PRESEK
List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652
Letnik **5** (1977/1978)
Številka 2
Strani 116–124

Tomaž Pisanski:

BALISTIKA, II. Del – Zunanja balistika

Ključne besede: fizika, mehanika, zunanja balistika, topništvo, domet, parabola zanesljivosti,paraboloid zanesljivosti.

Elektronska verzija: http://www.presek.si/5/5-2-Pisanski.pdf

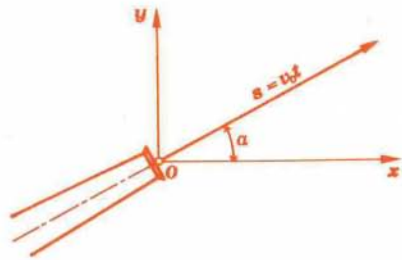
BALISTIKA

2. DEL

ZUNANJA BALISTIKA

Zunanja balistika preučuje let izstrelka od trenutka, ko zapusti cev, do trenutka, ko zadene cilj ali se v zraku razleti. Omenili smo že, da delujejo izgoreli plini na izstrelek tudi še zunaj cevi. To malenkostno povečanje hitrosti za 1 do 2% v zunanji balistiki navadno zanemarimo.

Pot izstrelka je odvisna od začetne hitrosti, naklonskega kota cevi, teže, zračnega upora, oblike izstrelka, vrtenja izstrelka in še česa (temperatura, vlažnost, vetrovi itd.). Računanje poti izstrelka je težavna naloga, saj bi pri natančnem računu morali upoštevati še spreminjanje težnega pospeška z višino, vrtenje Zemlje ... Napraviti moramo precej poenostavitev, če želimo preprost račun. Opazujmo le gibanje težišča. Najprej zanemarimo zračni upor. Izstrelek bi se gibal premo enakomerno z začetno hitrostjo v_0, če bi nanj ne delovala teža. Zaradi delovanja teže si lahko gibanje izstrelka mislimo sestavljeno iz dveh gibanj: enakomernega gibanja, za katerega velja $s = v_0 t$ v smeri začetne hitrosti pod naklonskim kotom α proti vodoravnici, in iz prostega padanja navpično navzdol $h = (g/2)t^2$.

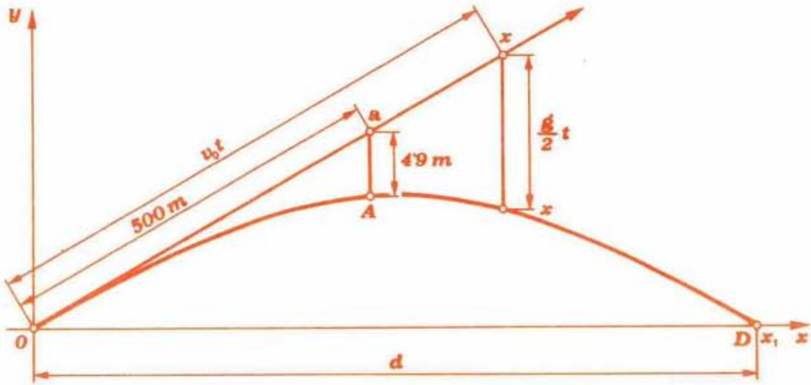


Sl.10 Let izstrelka, če zanemarimo težo.

Izstrelek z začetno hitrostjo $v_0 = 500$ m/s pod naklonskim kotom α bi po prvi sekundi priletel v točko a, ki je za 500 m oddaljena od ustja cevi, če ne bi bilo teže. Zaradi teže pa pade v tem času še za h_1:

$$h_1 = (g/2)t^2 = 9,8 \;.\; 1/2 = 4,9 \text{ m in je v točki } A.$$

Enako določimo točko, v kateri je izstrelek v času t. Če ne bi bilo teže, bi priletel v točko x, zaradi nje pa pade za $(g/2)t^2$ in je v resnici v točki X. Krivulja, ki po njej leti izstrelek,



Sl.11 Let izstrelka, pri katerem upoštevamo težo.

se imenuje parabola. Tisti, ki poznajo trigonometrijo, napišejo njeno enačbo takole:

$$y = x\mathrm{tg}\alpha - gx^2/(2v_0^2\cos\alpha\ )$$

Razdaljo od orožja do točke, kjer projektil pade spet v višino ustja cevi, se pravi, da seka vodoravnico x, imenujemo *domet pri naklonskem kotu* α.
Račun pokaže, da je domet d:

$$d = (v_0^2\sin(2\alpha))/g$$

Maksimalni domet ali pa kar *domet orožja* imenujemo največji domet. Domet orožja D je dosežen pri $\alpha = 45^0$

$$D = v_0^2/g$$

Za v_0 = 500 m/s je domet orožja približno 25 km.
Zanimiv je tudi *čas leta* izstrelka T. Če je cilj v isti vodoravni ravnini kot orožje, je

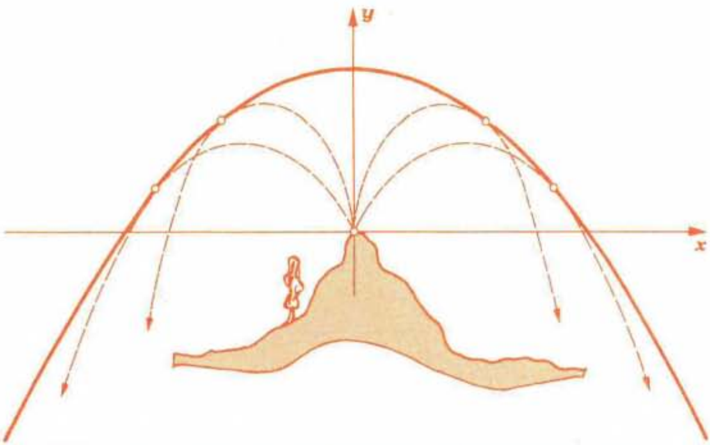
$$T = 2v_0\sin\alpha/g$$

Pri dometu orožja je za naš primer čas leta

$$T = 2.500\ \sin45^0/9{,}81 = 72\ \mathrm{s}$$

Če pa bi streljali navpično navzgor, bi dobili najdaljši čas poleta:

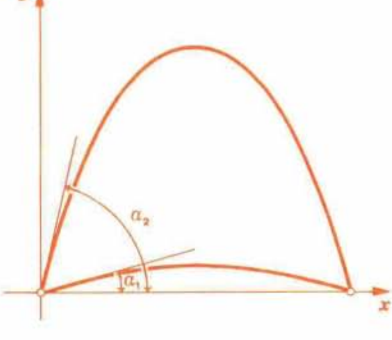
$$T = 2v_0/g = 102\ \mathrm{s} = 1\ \mathrm{min}\ 42\ \mathrm{s}$$

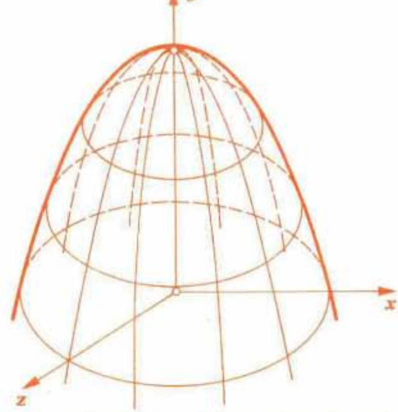


Sl.12 Parabola zanesljivosti.

V tem času je mogoče preteči skoraj pol kilometra.

Vprašamo se, kam vse lahko streljamo iz izbrane točke. Če bi narisali vse možne tire izstrelka, ki je vsakič izstreljen pod drugim naklonskim kotom, a vedno z isto začetno hitrostjo, bi zmazek črt omejevala krivulja (sl. 12). Z računom lahko pokažemo, da je ta krivulja spet parabola. Balistiki ji rečejo *parabola zanesljivosti*. Nobene točke zunaj te parabole ne moremo zadeti.

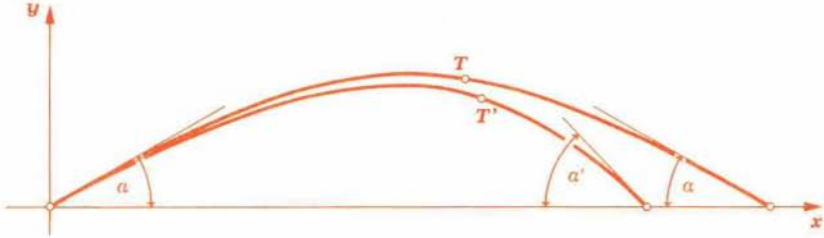




Sl.13 $\alpha_1 + \alpha_2 = 90°$.

Sl.14 Paraboloid zanesljivosti.

Te točke so zunaj dometa. Točke na paraboli dosezamo pri enem samem naklonskem kotu, točke znotraj parabole pa pri dveh. Za točke, ki ležijo v isti višini z orožjem in so znotraj parabole zanesljivosti, velja tole: $\alpha_1 + \alpha_2 = 90^0$, če označimo z α_1 prvi, z α_2 drugi naklonski kot, pod katerim dosežemo točko. V resnici bi morali govoriti o *paraboloidu zanesljivosti*, ki ga dobimo z vrtenjem parabole zanesljivosti okrog osi y, saj lahko pri orožju poleg naklonskega kota menjamo tudi smer cevi v vodoravni

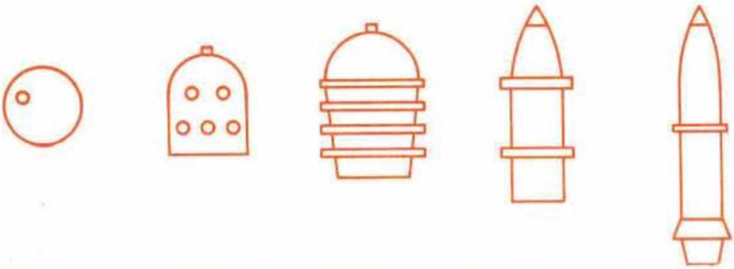


Sl.15 Balistična krivulja leta izstrelka v ozračju.

smeri. Paraboloid zanesljivosti je zanimiv predvsem pri protiletalskih orožjih, ki tudi praktično streljajo na vse cilje v njegovi notranjosti.

Toliko o primeru, ko zanemarimo zračni upor. V ozračju so razmere dosti bolj zamotane. Balistiki znajo pri določenih predpostavkah o uporu zraka izračunati boljši približek za dejansko balistično krivuljo. Pomagajo si tudi z računalniki. Vendar noben račun ne more predvidevati vseh sil v ozračju (gostota zraka, temperatura, vlažnost, veter, dež itd.). Zato omenimo le nekaj osnovnih lastnosti balistične krivulje:

- točka najmanjše hitrosti izstrelka leži na padajočem kraku takoj za temenom;
- hitrost izstrelka v točki na dvigajočem se kraku je večja od hitrosti v točki iste višine na padajočem kraku;
- čas, ki ga izstrelek potrebuje do temena, je manjši od časa, ki ga izstrelek potrebuje od temena do tal;
- domet je krajši od dometa pod istim kotom v brezzračnem prostoru;
- višina je v vsakem trenutku manjša od višine, ki bi jo izstre-



Sl.16 Razvoj oblike izstrelka od krogle do današnje.

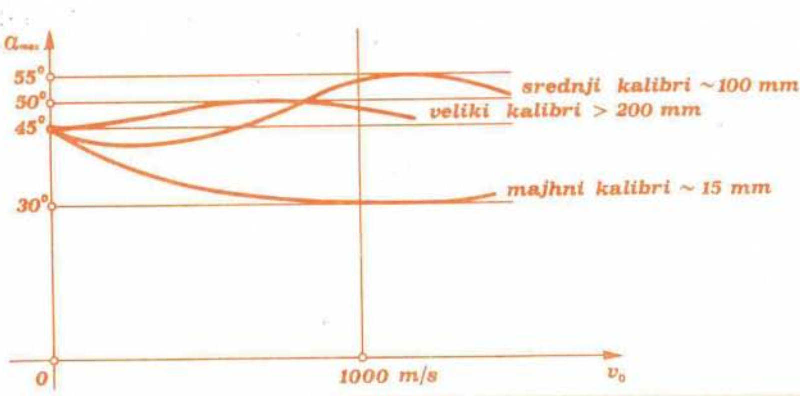
lek dosegel v brezzračnem prostoru;

- dvigajoči se krak je daljši od padajočega;
- padni kot je večji od naklonskega kota.

Če želimo zmanjšati upor zraka, moramo izbrati izstrelku "pametno" obliko. Ker pa se dandanašnji izstrelki v letu zaradi stabilnosti vrtijo, je toliko teže izbrati najboljšo obliko.

Zanimivo je tudi opazovati, kako se menja kot maksimalnega dometa. V brezzračnem prostoru je za vse izstrelke in vse začetne hitrosti kot maksimalnega dometa 45°. V ozračju pa se kot spreminja v odvisnosti od začetne hitrosti.

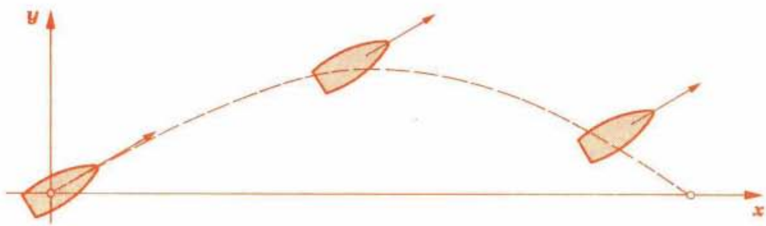
Omenili smo že, da so bili sprva izstrelki okrogli in zato ni bilo pomembno, ali se v letu vrtijo ali ne. Ker pa so želeli zmanjšati upor zraka, so dali izstrelkom podolgovato obliko.



Sl.17 Odvisnost kota maksimalnega dometa od začetne hitrosti izstrelka pri različnih kalibrih. Če zračni upor zanemarimo, je α_{max} vedno 45°.

Zdaj pa se pojavi problem stabilnosti. Brž ko vzdolžna os izstrelka ni v smeri tangente na krivuljo leta, se poveča površina, na katero deluje zračni upor. Tako se sila upora poveča. Če pa prijemališče sile ni v težišču, pride do prečnega vrtenja. Odstopanje lege vzdolžne osi izstrelka od tangente na krivuljo je škodljivo. Poveča se zračni upor. S tem se zmanjša domet, zmanjša pa se tudi zanesljivost zadetka. Moderni izstrelki ima-

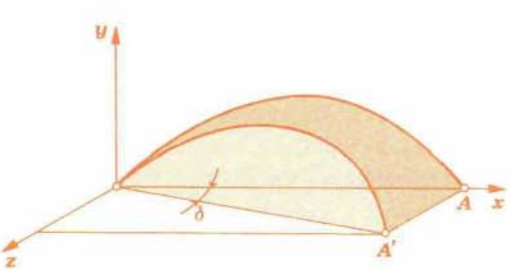
Sl.18 Nestabilnost v letu, če prijemališče P sile zračnega upora F ni v težišču T izstrelka.

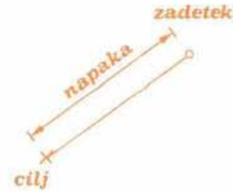


Sl.19 Let izstrelka z veliko kotno hitrostjo. Os vrtenja izstrelka ohranja svojo smer.

jo v konici nameščene posebne vžigalnike, ki poskrbijo, da pride do eksplozije. Če pa izstrelek zadene cilj z napačnim delom, ne pride do eksplozije.

Za izstrelek, ki se vrti okoli svoje osi, velja izrek o ohranitvi vrtilne količine: vrtilna os ohranja svojo smer v prostoru. To velja tem bolj, čim hitreje se vrti. To seveda ni dobro. Izstrelku moramo dati ravno pravo kotno hitrost, tako da je smer osi vrtenja kar se le da "uglašena" s smerjo tangente na krivuljo leta.





Sl.20 Derivacija δ je posledica vrtenja izstrelka.

Sl.21

Žal prinese vrtenje novo nevšečnost. Zaradi nje pride do zavijanja izstrelka v smeri letenja. Če se izstrelek vrti v smeri desnega vijaka, se odkloni v desno. Na srečo kot odklona (*derivacija*) ni prevelik. Navadno meri manj kot 1^{o}.

NAPAKE

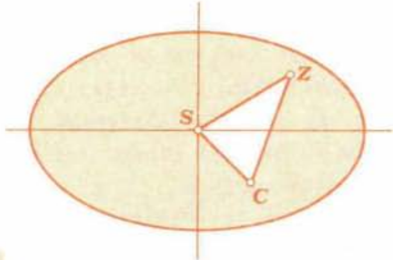
Izkušnje kažejo, da z dvema streloma ne zadenemo iste točke, pa če še tako pazimo, da bi bili pogoji streljanja obakrat isti. Pri streljanju pride do *napak*. Napako lahko opredelimo kot razdaljo med zadeto točko in ciljem. Razlogov za napako je več. Razvrstimo jih lahko v tri skupine.

Sistematska napaka. To napako navadno povzroči orožje in merilne naprave na njem. Vsak, ki je že streljal z zračno puško, se je sam prepričal, da lahko puška "nese" v levo ali desno.

Sistematsko napako odpravimo tako, da postopoma popravljamo namerjanje. Pri puški, ki "nese" desno, moramo meriti levo od cilja.

Groba napaka. Vzrok zanjo je navadno nepazljivost ali pomota strelca pri upravljanju z orožjem in merilnimi napravami, v določevanju razdalje do cilja in podobno. Lahko pa je tudi rezultat pokvarjenega naboja. Tudi to napako zlahka odkrijemo, saj je zadetek daleč proč od cilja.

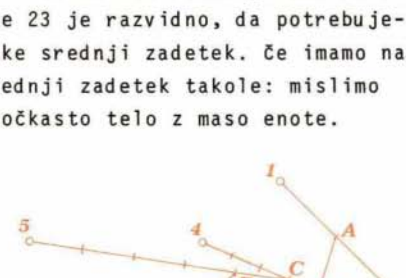
Najtrdovratnejša pa je *slučajna napaka*. Ne moremo je odpraviti. Lahko jo samo zmanjšamo, npr. tako, da izboljšamo kvaliteto smodnika in tako zmanjšamo variacije začetne hitrosti izstrelka, ali tako, da bolje izvežbamo strelca. Slučajne napake pa imajo



Sl.22 Rezultat streljanja v cilj.

Sl.23 C je cilj, Z zadetek. Središče S elipse je srednji zadetek. $\overline{CZ}$ je napaka. Sestavljena je iz sistematske napake (+groba napaka) $\overline{SC}$ in slučajne napake $\overline{SZ}$.

lepo lastnost, da se pokoravajo zakonom. Slika 22 kaže, da so zadetki razporejeni v nekakšno elipso, v sredini so bolj gosto posejani kot na robu. Orodju, s katerim se balistik spoprime s takole sliko zadetkov, pravijo matematiki *verjetnostni račun s statistiko*. Obravnavanje statistike bi nas predaleč zavedlo. Zato si oglejmo le okvirno nekatere stvari, ki zanimajo balistika. Središče elipse ustreza povprečnemu ali *srednjemu zadetku*. Slučajno napako lahko zdaj določimo kot razdaljo med zadetkom in srednjim zadetkom. S slike 23 je razvidno, da potrebujemo za določitev sistematske napake srednji zadetek. če imamo na voljo malo zadetkov, določimo srednji zadetek takole: mislimo si, da ustreza vsakemu zadetku točkasto telo z maso enote. Srednji zadetek je težišče tega sistema. Določimo ga grafično. Zadetke označimo s številkami 1,2,... Točki 1 in 2 spojimo z zveznico in jo razpolovimo. Središče označimo z A. Zvežemo točki A in 3. Daljico razdelimo na tri dele in označimo z B točko, ki leži na 1/3 poti od A do B. Potem zveznico od B do 4 razdelimo na 4 dele in tako naprej do konca. Zadnja točka, ki jo dobimo po



Sl.24 Grafično določevanje srednjega zadetka S. Zaporedoma poiščemo točke $A,B,C,\ldots$ Zadnja točka je srednji zadetek.

tem postopku, je srednji zadetek.

Za konec omenimo še razliko med *točnostjo* in *preciznostjo* pri streljanju. Za orožje, oziroma strelca pravimo, da strelja točno, če je srednji zadetek blizu cilja. Streljanje je precizno, če so zadetki zbrani tesno ob srednjem zadetku - če je elipsa zadetkov majhna.

Balistika je zanimiva stara interdisciplinarna veda. V njej se stikajo matematika, fizika, kemija in strojništvo. Žal je njena uporaba uničujoča in smrtonosna. Uskladiščena v pravih glavah, pa zagotavlja našo svobodo in neodvisnost.

Tomaž Pisanski