

## UVOD

### **ZADATAK DINAMIKE LETA PROJEKTILA**

Dinamika leta je nauka koja proučava ponašanje letelice (u konkretnom slučaju projektila) u toku leta. Dinamika leta u osnovi rešava dva zadatka:

1. Određivanjem parametara putanje projektila na osnovu ulaznih podataka
2. Određivanjem ulaznih parametara na osnovu unapred zadatih ili ostvarenih parametara (dometa, preciznosti itd.)

Prvi zadatak se često naziva primarnim, a drugi inverznim zadatkom dinamike leta. Rešenje primarnog zadatka takodje omogućava definisanje svih opterećenja (aerodinamičkih i inercijalnih) koja su ulazni parametri za projektovanje konstrukcije i druge proračune.

### **REŠAVANJE OSNOVNOG ZADATKA**

Da bi se rešio osnovni zadatak dinamike leta, potrebno je definisati sledeće parametre:

- Aerodinamičke karakteristike (koeficijenti aerodinamičke sile i momenata u funkciji Mach-ovog broja)
- Karakteristike pogonskog (propulzivnog) sistema (potisak i maseni protok u funkciji vremena)
- Karakteristike sistema vođenja, ukoliko se radi o vođenom projektilu (program vođenja i prenosne funkcije)
- Karakteristike sistema upravljanja (tip upravljanja, prenosne funkcije izvršnih organa-aktuatora)
- Inercijalne karakteristike (masa i položaj centra mase u funkciji vremena)
- Osobine atmosfere (standardna atmosfera, odstupanje od standardne, podaci o vetru)
- Oblik zemlje i model gravitacionog polja
- Početni parametri (početni položaj, ugao azimuta i ugao elevacije itd.)

Ukoliko su svi ovi parametri poznati, dati kao ulazni set podataka, diferencijalne jednačine kretanja se mogu integraliti da bi se odredilo ponašanje projektila u toku leta što kao krajnji rezultat daje putanju trajektoriju po kojoj se projektil kreće.

U osnovi, moguće je definisati nekoliko različitih modela kretanja projektila:

- Dva stepena slobode - 2-DOF (translacija u vertikalnoj ravni, bez promene ugla azimuta), model kretanja materijalne tačke (Euler-ov model)
- Tri stepena slobode - 3-DOF (translacija u x, y, z pravcu) model kretanja materijalne tačke
- Šest stepeni slobode - 6-DOF (translacija u x, y, z pravcu), kruto tela (sa tri ugla rotacije oko centra mase - težišta projektila)
- Elastični model sa nekoliko stepeni slobode, koji razmatra elastične deformacije tela projektila tokom leta.

## DINAMIKA LETA PROJEKTILA

Prvi model se praktično više ne koristi, a poslednji je od interesa samo za projekte velikih dimenzija i složene strukture tako da su 3-DOF i 6-DOF modeli našli najširu primenu. U 3-DOF modelu aerodinamički model projektila je pojednostavljen, tj. aerodinamičke karakteristike projektila se određuju za nulti napadni ugao. 3-DOF model se obično koristi u preliminarnoj optimizaciji ulaznih parametara (inverzni zadatak dinamike leta) zbog brzine kojom se dolazi do rešenja. 6-DOF model se koristi u sledećoj fazi, da bi se testiralo ponašanje stvarne konstrukcije.

Razmatraju se tri modela oblika Zemljine kugle i gravitacionog polja:

- Ravna nerotirajuća Zemlja sa konstantnim gravitacionim ubrzanjem
- Sferna rotirajuća Zemlja sa Newton-ovim modelom gravitacionog polja
- Kvazi-elipsoidna Zemlja sa ne-centričnim modelom gravitacionog polja

Prvi model se može koristiti za domete do 100 km, ali nije puno u upotrebi. Poslednji model je najkomplikovaniji i koristi se samo za interkontinentalne domete i analize putanja satelita.

### **REŠAVANJE INVERZNOG ZADATAKA**

Inverzni zadatak se rešava sukcesivnim korišćenjem 3-DOF i 6-DOF modela, sa ručnim ili automatskim podešavanjem ulaznih podataka da bi se postigli optimalni uslovi za datu putanju.