

BALISTIKA, ALEBO AKO
POMOCOU MATEMATIKY
ZASIAHNUŤ CIEĽ JEDINOU
RANOU

Vypracoval: Martin Žurav

Odbor: Obecná matematika

Predmet: Ukázky aplikací matematiky

Vyučující: Doc.RNDr. Jiří Tůma, DrSc.

Ročník: Prvý, LS 2015

ČASŤ 0: Z HISTÓRIE VÝVOJA BALISTIKY

Hoci sa veda a jej predstavitelia väčšinou dištancovali od použitia vedeckých poznatkov na vojenské účely, práve v období vojen dochádza k prudkému postupu vo vylepšovaní zbraňového arzenálu za použitia najmodernejších technológií. A práve balistika je tým odvetvím vedy, pri ktorom je tento vzťah jednoznačný a najlepšie viditeľný a ani zďaleka sa nejedná len o spojenie posledných rokov alebo dekád.

Základy balistiky boli položené už v období antiky. Vtedy sa učitelia pokúšali zlepšovať dostrel a presnosť praku alebo ničivé účinky rôznych vojenských strojov na princípe katapultu. To, že je rozdiel medzi telesom padajúcim a telesom letiacim pôsobením nejakej inej sily, si všimol už **Aristoteles**. Najväčší rozmach balistiky je ale zjavný po vzniku prvých diel, takzvaných **bombard**. Vtedy sa však delostrelci opierali len o vlastný odhad a ten bol často veľmi nepresný.

Novovek bol svedkom prelomových objavov a pokrokov v teórii balistiky. V roku 1537 uzerlo svetlo sveta dielo **Nová veda** (autor: **Niccolo Fontana**). V ňom bol po prvýkrát definovaný vzťah medzi doletom a zámerným uhlom, matematické vyjadrenie zamierenia a po viac ako tisícročí zopakovaná myšlienka, že dostrel dela je možné maximalizovať pri uhle 45° s vodorovnou rovinou. (autorstvo tejto myšlienky sa pripisuje **Archimédovi**). V roku 1638 **Galileo Galilei** zistil, že vystrelené telesá sa pohybujú po parabolickej krivke, čo inšpirovalo **Torricelliho** a ten v roku 1644 vydal prvú úplnú štúdiu o parabolických dráhach letu. Ešte v ten istý rok dal tomuto vednému odvetviu **Marsen** názov **ballistica**.

Veľa otázok zodpovedal **Newtonov** objav gravitácie. Princípy pádu vystrelených objektov už neboli také nepochopiteľné. Otázku odporu vzduchu rieši v roku 1669 matematik **Francois Blondel** v článku **Umenie vrhania bômb**. Definitívne ju zodpovie až **Johan Bernoulli** o päťdesiat rokov neskôr vytvorením rovnice definujúcej krivku strely, ktorá letí v atmosfére. Neskôr sa touto problematikou zaoberá aj **Leonard Euler**.

Hoci smrtiace, no z hľadiska balistiky brilantné ovládnutie zákonov letu projektívov predviedlo 14. marca 1914 nemecké delostrelectvo, ktoré dokázalo úspešne trikrát zasiahnuť Paríž zo vzdialenosti 130 kilometrov, hoci všeobecne predpokladaný maximálny dostrel bol 40 kilometrov. Bolo to možné vďaka tomu, že hlaveň nemeckého dela **Tlstá Berta** bola namierená pod uhlom 60° , vďaka čomu strela letela tri minúty v stratosfére, kde je vzduch redší a kladie menší odpor.

Skonštruovanie prvého počítača **ENIAC** bolo motivované potrebou zostavenia tabuliek streľby pre americké vojenské námorníctvo.

[Informácie o histórii prevzaté zo zdroja číslo: 1]

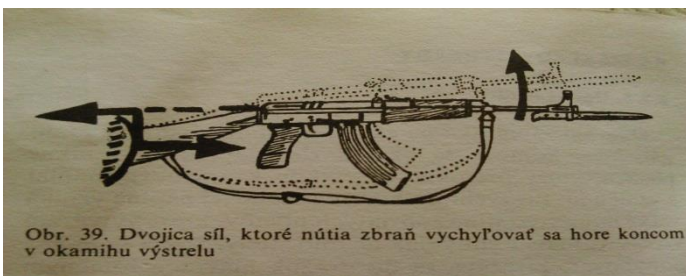
ČASŤ 1: POPIS REÁLNEJ SITUÁCIE

Pre účely tejto práce si ako reálnu situáciu zvolíme nasledujúci scenár: **Vojak Statočný** dostal od **veliteľa Múdreho** za úlohu zničiť jedným výstrelom zo strelnej zbrane cieľ. Dopredu však nevie, o aký cieľ pôjde, aký vzdialený ten cieľ bude a ani akú zbraň by mal na to použiť. Preto pri teoretickej príprave musí počítať so všetkými možnými konkrétnymi zadaniami. V praxi by takúto úlohu samozrejme vojak Statočný nemohol dostať, v našej práci však bude vhodnejšie, ak si ukážeme niekoľko prípadov, v ktorých sa prejavia rôzne zákonitosti konkrétne pre danú situáciu. Ukážeme si, na čo všetko by mal vojak Statočný myslieť, ak chce cieľ skutočne zasiahnuť.

ČASŤ 2: NA ČO VŠETKO MUSÍ VOJAK STATOČNÝ MYSLIEŤ

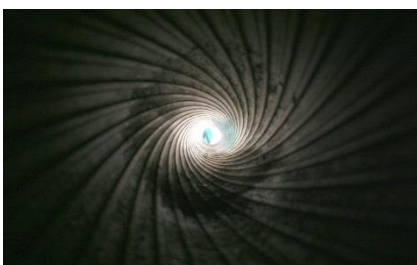
Vojak Statočný, ak chce svoju úlohu splniť, musí dokonale ovládať princípy streľby a teóriu **balistiky**. Balistika (z gréckeho slova *βαλλειν* = vrhať, hádzať) je vedný odbor – časť aplikovanej mechaniky, ktorý sa zaoberá pohybom striel, projektilov, granátov alebo dokonca aj rakiet. Je to veda teoretická, ale aj experimentálna. Hoci je to vedná disciplína, mnohokrát sa jedná o matematické umenie a doslova o výpočtové majstrovstvo, pomocou ktorého je možné zničiť cieľ vzdialený pokojne aj stovky kilometrov. Balistika sa delí podľa niekoľkých kritérií, napríklad podľa vzdialenosti, polohy projektilu... Podľa toho, kde sa strela od stlačenia spúšte až po zásah nachádza, sa balistika delí na tri základné typy:

1. **Vnútoraná balistika:** zaoberá sa pohybom strely vo vnútri hlavne palnej (resp. strelnej zbrane)
 - Jedná sa o prvotný pohyb vystreleného projektilu, jeho štart a zrýchľovanie, umožňuje určiť hodnoty veličín ako napríklad tlak a teplotu plynov, rýchlosť a dráhu strely, množstvo zhoreného prachu... [Definícia prevzatá zo zdroja číslo: 2]
 - Vojak Statočný si musí uvedomiť, že plyn uvoľnený pri výstrele má vysokú rozpínavosť. Veľkosť tlaku plynu v hlavni závisí od niekoľkých aspektov, ako množstvo, druh a kvalita pušného prachu, rýchlosť horenia, dĺžka hlavne a odpor, ktorý musí strela prekonať v dôsledku trenia s vnútornou stranou hlavne. Pritom sa tepelná energia obsiahnutá v plynoch mení na mechanickú energiu. Akonáhle tlak plynu dosiahne v hlavni maximálnu rozpínavosť, začne vplyvom rýchleho pohybu strely a väčšieho priestoru v hlavni postupne klesať, až kým strela neopustí ústie hlavne – vtedy nastane výstrel a spätný náraz do ramena strelca. [Zdroj: 3]
 - Tu musí byť vojak Statočný obzvlášť obozretný. **Spätný ráz** začína pôsobiť na počiatku pohybu strely a dosahuje najväčšiu silu v okamihu, keď strela opúšťa hlavneň, lenže vtedy má strela aj najväčšiu rýchlosť, takzvanú **počiatočnú rýchlosť**. Chvenie hlavne a spätný ráz spôsobujú, že sa mení poloha hlavne v okamihu výstrelu. Pretože spätný ráz prijíma rameno strelca, ktoré leží pod **osou hlavne**, dvojica síl, ktorá sa vytvára, núti hlavneň zdvíhať sa hore. Veľkosť uhla, ktorý vzniká medzi osou hlavne pred výstrelom a v okamihu, keď strela opúšťa hlavneň, závisí od vzdialenosti medzi ústím hlavne a ramenom strelca. O čo je táto vzdialenosť väčšia, o to je väčší aj uhol. Tento uhol sa nazýva **uhol zdvihu**. Vojak Statočný by mal techniku zasadenia pažby do ramena vycibriť k dokonalosti, nerovnakým opieraním pažby do jeho ramena vzniká vždy iný uhol zdvihu, teda zakaždým vystrelí inak. [Prevzaté zo zdroja číslo: 4, strany: 298 a 299]



Obr. č. 1: Uhol zdvihu pri výstrele

[Obrázok prevzatý zo zdroja 4, strana 199]



Obr. č. 2: **Drážkovanie hlavne** je veľmi

dôležitou súčasťou vnútornej balistiky. Drážky spôsobujú roztočenie projektilu okolo pozdĺžnej osi, ktorá slúži na stabilizáciu strely, čím zvyšuje dostrel a zlepšuje presnosť. Zbrane brokovnicového typu nemajú drážkovanie – tam je ale nepresnosť kompenzovaná veľkým množstvom naraz

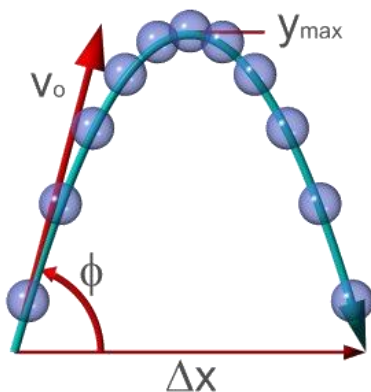
vystrelených brokov. [Informácie a drážkování + predošlý obrázok uvádza zdroj: 5]

2. **Vonkajšia balistika:** zaoberá sa pohybom strely po tom, ako opustí hlavneň, čiže je vo fáze letu medzi zbraňou a cieľom
 - Jej prvou fázou je takzvaná **prechodná balistika**, ktorá skúma správanie sa strely v bezprostrednej vzdialenosti od ústia hlavne, kedy je projektil vo výraznej miere ovplyvňovaný nielen prostredím, ale aj plynmi vznikajúcimi pri výstrele a vychádzajúcimi zároveň so strelou [Definíciu uvádza zdroj číslo: 2]



Obr.č.3: Prechodná balistika pri streľbe z revolveru
[Obrázok prevzatý zo zdroja: 6]

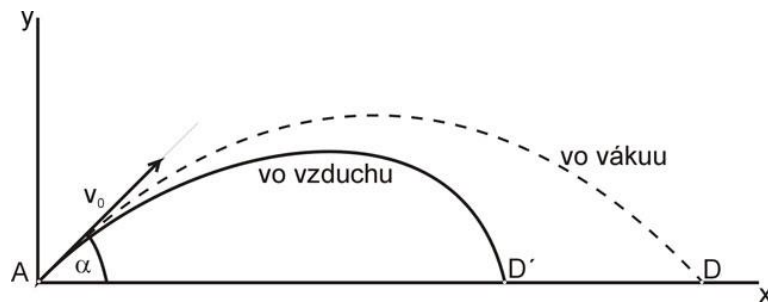
Táto časť balistickej prípravy dá vojakovi Statočnému suverénne najviac zabráť. Tu musí brať do úvahy niekoľko veľmi dôležitých faktov a faktorov, kľúčových pri streľbe na veľkú vzdialenosť. Pre jednoduchosť si vojak Statočný môže predstaviť nasledujúci zjednodušený model: projektil sa pohybuje v dvojdimenzionálnom priestore (two-dimensional space): Na dráhe letu sú ako najdôležitejšie hodnotené tieto tri body: **bod výstrelu**, **vrchol dráhy**, **bod doletu**. Priemet dráhy strely na výstrelnú rovinu nie je osovým súmerný podľa zvislej osi prechádzajúcej vrcholom dráhy. Táto os delí krivku na dve nerovnaké polovice. Prvá polovica sa nazýva **vzostupný oblúk** a druhá polovica **zostupný oblúk**. Líšia sa tým, že zostupný oblúk je podstatne strmší než vzostupný.



Obr.č.4: Schematické znázornenie trajektórie letu projektilu, s počiatkovou (úst'ovou) rýchlosťou v_0 , uhlom výstrelu ϕ , maximálnou dosiahnutou výškou vo vrchole dráhy y_{max} a celkovým doletom Δx . Vplyvom rotácie by však trojdimenzionálna krivka bola v treťom rozmere zahnutá. [Obrázok prevzatý zo zdroja číslo: 7]

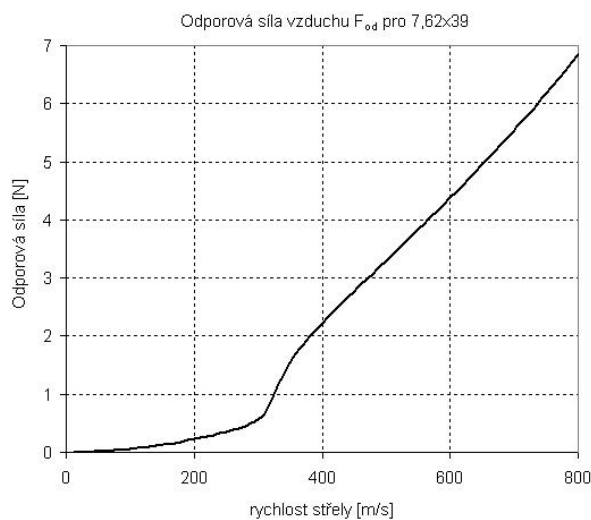
Ešte predtým, ako strela zasiahne cieľ, musí vojak Statočný vyriešiť veľký problém, a to otázku, akým spôsobom sa bude strela správať počas letu a čo všetko ju pritom ovplyvní. Dve hlavné sily, ktoré pôsobia na projektil počas letu, sú **sila gravitačná** a **sila odporu vzduchu**. Pokiaľ by vojak Statočný pri svojich náčrtoch zanedbal tieto dve sily, grafom trajektórie by bola priamka a strela by sa pohybovala s konštantnou rýchlosťou. Pokiaľ by veliteľ Múdry určil streľbu vo vákuu, strela by sa pohybovala po pravidelnej parabole, nakoľko by nedošlo k pôsobeniu odporu vzduchu. V reálnej situácii sa ale strela pohybuje po

nepravidelnej krivke, ktorá nemá presný matematický zápis – po **balistickej krivke**. Jej tvar je jedinečný, nakoľko na streľbu pôsobia vietor, teplota a hustota vzduchu, nadmorská výška...



Obr.č.5: Pohyb strely vo vzduchu a vo vákuu. Hoci gravitácia ťahá streľbu k Zemi vždy, vo vzduchu však proti pohybu strely pôsobí aj odpor vzduchu. [Obrázok prevzatý zo zdroja číslo: 8]

Azda tým najväčším problémom, ktorý stretne vojaka Statočného pri balistických výpočtoch a streľbe na veľké vzdialenosti, je vysporiadanie sa s otázkou závislosti odporu vzduchu a rýchlosti strely. Odpor vzduchu spôsobuje veľké straty rýchlosti letiaceho náboja. Zjednodušene platí, že čím dlhšie je náboj v lete, tým viac sa prejavuje odpor vzduchu. Avšak, táto závislosť rýchlosti a odporu nie je taká elementárna. Ako príklad môžeme uviesť závislosť odporovej sily vzduchu a rýchlosti vystreleného projektilu kalibru 7,62 mm. Z grafu je možné vyčítať, že závislosť pripomína kvadratickú, hoci pre malé rýchlosti je skôr lineárna a pre rýchlosti blízko rýchlosti zvuku je zase úmerná tretej mocnine rýchlosti strely.



Obr.č.6: Graf závislosti odporovej sily vzduchu a rýchlosti strely pre náboj kalibru 7,62 mm. [Graf prevzatý zo zdroja číslo: 9]

Ukážeme si jednoduchý výpočet sily, ktorá pôsobí na vystrelený náboj. Nech F_p je výsledná celková sila, ktorá pôsobí proti priamemu, vodorovnému pohybu strely. Ďalej nech F_g je gravitačná sila pôsobiaca na letiaci projektil, ktorá ho ťahá zvislým smerom dole a zo všetkých faktorov spolu s odporom vzduchu najviac upravuje trajektóriu a balistickú krivku letiaceho náboja. A nakoniec, nech F_d je sila vyjadrujúca odpor vzduchu (z anglického **DRAG FORCE**). Ostatné sily je v prípade ručných palných zbraní možné zanedbať.

Výsledný vzorec pre výpočet sily pôsobiacej na letiaci projektil je [Podľa zdroja: 9]:

$$F_p = F_g + F_d$$

Gravitačnú silu F_g dostaneme zo vzťahu [Zdroj: 9]:

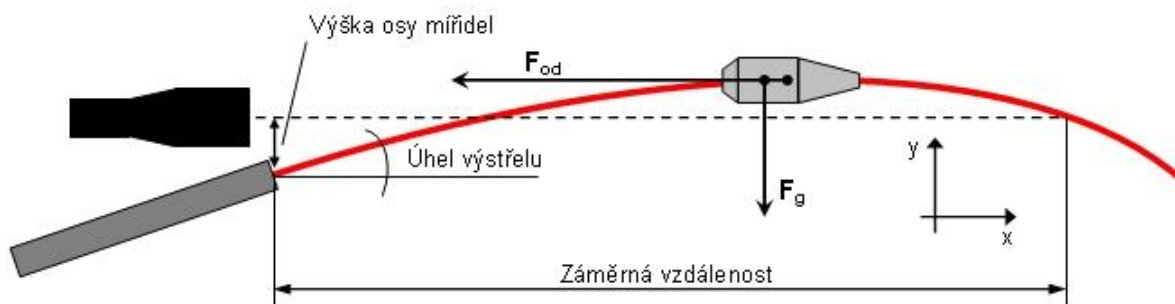
$$F_g = m \cdot g$$

pričom m je hmotnosť projektilu a g je gravitačná konštanta.

Odporovú silu vzduchu F_d ďalej dostaneme vzťahom [Zdroj: 9]

$$F_d = 1/2 * C * S * \rho * v^2$$

kde C je súčiniteľ odporu prostredia (z anglického **DRAG COEFFICIENT**) určený najmä tvarom projektilu, S je obsah prierezu projektilu, ρ vyjadruje odpor vzduchu (a ostatné atmosférické vplyvy) a v vyjadruje rýchlosť projektilu (ovplyvnená pozdĺžnym vetrom alebo protivetrom). Tento jav je zachytený na obrázku č. 7 [Obrázok prevzatý zo zdroja: 9]



Obr. č. 7: Vplyv odporu vzduchu a gravitačnej sily Zeme na letiaci projektil

Ak chce vojak Statočný charakterizovať stav vzduchu čo najpresnejšie, musí započítať tlak, teplotu a relatívnu vlhkosť. Pre balistické výpočty sa vzduch považuje za **ideálny plyn**, a teda preň platí **stavová rovnica**:

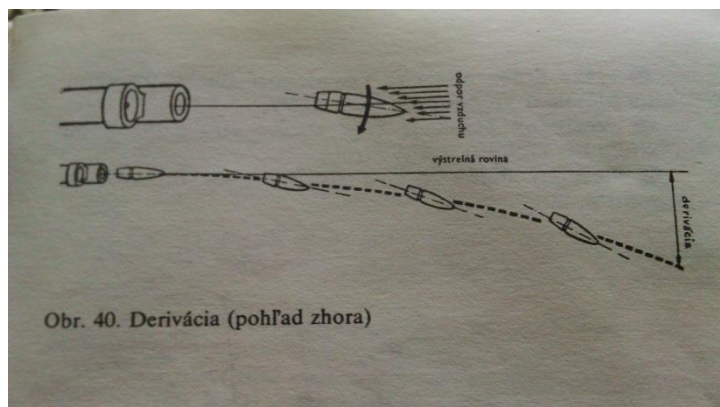
$$p/\rho = R * T [J/kg]$$

kde p je tlak vzduchu, ρ je hustota vzduchu, R je špecifická plynová konštanta (pre vzduch je to $287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$) a T je teplota v kelvinoch.

Odtiaľ dostávame, že hustotu vzduchu môžeme vypočítať nasledovne [Predošlý a nasledujúci vzorec sú prebrané zo zdroja číslo: 1]:

$$\rho = (100 * p) / [287,05 * (T_c + 273,15)] [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Rotačný pohyb strely a odpor vzduchu tiež spôsobujú, že sa strela odkláňa od výstrelnej roviny na stranu jej otáčavého pohybu. To znamená, že pri pravotočivom závite hlavne sa strela odkláňa doprava a pri ľavotočivom závite zase doľava. Tento odklon sa nazýva **derivácia** (stranová odchýlka v smere rotácie).



Obr.č.8: Derivácia pri zbrani s pravotočivým závitom. Vplyv derivácie je zhruba podobný vplyvu slabého bočného vetra so silou asi $0.4 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$.

[Časť o derivácii prevzatá zo zdroja: 4, strana 199]

S vyjadrením odporovej sily vzduchu by to ale v praxi vojak Statočný nemal také jednoduché. Stále ešte vlastne nebol poriadne tento problém vyriešený. Dá sa však odstrániť zavedením závislosti $C(v)$, teda súčiniteľ odporu vzduchu je závislý na rýchlosti strely. Toto je v odbornej literatúre známe pod názvom **Drag Function** (funkcia odporu vzduchu). Dnes všetci výrobcovia streliva používajú ako funkciu $C(v)$ funkciu **G1**, ktorá bola pôvodne určená pre strelu s hmotnosťou jednej libry a rážou jeden palec. Pri výpočte sa použije $C(v)$ podľa funkcie G1 a násobí sa koeficientom tvaru T , ktorý udáva, koľkokrát je nami použitá strela horšia alebo lepšia ako vzorová strela použitej funkcie odporu vzduchu. Konkrétne pri funkcii G1 je koeficient tvaru T pre moderné strely asi 0,5, čiže strely majú podstatne menší súčiniteľ odporu. Odporová sila sa potom počíta podľa nasledujúceho vzťahu:

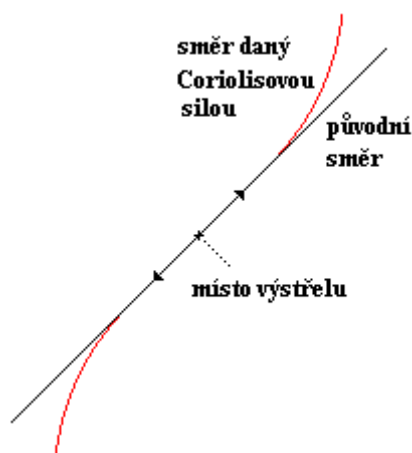
$$F_{od} = 1/2 * T * C(v) * S * \rho * v^2$$

Ako výhodné sa javí zavedenie balistického koeficientu **BC** (ktorého jednotkou je $lb \cdot in^{-2}$):

$$BC = m / (d^2 * T)$$

kde m je hmotnosť strely v librách, d je ráža v palcoch a T je koeficient tvaru. [Predchádzajúca časť o odpore vzduchu citovaná zo zdroja: 9].

Ak by bol vojak Statočný nútený strieľať na veľmi dlhé vzdialenosti, nesmie zabudnúť na ďalšie sily, napríklad **Coriolisovu silu**. Pre strelbu na krátku vzdialenosť nie je podstatná, avšak pri strelbe na väčšiu vzdialenosť dokáže spôsobiť výškovú alebo stranovú odchýlku od požadovaného miesta zásahu o niekoľko centimetrov alebo aj metrov. Táto sila vzniká vďaka rotácii Zeme a pôsobí na každý objekt, ktorý sa pohybuje nerovnobežne s osou rotácie. Na severnej pologuli sa preto letiace objekty vychylujú doprava, na južnej zase doľava. Odchýlka výšková je určená smerom strelby. Jednotlivé veľkosti odchýliek závisia na zemepisnej šírke, uhle výstrelu a rýchlosti projektilu. Výhodou však je, že Coriolisova sila nezávisí na tvare strely, preto ju je možné zahrnúť do výpočtov pomerne jednoducho [Zdroj: 9].



Obr.č.9: Coriolisova sila na južnej pologuli: obrázok zachytáva pôsobenie Coriolisovej sily na južnej pologuli, pričom na severnej je to presne naopak – tam sa letiace objekty vychylujú doprava. [Obrázok prevzatý zo zdroja číslo: 11]

Ukážka výpočtu odchýlky spôsobenej vplyvom Coriolisovej sily na projektíl Sierra MK 168 gr. Nech je počiatočná rýchlosť projektílu $v_0 = 800$ m/s a zámerná vzdialenosť 1000 metrov. Nech sa ďalej nachádzame v štandardnej atmosfére na 50 stupňoch severnej šírky. Platí:

| Smer streľby | Výšková odchýlka v cm | Odchýlka vpravo v cm |
|--------------|-----------------------|----------------------|
| Sever | 0 | 9,9 |
| Východ | 8,3 | 9,9 |
| Juh | 0 | 9,9 |
| Západ | -8,3 | 9,9 |

Z tabuľky možno vyčítať, že pri zmene streľby z východu na západ (a naopak) vzniká rozdiel až 16,6 cm (8,3 + 8,3). Rozdiel by bol ešte markantnejší, ak by sa jednalo o ďalekonosné delostrelectvo. [Údaje v tabuľke prevzaté zo zdroja: 9].

Aby toho nebolo málo, vojak Statočný si musí všimnúť ešte jeden jav. **Magnusov efekt** je vznik bočnej sily, ktorá vzniká obtekaním rotujúceho telesa plynom či kvapalinou. Jedná sa o vzájomné silové pôsobenie viskózneho prostredia a rotujúceho telesa s nenulovou rýchlosťou. Je to vlastne jav, pri ktorom teleso letiace vzduchom rotuje a vytvára vôkol seba vír, pričom na teleso pôsobí sila približne kolmá na stred prúdenia okolitého vzduchu. Je dobre viditeľný vo futbale, pri zahrávaní priamych voľných kopov, kedy šikovní streľci dokážu správnou technikou kopu loptu nechytateľne „zatočiť“.

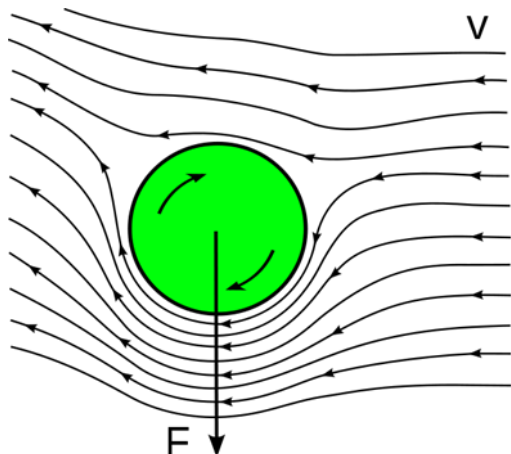
Keby vojak Statočný použil nejaké staršie delo, ktorého projektily boli jednoduché gule, mohol by tento jav charakterizovať nasledujúcou rovnicou, ktorá popisuje vztlakovú silu vyvolanú na guľu, ktorá sa otáča kolmo k smeru jej pohybu:

Nech F je vztlaková sila, ρ je hustota vzduchu, v je rýchlosť gule, S je priemer gule, C_l je koeficient zdvihu (z anglického **LIFT COEFFICIENT**, ten možno určiť z grafu pomocou **Reynoldsovho čísla** a odstredivých pomerov). Potom možno dostať vztlakovú silu zo vzorca:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_l$$

Obr.č.10: Magnusov efekt: čierne šípky znázorňujú smer prúdu vzduchu, F je vznikajúca sila.

[Časť o Magnusovom efekte prevzatá zo zdroja číslo: 12]



Pri zahrnutí všetkých vyššie uvedených elementov dostávame takzvanú **Modifikovanú trajektóriu hmotného bodu** (z anglického **MODIFIED POINT-MASS TRAJECTORY**). Jednou zo štandardných metód pre dnešné kanónové výpočty je NATO STANAG 4355.

Ukážka účinku derivácie na strelu ráže 105 mm, 14,97 kg vážiaku, s počiatočnou rýchlosťou $v_0 = 493$ m/s a pri štandardnej atmosfére:

| Uhol výstrelu | Dostrel v metroch | Doba letu v sekundách | Derivácia v metroch |
|---------------|-------------------|-----------------------|---------------------|
| 45 stupňov | 11500 | 52 | 290 |
| 70 stupňov | 7500 | 69 | 560 |

Najdokonalejšou metódou súčasnej balistiky je takzvaná **Metóda šiestich stupňov voľnosti** (z anglického **SIX DEGREES OF FREEDOM**, skrátene **6DOF**). Tá berie do úvahy nielen sily, ale aj ich momenty, no vyžaduje mnohé, ťažkospočítateľné aerodynamické koeficienty. [Tabuľku účinku derivácie a 6DOF prevzaté zo zdroja: 9]

3. **Terminálna, cieľová, koncová** alebo **ranivá balistika**: skúma poslednú fázu letu alebo zasiahnutie cieľa, to jest dopad strely, prenikanie projektilu cieľom, ranivosť alebo tiež rozsah poškodenia živého(osoby, zver) alebo neživého(vozidlá, lietadlá, budovy...) cieľa [Zdroj: 2]
 - Využíva sa napríklad pri skúškach rôznych palných zbraní za použitia rôznych typov munície a rozličných ostreľovaných materiálov podľa toho, či sa modeluje priamy zásah ľudského organizmu(balistická želatína, gél...) alebo prostriedkov na ochranu osôb(nepriestrelné vesty, kevlar...), skúma väčšinou tvar a rozsah poškodenia na útočné, obranné, alebo poľovné účely

Podľa vzdialenosti medzi zbraňou a ostreľovaným cieľom sa delí balistika strelných zbraní na:

- a) **Krátka vzdialenosť**: jedná sa o ručné krátke palné zbrane(pištoľ, revolver, samopal...) a strelbu maximálne do niekoľkých desiatok metrov
 - z teórie balistiky ide o najmenej zaujímavú časť, pretože pri strelbe na tak krátku vzdialenosť nie sú nutné nijaké špeciálne výpočty, nakoľko náboj letí takmer úplne priamo, pôsobenie gravitačnej sily sa často úplne zanedbáva
- b) **Stredná vzdialenosť**: ide o zbrane väčšieho kalibru(karabíny, guľomety, pušky...) a vzdialenosti od stoviek metrov až do niekoľkých kilometrov
 - hoci je aj v tomto prípade cieľ väčšinou viditeľný a strelba priama, do úvahy je nutné brať vplyv gravitačnej sily, poveternostných podmienok alebo odporu vzduchu, najmä pri strelbe ostreľovačov
- c) **Dlhá vzdialenosť**: strelba z veľkorážnych diel, ďalekonosných kanónov a húfníc na kilometre vzdialené ciele, väčšinou neviditeľné priamo, kde projektil typicky opisuje charakteristickú balistickú krivku
 - pre úspešný zásah je nutná výpočtová príprava, delostrelecké tabuľky, zváženie všetkých možných okolností, ako napríklad rotáciu Zeme, Coriolisovu silu, či ľavotočivosť, respektíve pravotočivosť drážkovania hlavne

ČASŤ 3: SPLNENIE NEĽAHKEJ ÚLOHY VOJAKA STATOČNÉHO

Pri príprave na splnenie úlohy musí zväžiť vojak Statočný mnoho okolností. Samozrejme, nie vždy všetky – pri streľbe na desať metrov z pištole mu jeho projektil Coriolisova sila neovplyvní tak, aby sa tým zaťažoval. No, ak sa bude jednať o niekoľkokilometrovú streľbu z ostreľovacej pušky kdekoľvek na severnej pologuli, bude pre neho v rámci kompenzácie pôsobenia Coriolisovej sily vhodnejšie zvoliť pušku s ľavotočivými drážkami hlavne – tak sa krásne prejaví vzájomné pôsobenie Coriolisovej sily a derivácie strely.

ČASŤ 4: ZÁVER

V tejto práci som sa snažil poukázať na unikátne prepojenie vedy a streľby. Poodhalil som síce len úplné základy, no čitateľ si i z nich isto dokáže spraviť vlastný názor na to, aké zložité je zasiahnuť vzdialený cieľ. Gravitačná sila, odpor vzduchu, atmosférické podmienky, Coriolisova sila, Magnusov efekt, derivácia strely... To sú len niektoré z faktorov, ktoré rozhodnú o tom, či dôjde k zásahu alebo strelec cieľ minie. Hoci existujú mnohé programy, tabuľky a metódy na určenie optimálnej streľby, priamo v teréne je často rozhodujúcim aspektom ľudský faktor – cit strelca. Samozrejme, cit opierajúci sa o znalosti balistiky...

ČASŤ 5: ZDROJE

- 1) <http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>
- 2) <https://sk.wikipedia.org/wiki/Balistika>
- 3) <http://referaty.aktuality.sk/balistika-zbrane/referat-27137>
- 4) **ZÁKLADNÁ VOJENSKÁ PRÍRUČKA**
- 5) https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDvrt_hlavn%C4%9B
- 6) <https://cs.wikipedia.org/wiki/Revolver>
- 7) https://cs.wikipedia.org/wiki/Vn%C4%9Bj%C5%A1%C3%AD_balistika
- 8) <http://hockicko.uniza.sk/semestralky/prace/p04/index.htm>
- 9) http://www.balistika.cz/vnejsi_teorie.html
- 10) http://odstrelovac.wz.cz/index_soubory/Page2439.htm
- 11) <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/43-coriolisova-sila>
- 12) https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnus%C5%AFv_jev