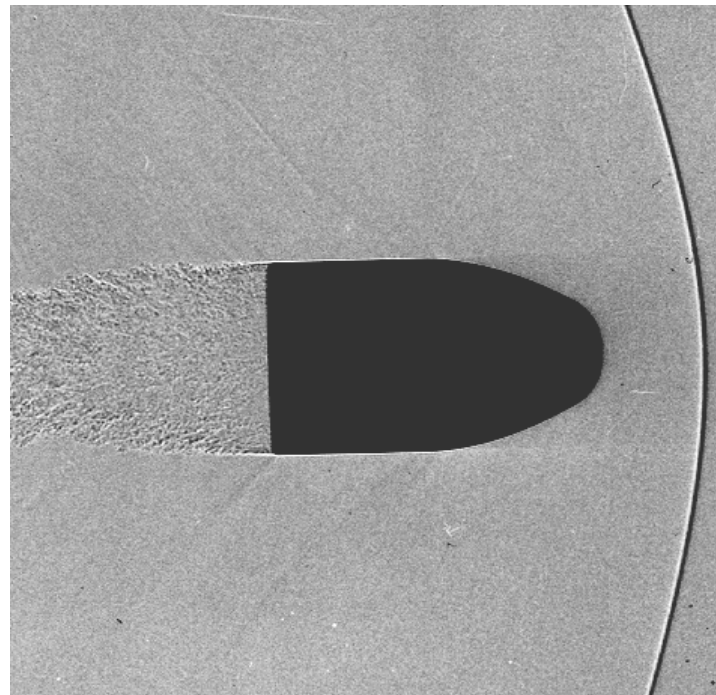


LET Z KULOVNICE

Petr Lenhard



OBSAH

- Balistika
- Vnější balistika
- Síly a momenty
- Aerodynamické síly a momenty
- Výsledný rotační pohyb
- Shrnutí a literatura

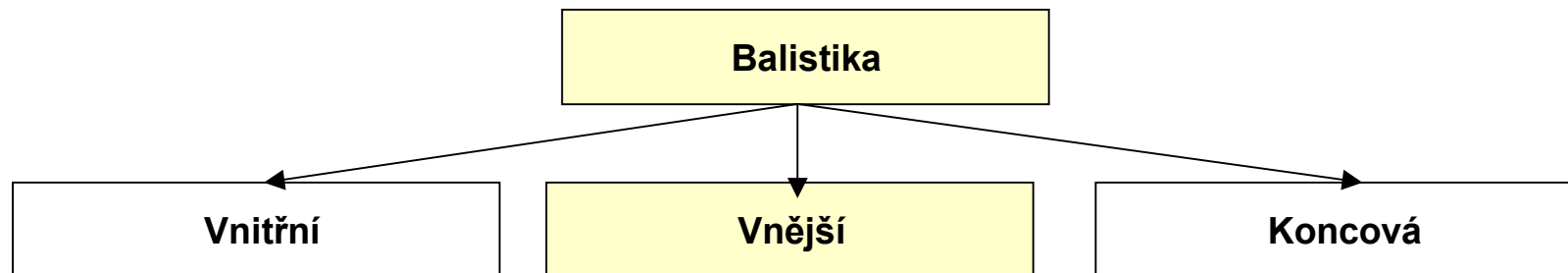


BALISTIKA



ROZDĚLENÍ BALISTIKY

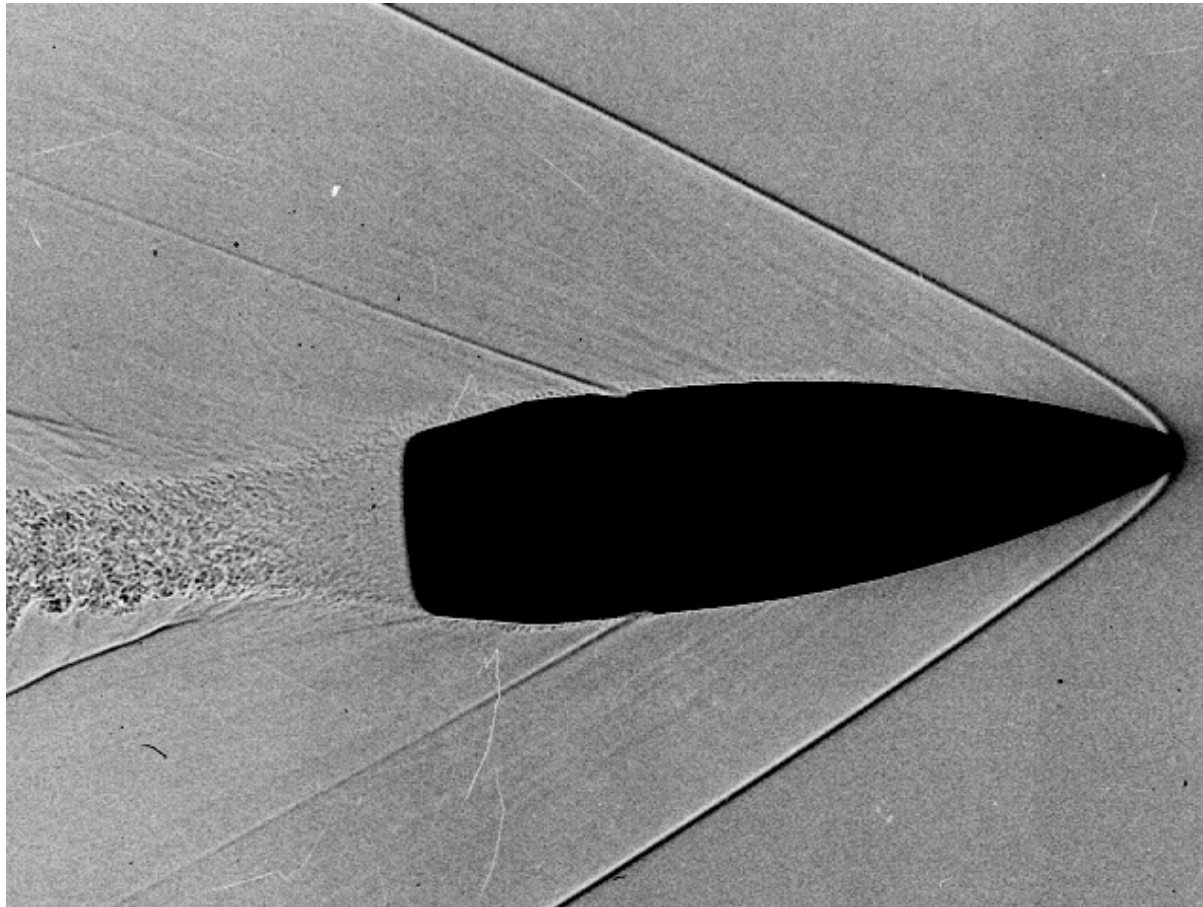
- Obor mechaniky zabývající se pohybem těles v odporujícím prostředí.
- Vojenská technika: Nauka o jevech při pohybu střely.



VNĚJŠÍ BALISTIKA



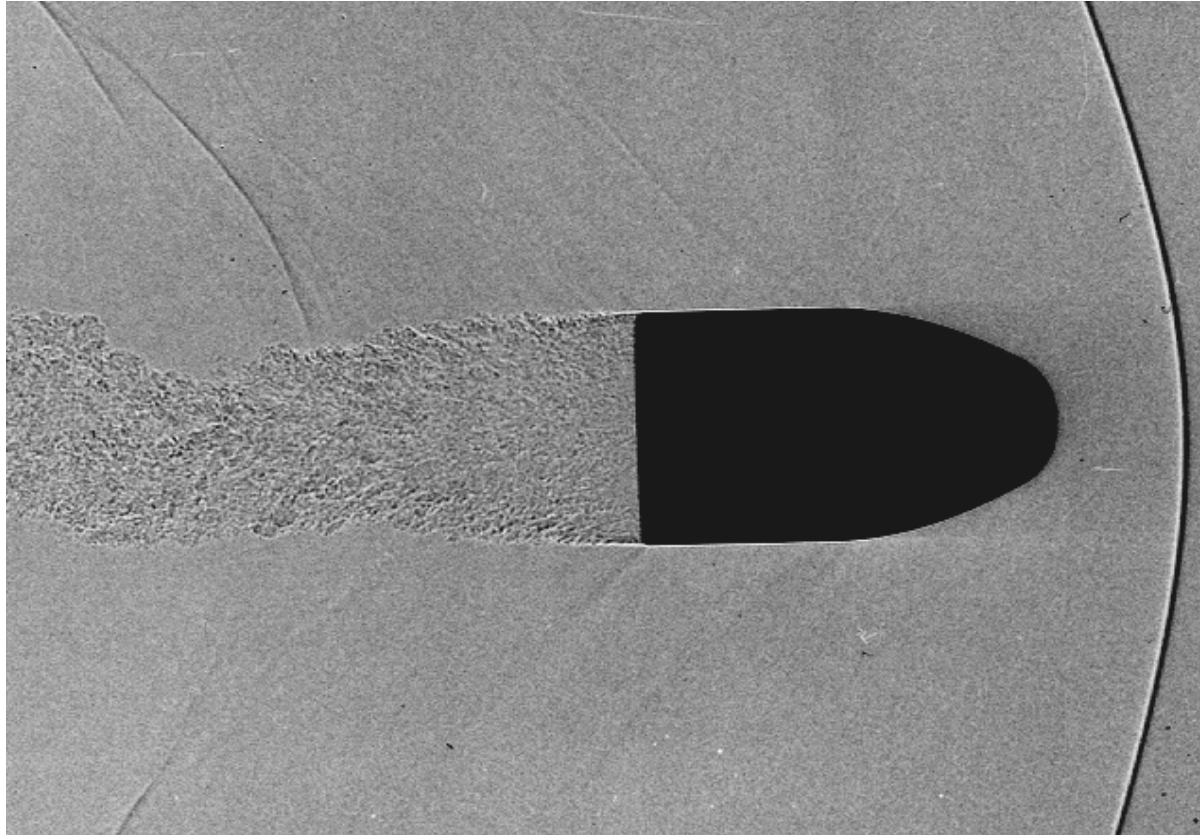
.308 WINCHESTER FMJ



- Stínový snímek .308 Winchester (7.62 x 51 NATO)
- Rychlost střely asi 850m/s
- Zřetelné nejméně 3 rázové vlny (1. se nazývá Machova vlna)
- Silné turbulence za bází (brázda)



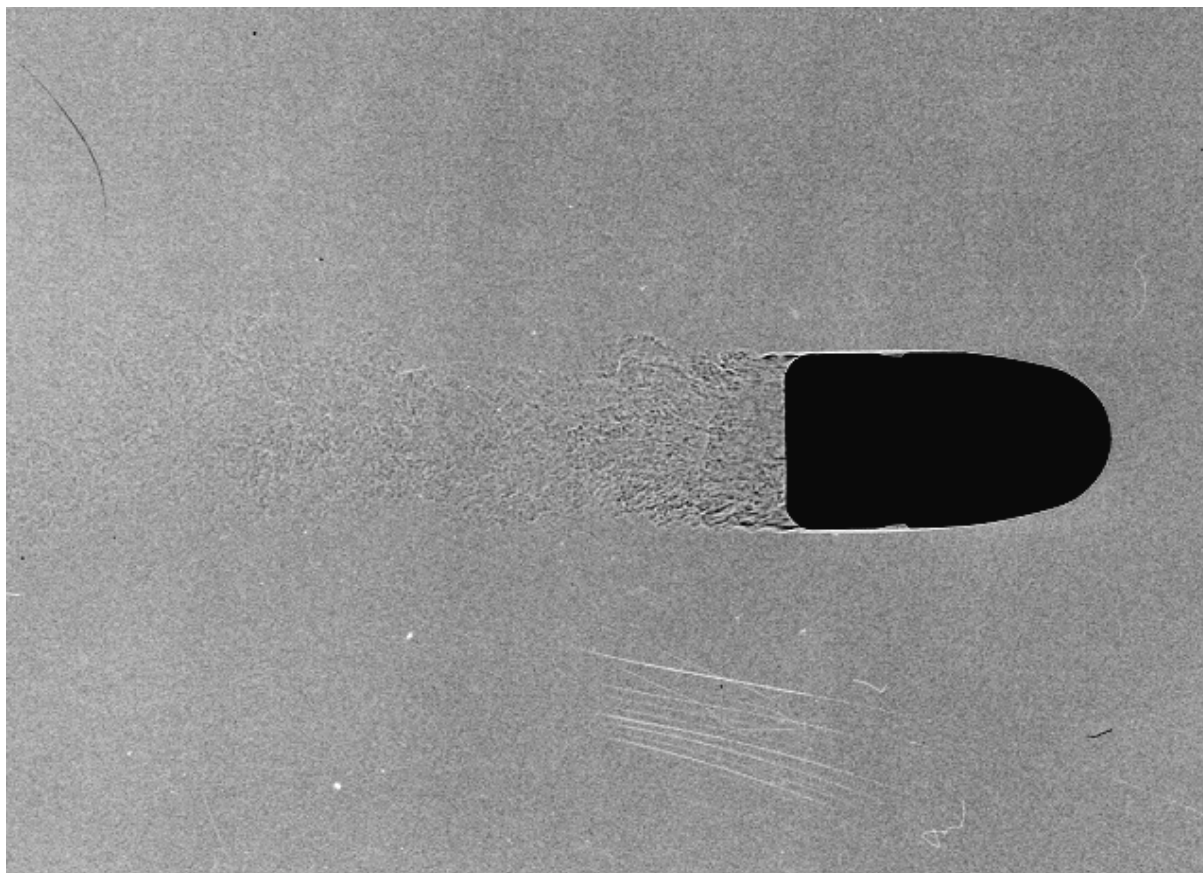
9 mm LUGER FMJ



- Stínový snímek 9 mm Luger FMJ
- Rychlost střely mírně nadzvuková
- Machova vlna pod větším úhlem
- Turbulence za bází (brázda)



.32 ACP



- Stínový snímek cal. .32 ACP
- Podzvuková rychlost střely
- Žádné rázové vlny
- Turbulence za bází (brázda)



PŘÍSTUPY VNĚJŠÍ BALISTIKY

1. Pohyb ve vakuu

- Uvažuje se jen tíhová síla
- Parabolická teorie

2. Pohyb ve vzduchu

- Osa střely leží v tečně k trajektorii střely tzn. uvažujeme jen čelný odpor vzduchu
- Hlavní úkol vnější balistiky

3. Pohyb ve vzduchu se zřetelem na rotaci

- Pro popis proudění užíváme síly a momenty, které působí na střelu, a které se zjišťují experimentálně

4. Pohyb ve vzduchu se zřetelem na rotaci

- Řešení Navier–Stokesových rovnic, umožňuje určit parametry proudění v každém bodě



SÍLY A MOMENTY



ROZDĚLENÍ

Síly způsobené hmotou střely

- Tíhová síla
- Coriolisova síla – fiktivní síla, kterou pozorovatel v rotující soustavě vysvětluje pohyb těles (neuvažuje se do 50km dostřelu).

Aerodynamické síly a momenty

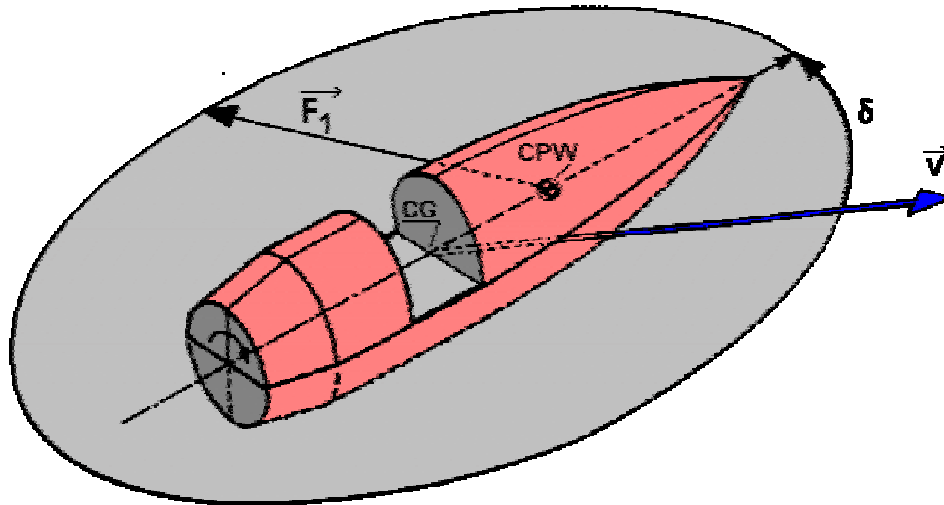
- Jsou výsledkem interakce okolního proudění se střelou a závisí na tvaru a drsnosti povrchu těla projektilu.



AERODYNAMICKÉ SÍLY A MOMENTY



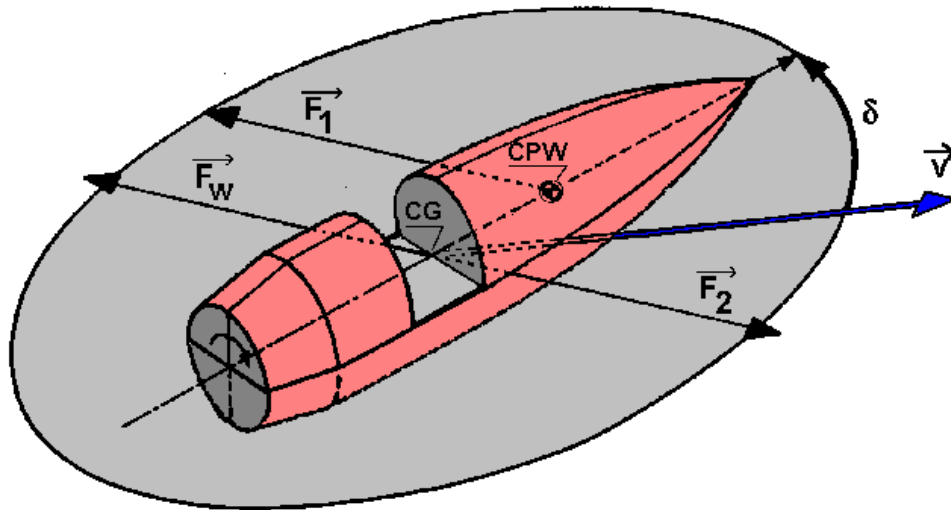
ODPOR VZDUCHU



- Uvažujeme **úhel odklonu δ** , tzn. úhel, který svírá trajektorie těžiště s osou střely
- Celkové obtékání tělesa vede k celkové odporové síle – **Odporu vzduchu F_1** (CPW je působiště, za letu se jeho pozice mění)



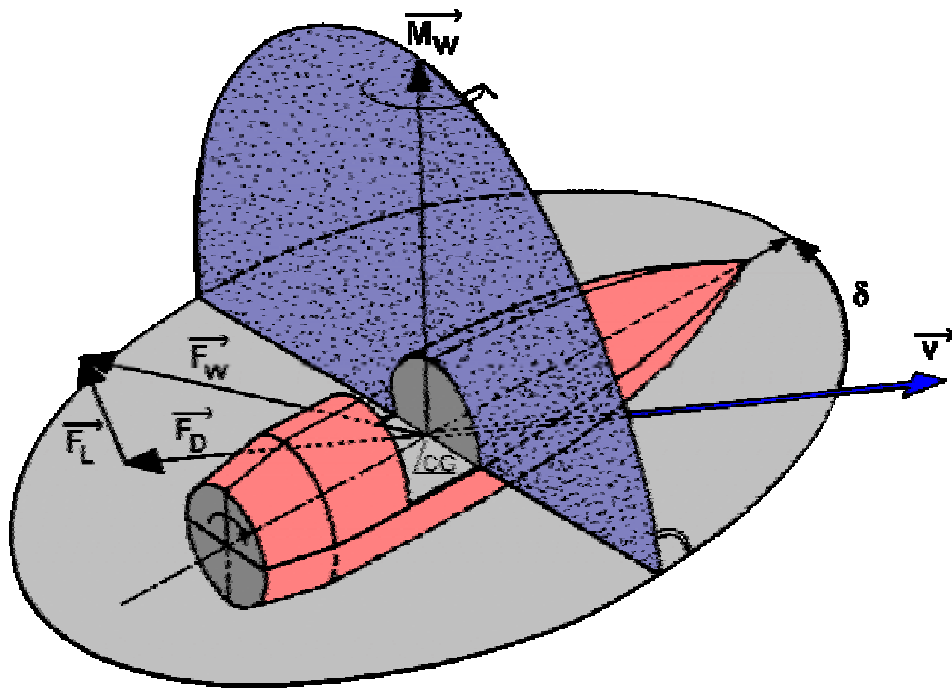
ODPOR VZDUCHU



- Přidejme nyní dvě síly \vec{F}_w a \vec{F}_2 , které mají stejnou velikost a směr jako síla odporu vzduchu \vec{F}_1 a navzájem opačnou orientaci.
- Vznikne dvojice sil \vec{F}_1 a \vec{F}_2



KLOPNÝ MOMENT



- Dvojice sil F_1 a F_2 má otáčivý účinek, který vyjádříme momentem M_w , který se nazývá **klopný moment**. (snaží se zvětšit úhel δ)
- Sílu F_w rozložíme na složky, do směru tečny a normály. Tangencialní sílu F_D naz. **čelný odpor**, sílu F_L **vztlak**.



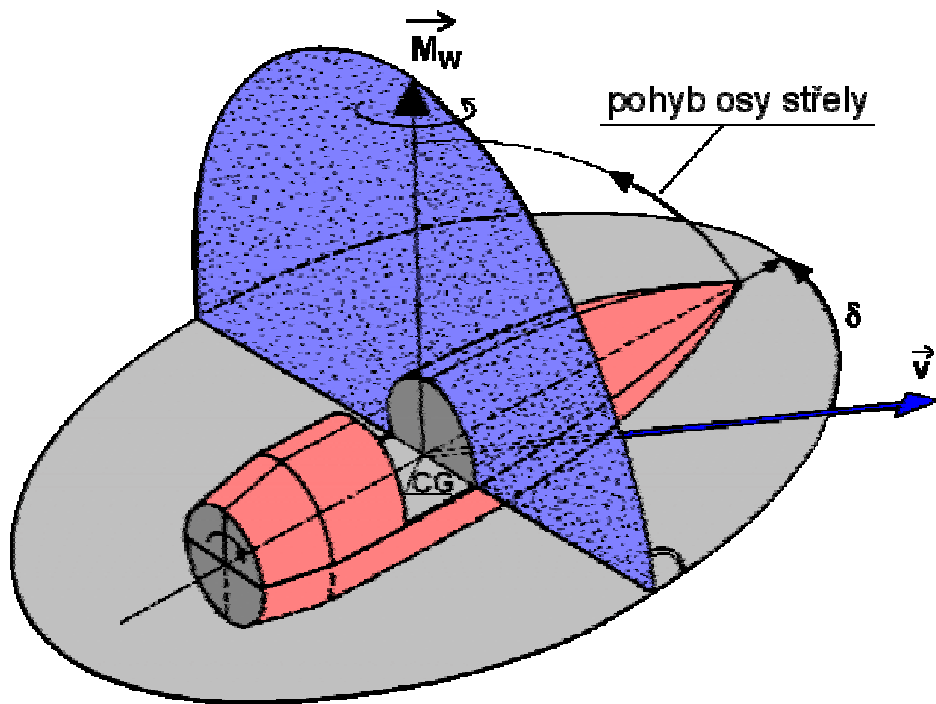
ODPOR VZDUCHU A KLOPNÝ MOMENT

Shrnutí

- Celkovou **sílu odporu vzduchu** lze nahradit, silou, která působí v těžišti střely a **klopným momentem**.
- Uvedenou sílu lze dále rozložit na dvě složky:
 - **čelný odpor** (síla, která zpomaluje pohyb)
 - **vztlak** (tato síla se snaží vychýlit těžiště střely v tu stranu, kam je vychýlena přední část střely)
- Při absenci úhlu odklonu δ se síla odporu vzduchu redukuje na čelný odpor.



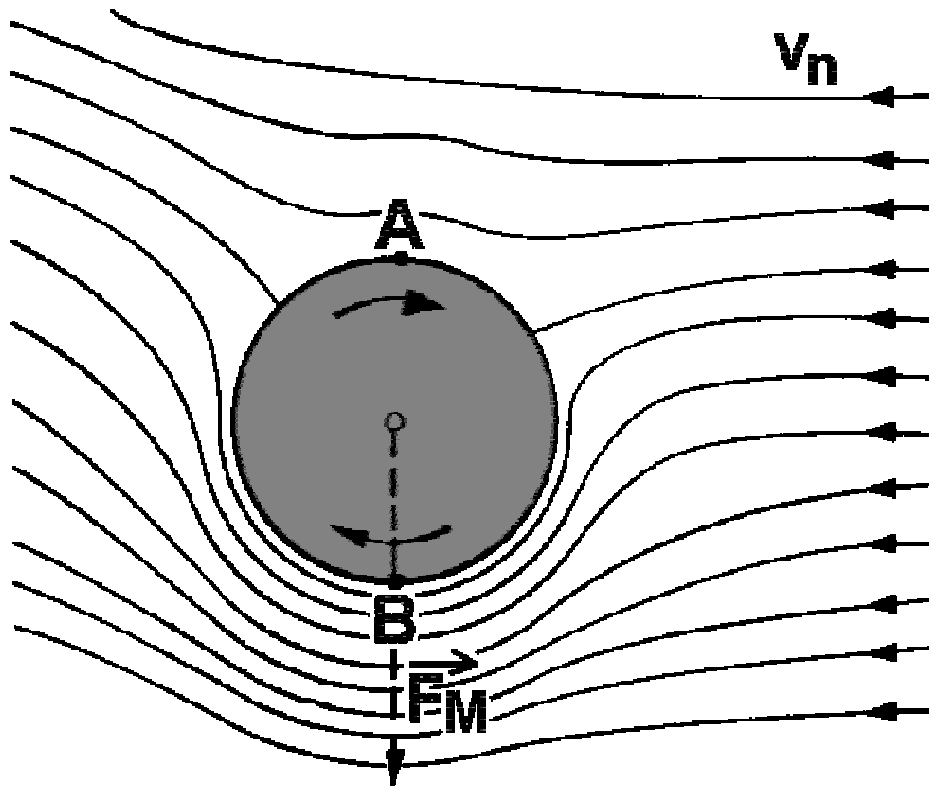
PRECESE



- Díky rotaci střely kolem své osy, se tato osa bude snažit ztotožnit svůj směr se směrem klopného momentu
- Osa střely bude opisovat plášť kužele, jehož osou bude vektor rychlosti. Nastane otáčivý pohyb zvaný **precese**



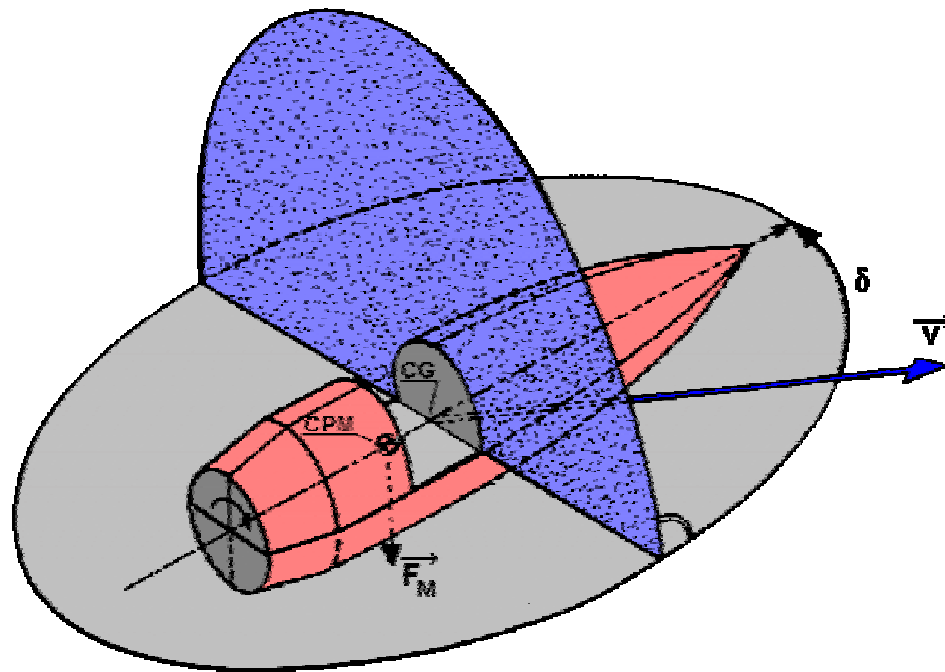
MAGNUSOVA SÍLA



- Částice, které lpí na povrchu jsou unášeny ve směru jeho pohybu. V místě *A* se setkávají se vzduchem, proudícím proti nim, tím vzniká zhuštění.
- V místě *B* nastane zředění.
- Výsledkem je **magnusova síla F_M**



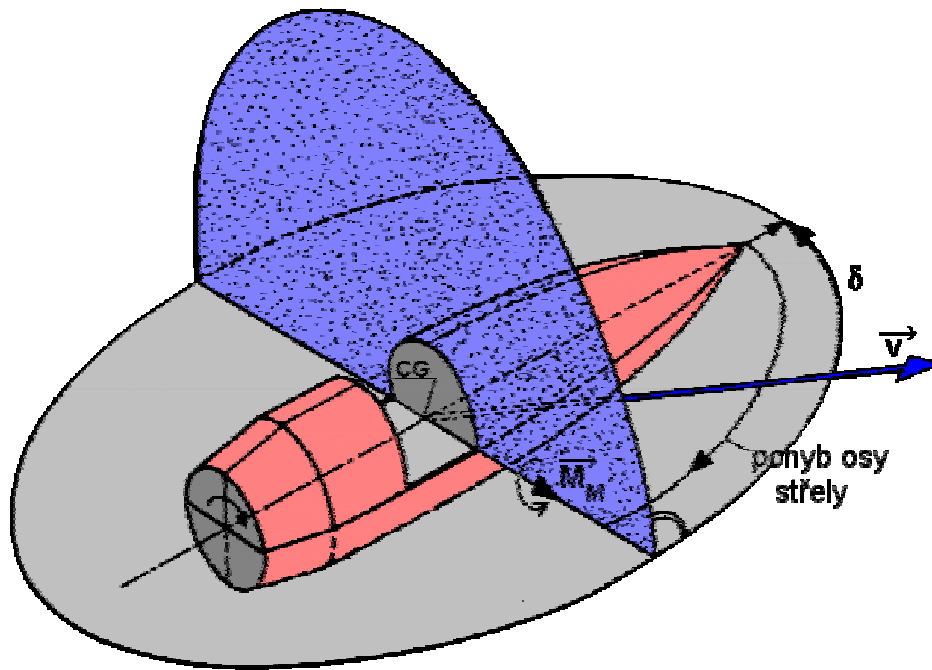
MAGUSOVA SÍLA



- F_M je celková magnusova síla, vzhledem na celý povrch střely.
- Působíště CPM může být lokalizováno před i za těžištěm projektilu.



MAGNUSŮV MOMENT



- Magnusovu sílu nahradíme silou působící v těžišti a **magnusovým momentem M_M** .
- Vzhledem na rotaci se bude osa střely snažit ztotožnit směr se směrem magnusova momentu.
- Je-li CPM za (před) těžištěm, bude M_M zmenšovat (zvětšovat) δ .



MAGNUSOVA SÍLA A MOMENT

Shrnutí

- Magnusova síla je podmíněna rotací střely kolem své osy a úhlem δ .
- Působíště magnusovy síly je obecně lokalizováno mimo těžiště, lze ji tedy nahradit momentem a silou.
- Magnusův moment má důležitý efekt **stabilizační**, je-li CPM za těžištěm, v opačném případě **destabilizační**.



TLUMÍCÍ MOMENT A MOMENT POVRCHOVÉHO TŘENÍ

Tlumící moment

- Při výkyvech osy střely vzhledem k tečně (k trajektorii), vzniká moment, který se snaží zmenšit úhlovou rychlost kývání - **tlumící moment**.
- Důsledkem je, že střela, která je staticky stabilní u ústí hlavně, zůstává staticky stabilní po celou dobu letu.

Moment povrchového tření

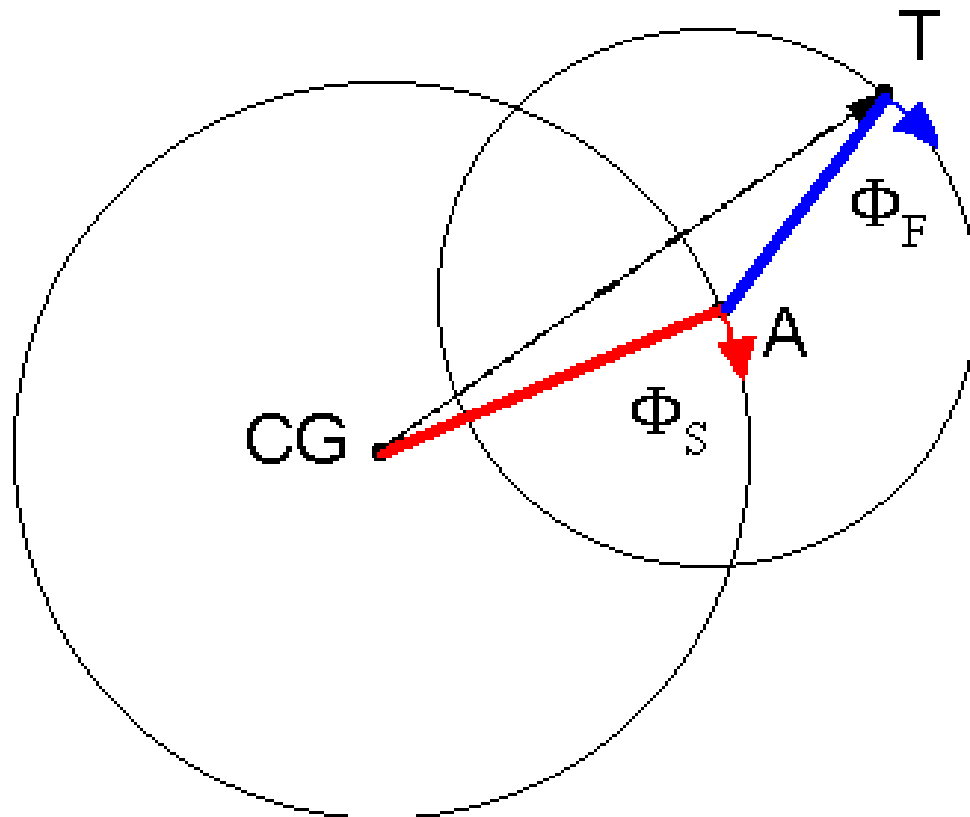
- Snaží se zmešit úhlovou rychlost otáčivého pohybu střely kolem její osy.



VÝSLEDNÝ ROTAČNÍ POHYB



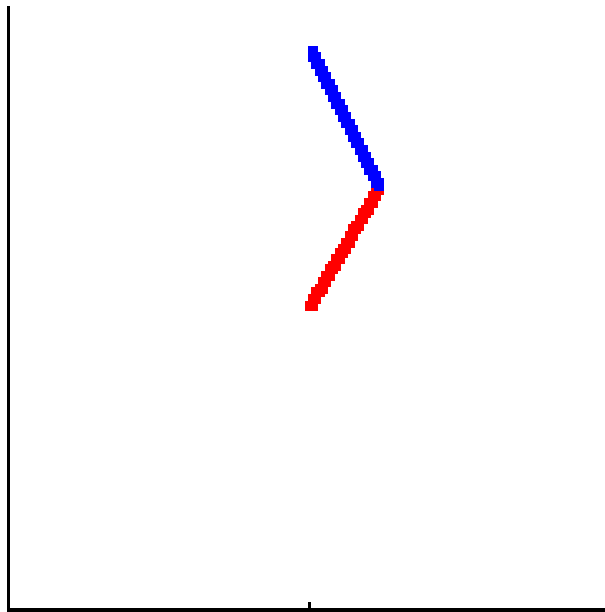
MODEL DVOU RAMEN



- Štřela rotuje kolem svého těžiště.
- Výsledný pohyb špičky střely, který je dán součtem všech momentů, lze ukázat na modelu dvou ramen. Dochází k superpozici precese a nutace.
- Špičku střely si představme v bodě T .



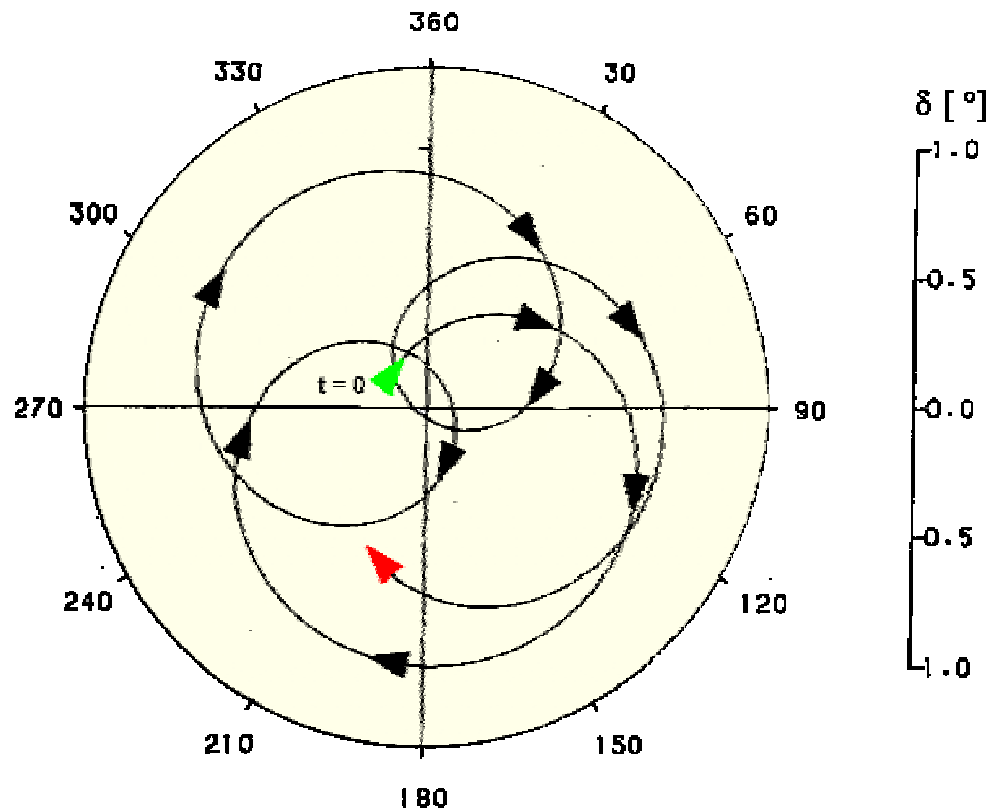
MODEL DVOU RAMEN



- Precese je reprezentována červeným ramenem a nutace modrým.
- Nutační frekvence je vždy větší než frekvence precesní.
- U dynamicky stabilních střel se ramena s časem zkracují.



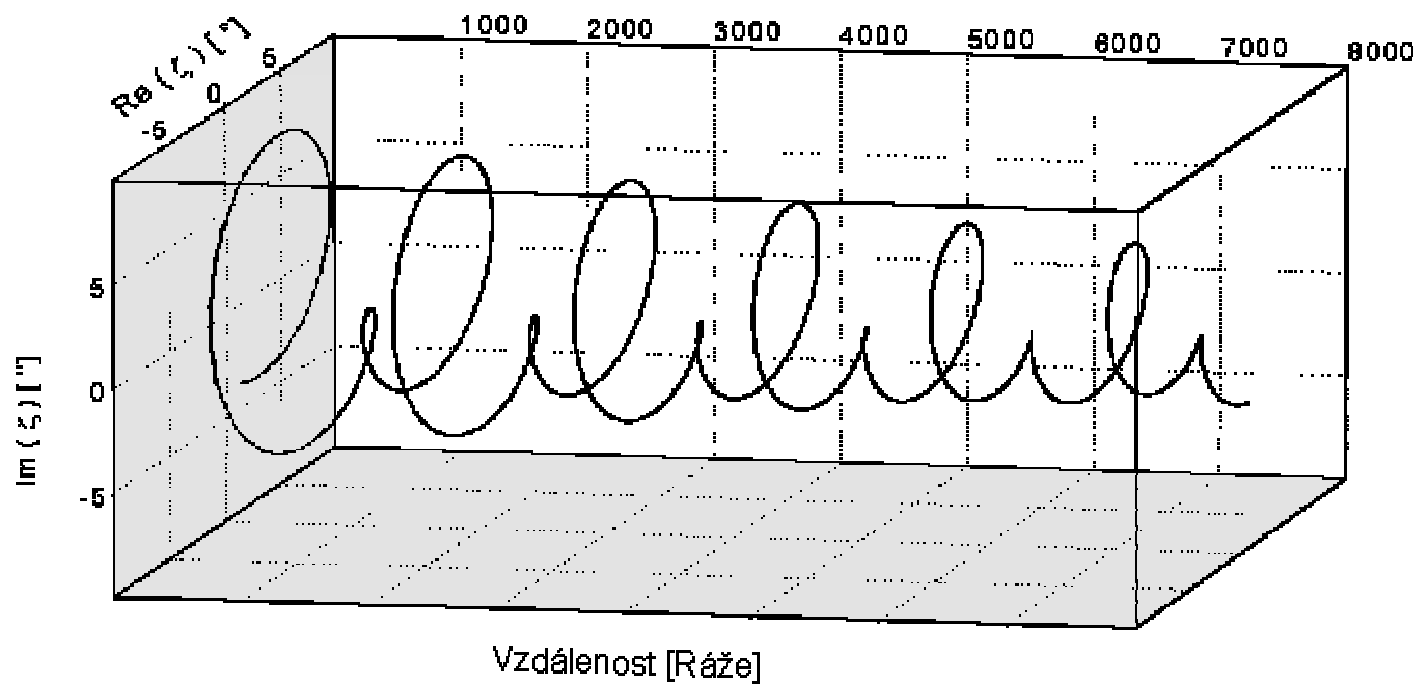
POHYB ŠPIČKY STŘELY



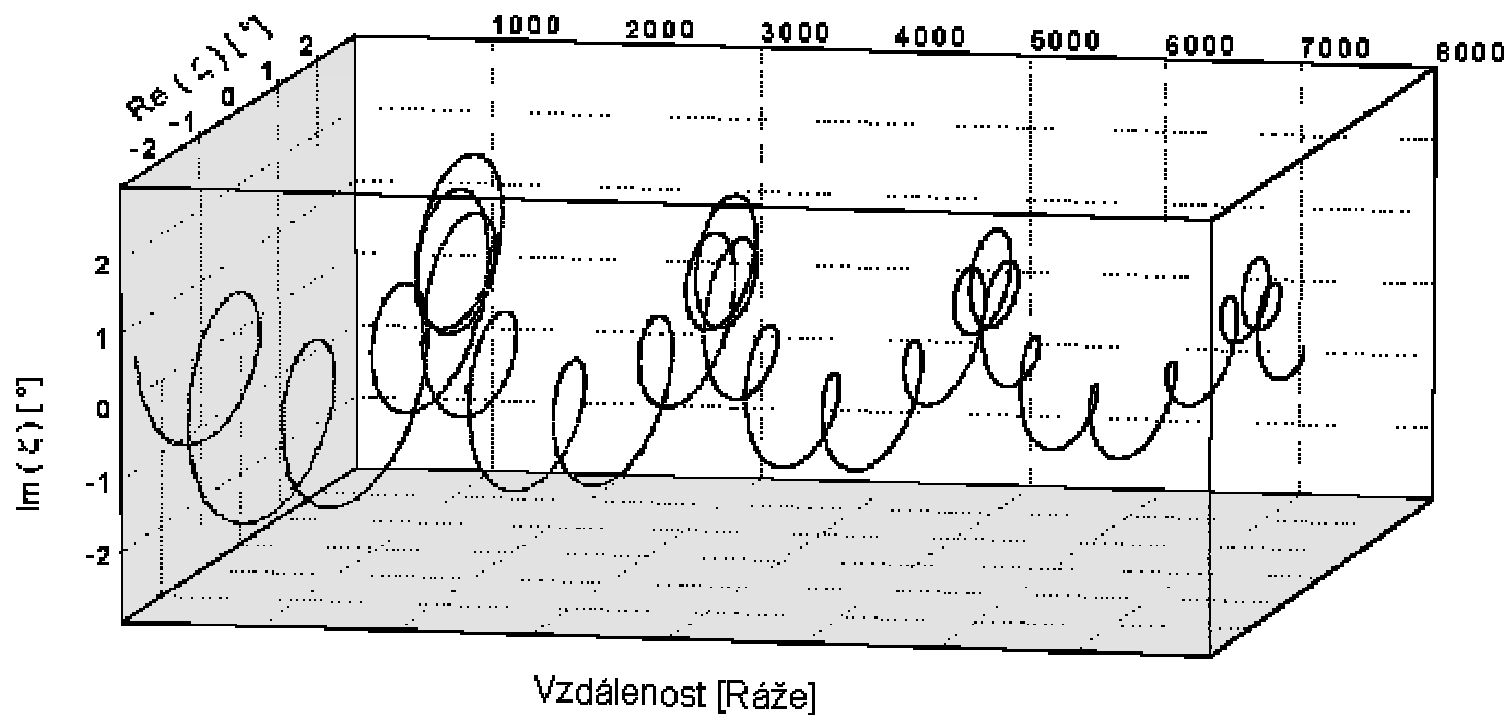
- Znázornění pohybu špičky střely, která se přibližuje k pozorovateli
- Těžiště si představme uprostřed diagramu



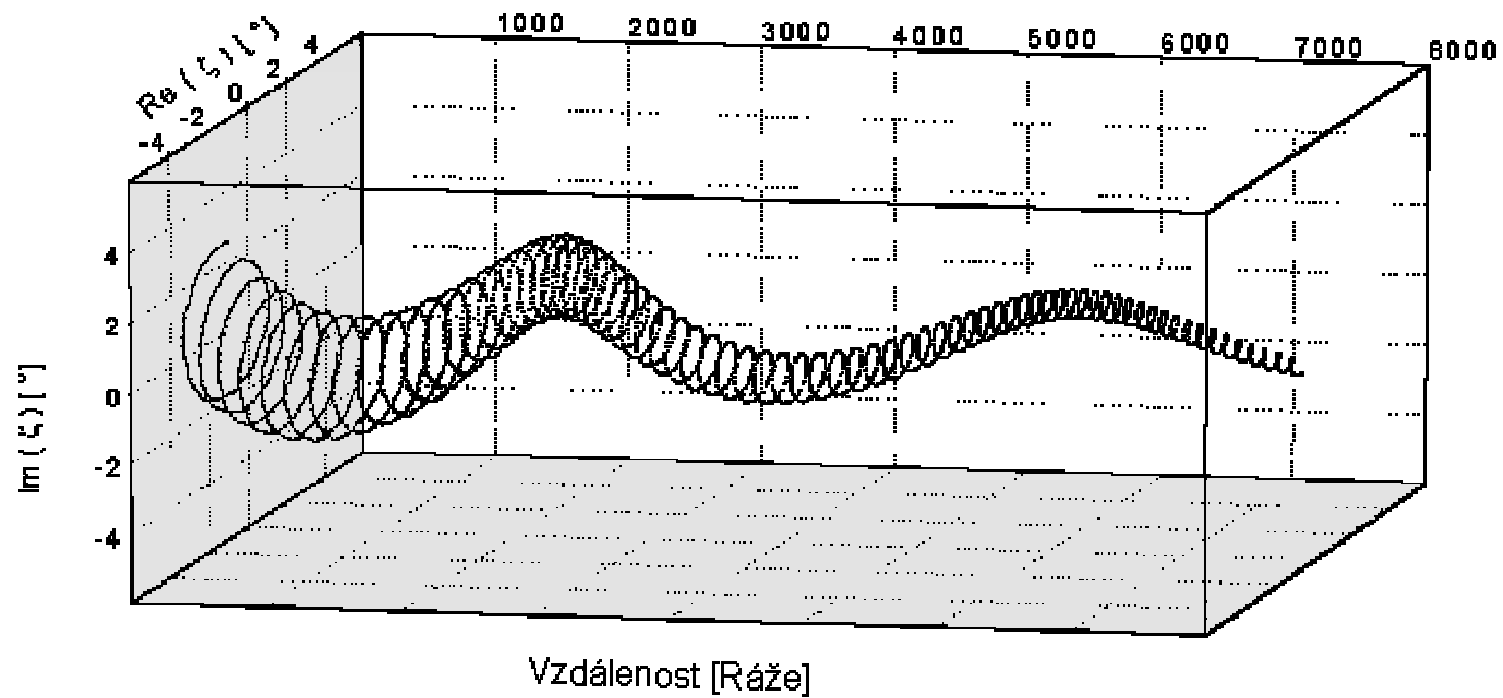
PRŮBOJNÁ STŘELA 5.56 x 45



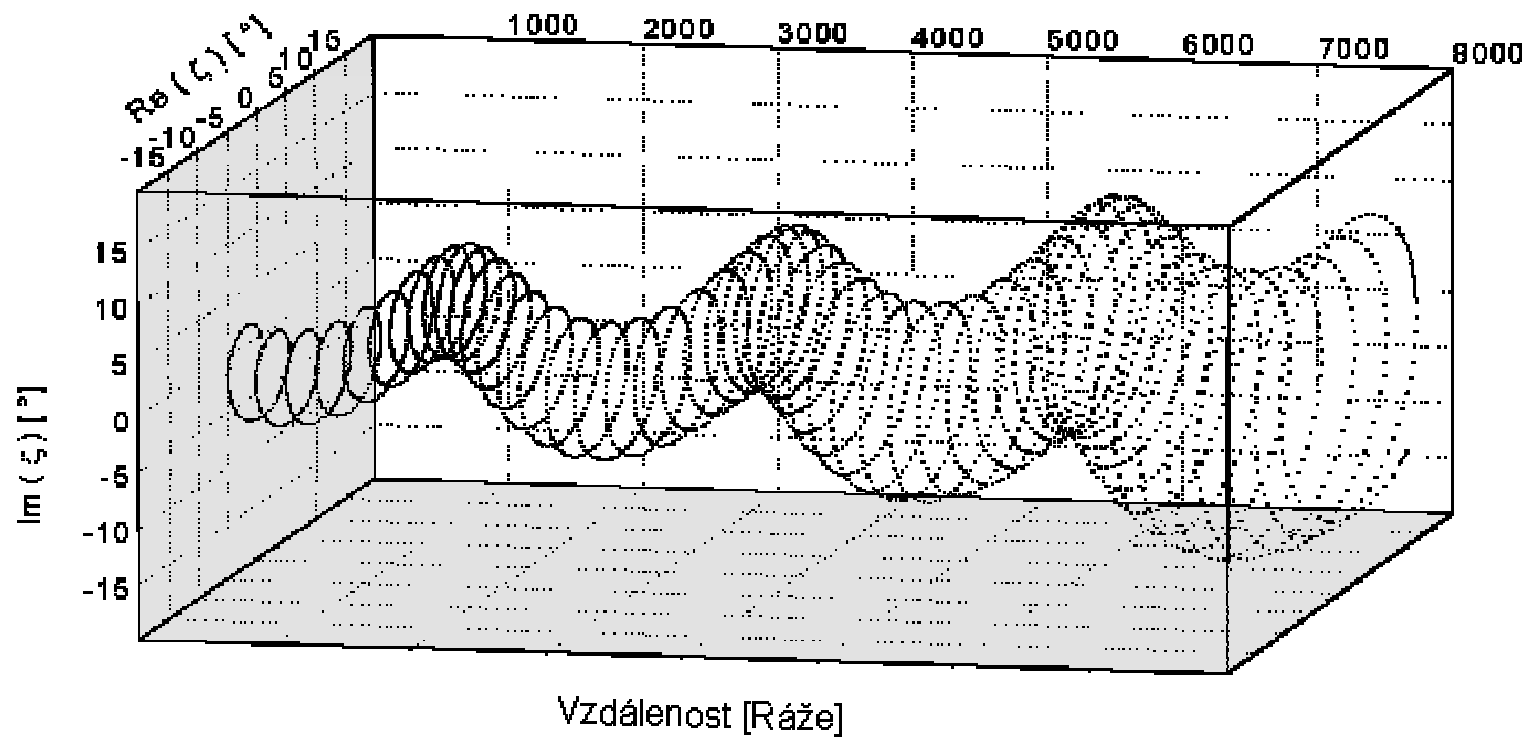
STŘELA M80 7.62 x 51



STŘELA KTW .357



STŘELA WADCUTTER .38



SHRNUTÍ A LITERATURA



SHRNUTÍ

Balistika

- Vnitřní
- Vnější
- Koncová

Přístupy vnější balistiky

- Na střelu se díváme jako na setrvačnick a její pohyb popisujeme pomocí fyzikálního modelu. Ten je založen na několika momentech a silách, které působí na tělo projektilu (určují se experimentálně).
- Přístup, který vede k přesnému určení a předpovězení trajektorie střely, je podmíněn znalostí parametrů proudění v každém okolním bodě. Na to se zaměřuje dnešní balistický výzkum.

Výsledný pohyb

- Střela koná translační a zároveň složitý rotační pohyb kolem svého těžiště.



LITERATURA

- WWW stránky Ruprechta Nennstiela
<http://www.povn.com/~4n6/>
- J. M. Šapiro; Vnější balistika I,II, SNTL 1953, 1954

