzduchu.

## 6 Experimenty

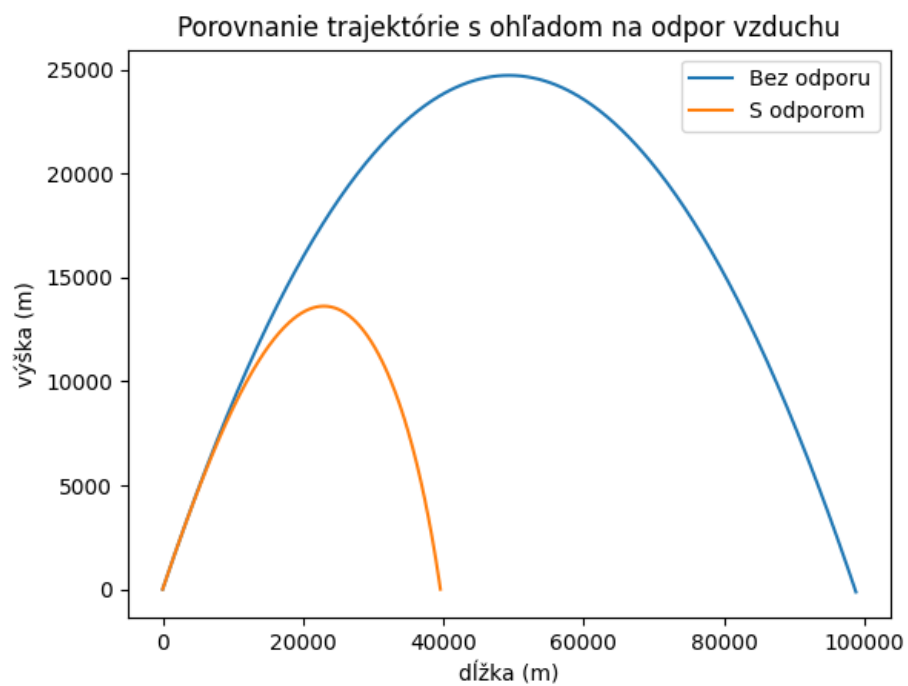
Podstatou experimentov bolo v prvom rade zistenie konkrétnych údajov o modelovanom systéme. Týmito údajmi sa myslia informácie ako ideálny uhol odpalu pre maximálny dosah a rýchlosť vystrelenej munície. Takisto bolo cieľom zistiť najdôležitejšie faktory v počítaní trajektórií letov. V druhom rade išlo o využitie simulácií na výpočet uhla odpalu na zasiahnutie cieľa rôzne vzdialeného v dosahu húfnice.

### 6.1 Ideálny uhol odpalu pre maximálny dosah

Na výpočet rýchlosti vystreleného náboja je prvotne nutné zistiť ideálny uhol pre maximálny dosah strely. Ak by sa pri výpočtoch trajektórií neuvažovalo o odpore vzduchu, ideálny uhol by bol 45 °, avšak takýto postup by znevalidoval navrhnutý model, keďže výsledky by obsahovali značné odchýlky od reality, ako

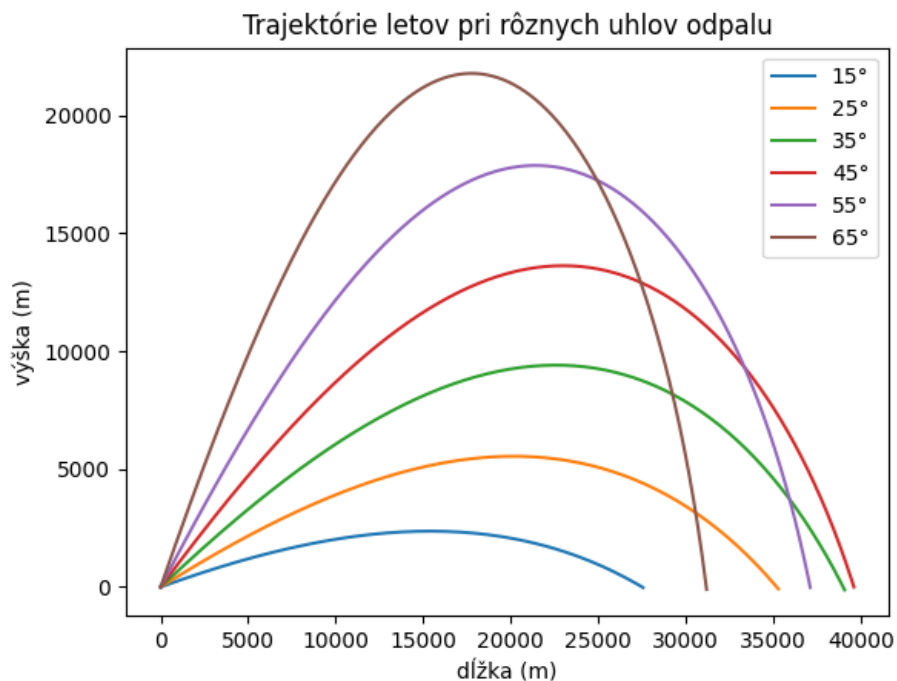
je ukázané na nasledujúcom grafe.

Figure 1: Porovnanie trajektórií s ohľadom na odpor vzduchu



Z grafu vyplýva, že rozdiel dostrelu pri ignorovaní odporu vzduchu a pri počítaní s odporom je približne 60 000 m. Z týchto výsledkov vieme konštatovať, že odpor vzduchu je jeden z najdôležitejších faktorov pri počítaní trajektórií.

Figure 2: Trajektórie letov pri rôznych uhloch odpalu



Pre zistenie ideálneho uhla odpalu pre maximálny dosah bola spustená simulácia odpalu strely, pričom sa postupne menil počiatočný uhol odpalu. Po skončení behu programu a analýze výsledkov (porovnanie dosahu strely v bode dopadu) bolo dospené k záveru, že ideálnym uhlom odpalu pre maximálny dosah strely je  $39.999^\circ$ .

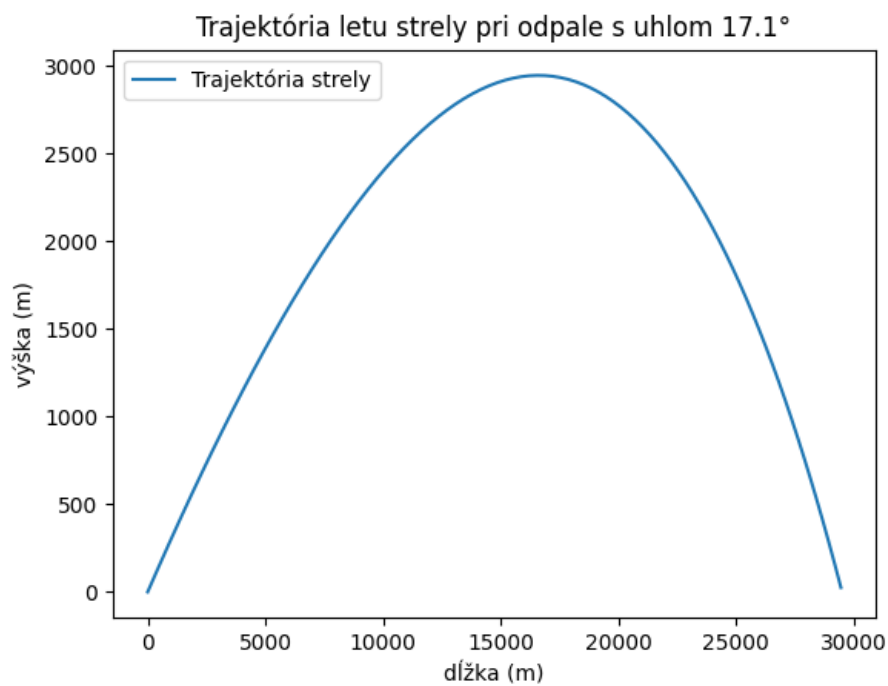
## 6.2 Kalibrácia uhla na statický cieľ

Pri tomto experimente uvažujeme nasledujúcu situáciu : V ozbrojenom konflikte príde bombardovacej divízií rozkaz ostreľovať cieľ vzdialený **29.5 km** od miesta húfnice. Je potrebné zistiť uhol, pod ktorým má byť vystrelená strela, aby bol cieľ zasiahnutý a zneškodnený. Program simuluje výstrely pod rôznym uhlom a porovnáva vzdialenosť dopadu strely od munície so vzdialenosťou cieľa. Pokiaľ strela dopadla v okruhu 50m, tak je hodnotená ako úspešný zásah.

Figure 3: Uhly

```
Target hit, angle : 17.030001
Target hit, angle : 17.040001
Target hit, angle : 17.050000
Target hit, angle : 17.060000
Target hit, angle : 17.070000
Target hit, angle : 17.080000
Target hit, angle : 17.090000
Target hit, angle : 17.100000
Target hit, angle : 17.110002
Target hit, angle : 17.120001
```

Figure 4: Trajektória letu



## 7 Záver

Cieľom tejto práce bolo zistiť dodatočné informácie o húfnicy **Zuzana 2** v súčasnej dobe nasadenej na konfliktoch v Ukrajine a vytvoriť program, ktorý bude schopný simulovať chovanie strely v priestore a bude schopný určiť ideálny uhol odpalu strely na zasiahnutie cieľa. Cieľ tejto práce bol splnený a výsledky naznačujú správne chovanie navrhnutého modelu. Vylepšenie do budúcnosti je napríklad pridanie programu simulujúceho zameriavanie húfnice na ciele pohyblivé.

## 8 Zdroje

Prezentácie a opora predmetu IMS

Informácie o Zuzana 2: <https://kotadef.sk/projekty/zuzana/#vla>

155mm munícia: Munícia

Inšpirácie :

[https://cocalc.com/share/public\\_paths/223c4e9ca1b913a9fa9d1d0f1028d90b7dc0b2d2](https://cocalc.com/share/public_paths/223c4e9ca1b913a9fa9d1d0f1028d90b7dc0b2d2)

<https://kevinkparsons.com/matlab-rocket-trajectory-simulation.html>

Trajektória : [https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/systems/Lab\\_Notes/traj.pdf](https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/systems/Lab_Notes/traj.pdf)

Odpor vzduchu :

[https://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_(physics))

<https://www.toppr.com/guides/physics-formulas/drag-force-formula/>