

## **GLAVA II**

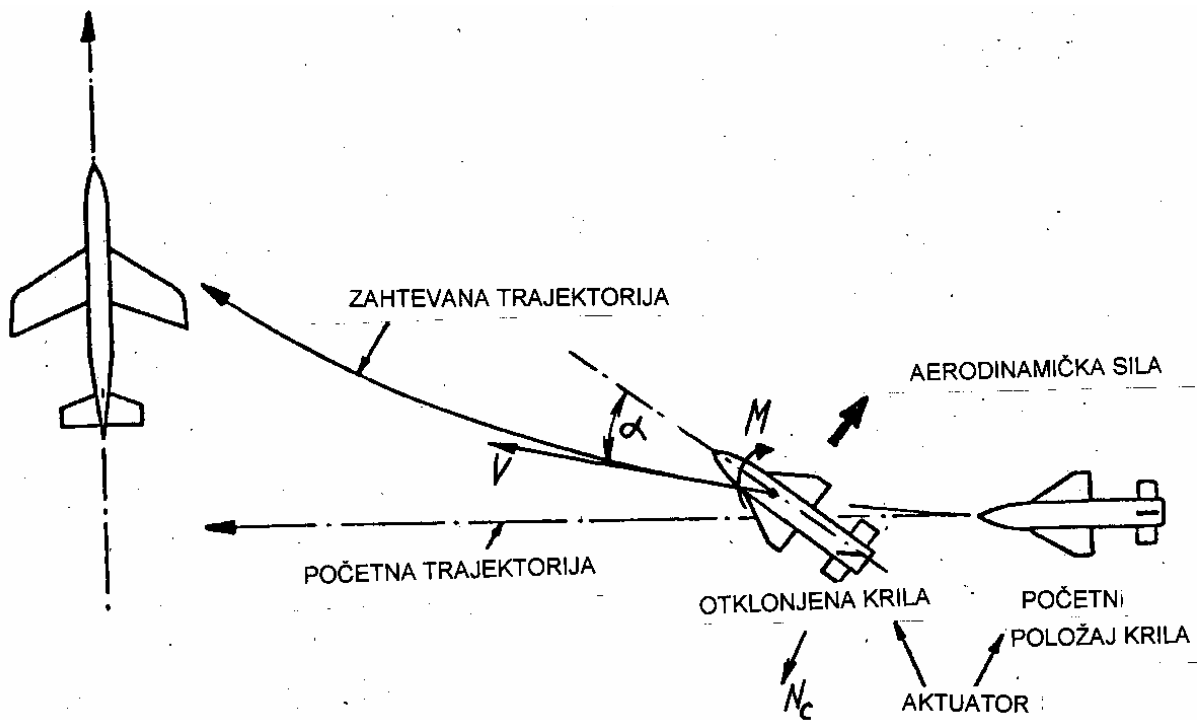
### **METODE UPRAVLJANJA RAKETOM**

Princip upravljanja raketom. Dekartovo i polarno upravljanje. Zahtevi u projektovanju sistema upravljanja raketom. Definicija znaka otklona upravljačkih površina. Klasifikacija metoda upravljanja raketom. Osnovne aerodinamičke konfiguracije: normalna šema, šema sa zakrilcima, patka i šema obrtna krila. Statička stabilnost i upravljivost. Prednosti i nedostaci pojedinih aerodinamičkih šema. Upravljanje vektorom potiska.

## 2. METODE UPRAVLJANJA RAKETOM

### OSNOVNI ZADATAK SISTEMA UPRAVLJANJA:

POSTIĆI ŽELJENU TRAJEKTORIJU OTKLONIMA UPRAVLJAČKIH POVRŠINA.

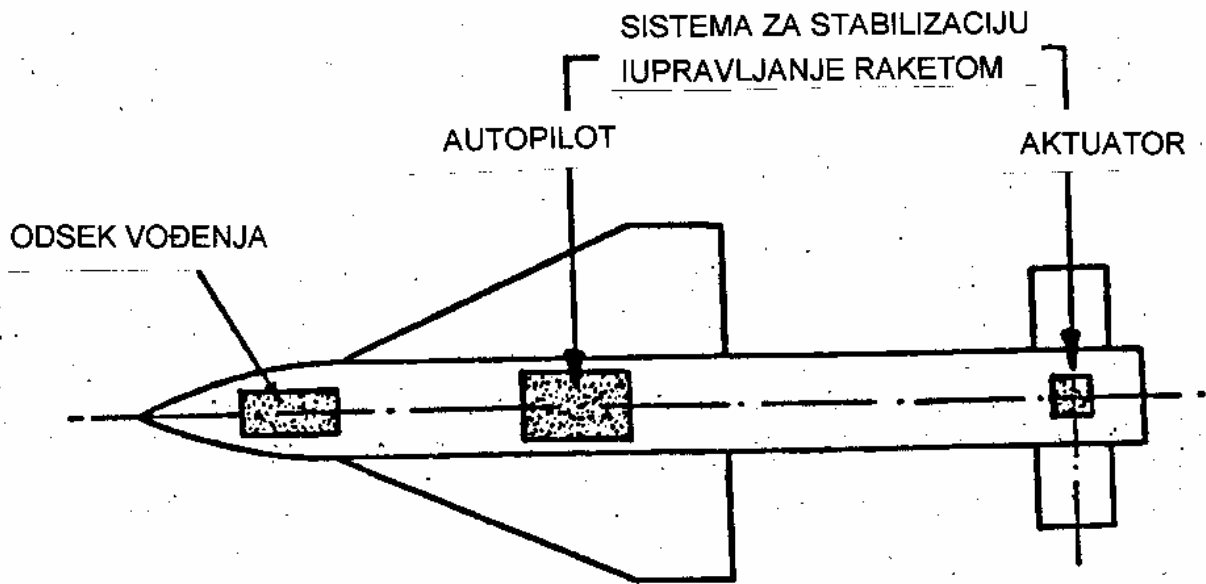


SLIKA 2.1 PRINCIP UPRAVLJANJA

DA BI SE POSTIGLA ŽELJENA AERODINAMIČKA SILA, POTREBNO JE:

- OTKLONINITI UPRAVLJAČKE POVRŠINE KOJE PROIZVODE UPRAVLJAČKU SILU I MOMENT OKO C.G;
- POSTAVITI RAKETU NA ODREĐENI NAPADNI UGAO KOJI PROIZVODI AERODINAMIČKU SILU.

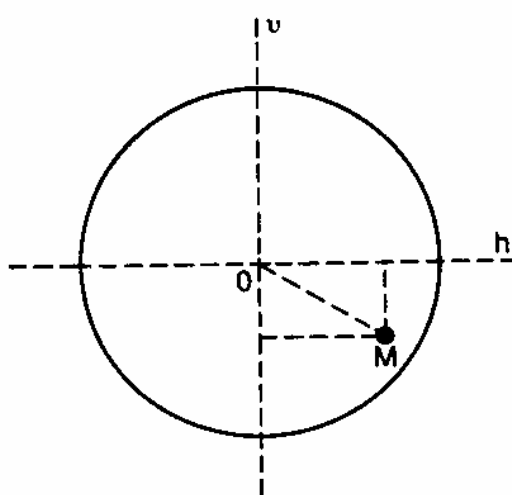
## GLAVA II



**SLIKA 2.2 ELEMENTI UPRAVLJANJA**

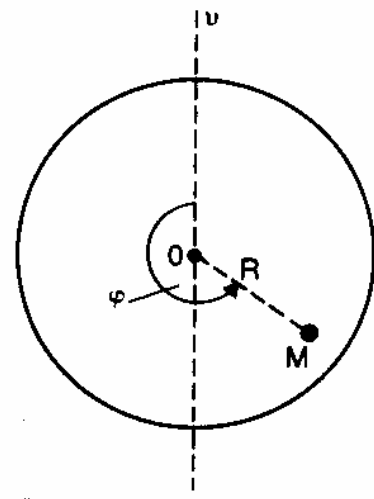
SISTEM ZA STABILIZACIJU I UPRAVLJANJE RAKETOM ČINE:

- AUTOPILOT (ŽIROSKPI, AKCELEROMETRI I DRUGI SENZORI);
- POKRETAČ UPRAVLJAČKIH POVRŠINA(AKTUATOR);
- UPRAVLJAČKE POVRŠINE.



**A – DEKARTOVO UPRAVLJANJE**

GREŠKE:  $h, v$



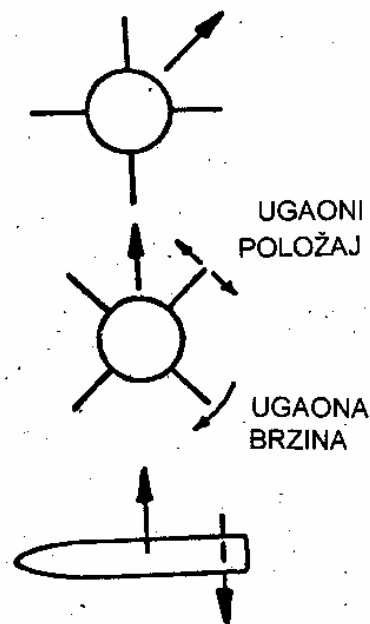
**B – POLARNO UPRAVLJANJE**

GREŠKE:  $\varphi, R$

**SLIKA 2.3 METODE UPRAVLJANJA RAKETOM**

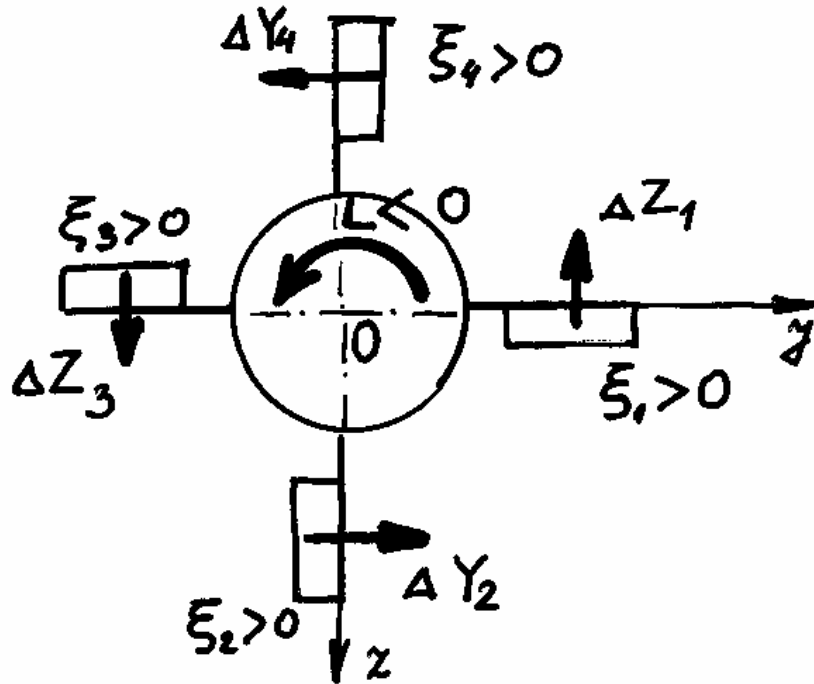
## ZAHTEVI U PROJEKTOVANJU SISTEMA UPRAVLJANJA RAKETOM

1. POSTIĆI ŽELJENU KOMANDU PO INTENZITETU I PRAVCU;
2. POSTIĆI ŽELJENI UGAO VALJANJA ILI UGAONU BRZINU VALJANJA;
3. KOMPENZIRATI SILE U SMERU SUPROTNOM OD ŽELJENOG;
4. ULAZI U AUTOPILOT TREBA DA SU KONZISTENTNI PO VREMENU SA SIGNALIMA VOĐENJA;
5. POSTIĆI LINEARNU KARAKTERISTIKU: SILA – OTKLON UPRAVLJAČKIH POVRŠINA;
6. MINIMALAN UTROŠAK ENERGIJE, ODNOSNO MINIMALAN AERODINAMIČKI ŠARNIRNI MOMENT;
7. OBEZBEDITI MINIMALAN OTPOR I MINIMALNU PROMENU CENTRA DELOVANJA SILE USLED OTKLONA UPRAVLJAČKIH POVRŠINA.



SLIKA 2.4 ZADACI UPRAVLJANJA RAKETOM

DEFINICIJA ZNAKA OTKLONA UPRAVLJAČKIH POVRŠINA



SLIKA 2.5 POZITIVAN OTKLON UPRAVLJAČKIH KRILACA  
(POGLED U SMERU LETA RAKETE)

A. OTKLON ELERONA (UPRAVLJAČKIH POVRŠINA VALJANJA):

$$\xi = \frac{1}{4}(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4) \quad \xi > 0 \Rightarrow L < 0$$

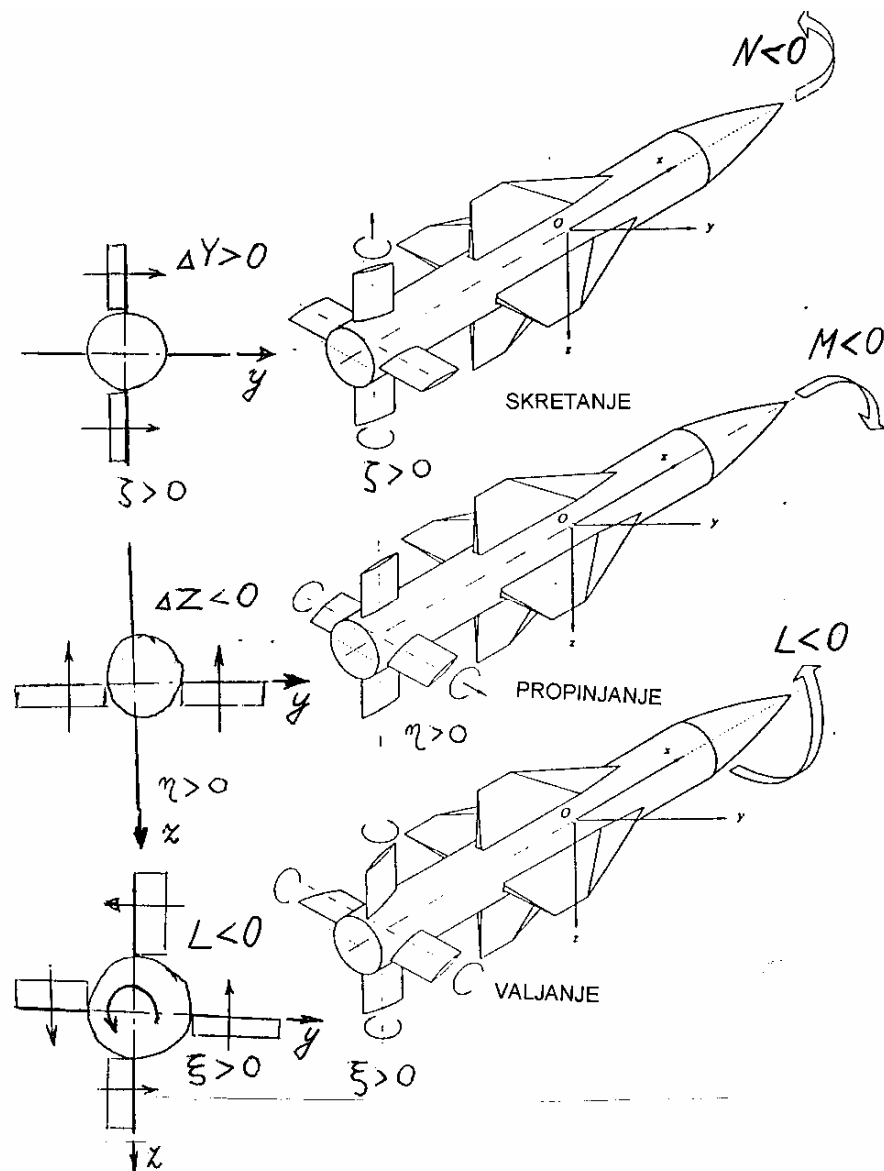
B. OTKLON UPRAVLJAČKIH POVRŠINA PROPINJANJA:

$$\eta = \frac{1}{4}(\xi_1 - \xi_3) \quad \eta > 0 \Rightarrow Z < 0$$

C. OTKLON UPRAVLJAČKIH POVRŠINA SKRETANJA:

$$\zeta = \frac{1}{4}(\xi_2 - \xi_4) \quad \zeta > 0 \Rightarrow Y < 0$$

## GLAVA II



**SLIKA 2.6 MOMENTI IZAZVANI OTKLONOM UPRAVLJAČKIH POVRŠINA**

- A. POZITIVAN  $\xi$  PROIZVODI NEGATIVAN  $L$
- B. POZITIVAN  $\eta$  PROIZVODI NEGATIVNU SILU  $Z$  I NEGATIVAN MOMENT  $M$  AKO SU UPRAVLJAČKE POVRŠINE IZA C.G.
- C. POZITIVAN  $\zeta$  PROIZVODI POZITIVNU SILU  $Y$  I NEGATIVAN MOMENT  $N$  AKO SU UPRAVLJAČKE POVRŠINE IZA C.G.

## GLAVA II

# KLASIFIKACIJA METODA UPRAVLJANJA RAKETOM

## 1. DEKARTOVO UPRAVLJANJE

### 1.1 AERODINAMIČKO

#### 1.1.1 UPRAVLJANJE VALJANJEM

- ROTIRAJUĆA RAKETA
- STABILIZACIJA UGLA VALJANJA
- STABILIZACIJA UGAONE BRZINE VALJANJA

#### 1.1.2 UPRAVLJANJE PROPINJANJEM (SKRETANJEM)

- NORMALNA ŠEMA: UPRAVLJAČKE POVRŠINE IZA KRILA
- OBRTNA KRILA: UPRAVLJAČKE POVRŠINE SU KRILA
- ŠEMA PATKA: UPRAVLJAČKE POVRŠINE SU ISPRED KRILA

### 1.2 UPRAVLJANJE VEKTOROM POTISKA

- ROTIRAJUĆI RAKETNI MOTOR
- ROTIRAJUĆI MLAZNIK
- INTERCEPTORI ILI KRILA U MLAZNIKU
- UBRIZGAVANJE GASA U MLAZ RAKETNOG MOTORA

## 2. POLARNO UPRAVLJANJE – AERODINAMIČKO

- NORMALNA ŠEMA
- OBRTNA KRILA
- PATKA

## GLAVA II

### **UZROCI VALJANJA RAKETE:**

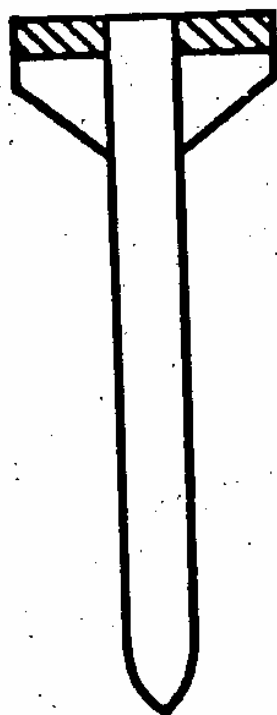
1. SLUČAJNE GREŠKE U IZRADI TELA RAKETE
2. ASIMETRIČNO OPTEREĆENJE KRILA I UPRAVLJAČKIH POVRŠINA
3. ATMOSFERSKI POREMEĆAJI

STABILIZACIJA VALJANJA RAKETE (UGLA ILI UGAONE BRZINE VALJANJA) NEOPHODNA JE U SLEDEĆIM SLUČAJEVIMA:

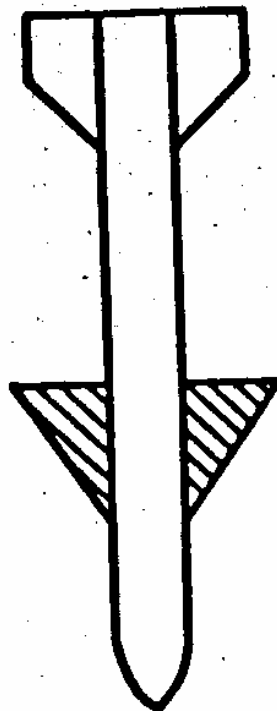
- A. RADARSKI VOĐENE RAKETE PRI LETU IZNAD MORA ILI ZEMLJE
- B. PROGRAMSKI VOĐENE RAKETE SA RADIO VISINOMEROM
- C. SAMONAVOĐENE RAKETE
- D. RAKETA SA USMERENOM BOJEVOM RAKETOM

POLARNO UPRAVLJANJE PODRAZUMEVA STABILIZACIJU UGLA VALJANJA ILI POSTAVLJANJE RAKETE NA ODREĐENI UGAO VALJANJA.

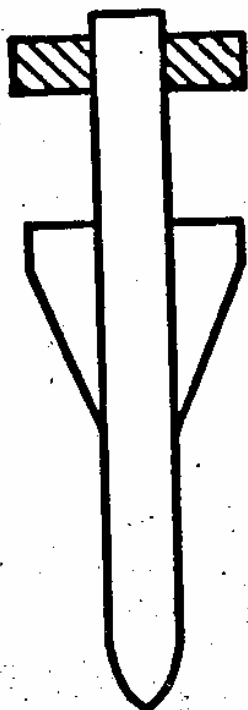
GLAVA II



ŠEMA SA ZAKRILCIMA (FLAPSOVICIMA)



ŠEMA OBRRTNA KRILA



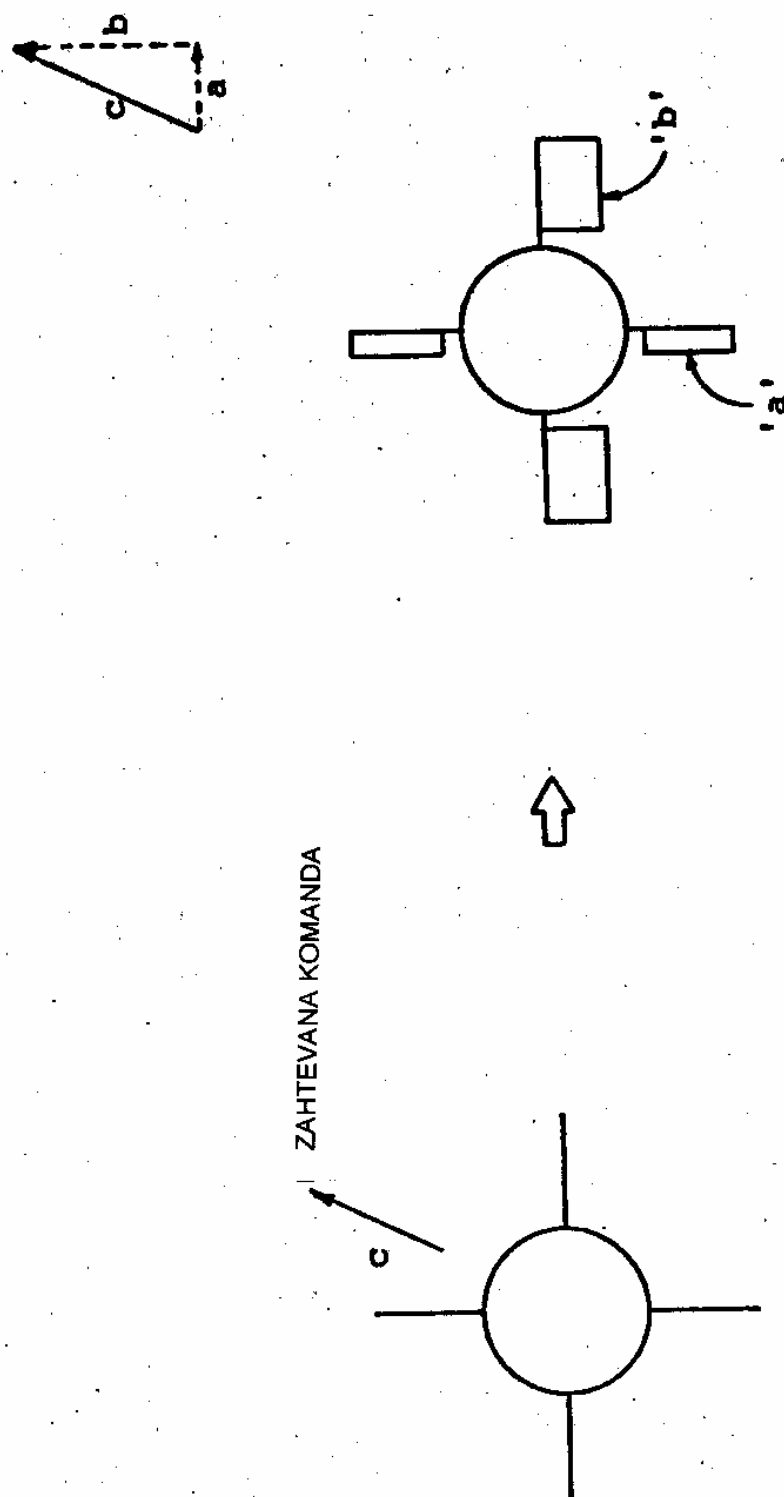
NORMALNA ŠEMA



ŠEMA "PATKA"

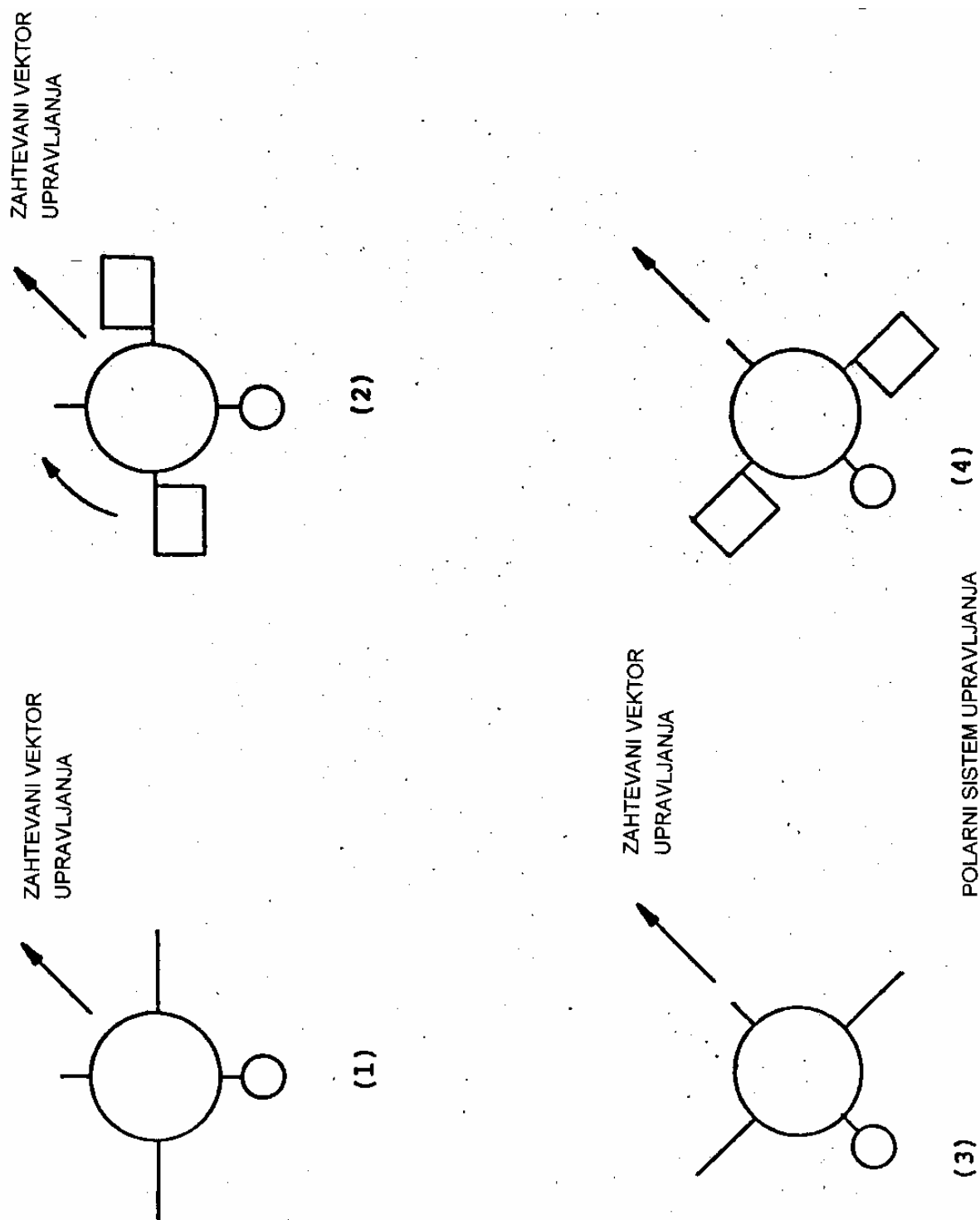
SLIKA 2.7 AERODINAMIČKE ŠEME VOĐENIH RAKETA

## GLAVA II



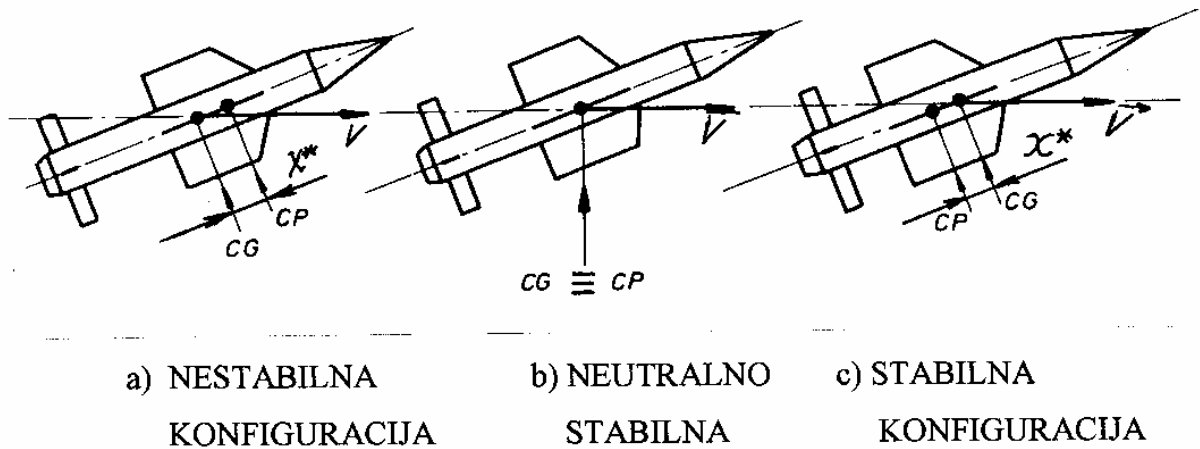
SLIKA 2.8 DEKARTOV SISTEM AERODINAMIČKOG UPRAVLJANJA

## GLAVA II

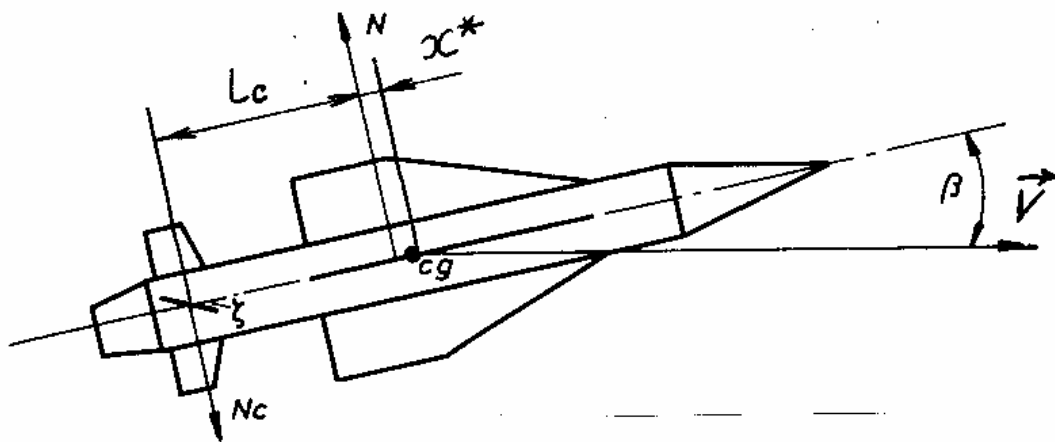


SLIKA 2.9 POLARNI SISTEM UPRAVLJANJA

## GLAVA II



**SLIKA 2.10 RELATIVNI POLOŽAJ CENTRA MASE I CENTRA AERODINAMIČKE SILE ZBOG NAPADNI OG UGLA**



**SLIKA 2.11 NORMALNA ŠEMA SUPERSONIČNE RAKETE**

$$N_c l_c = N x^*$$

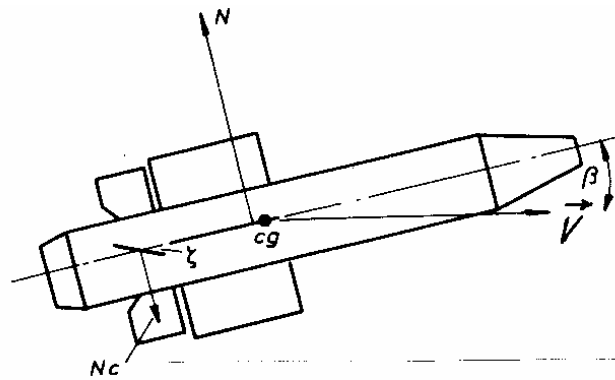
$x^*$  - REZERVA STATIČKE STABILNOSTI

$l_c$  - RASTOJANJE TAČKE UPRTLJAČKE SILE OD C.G.

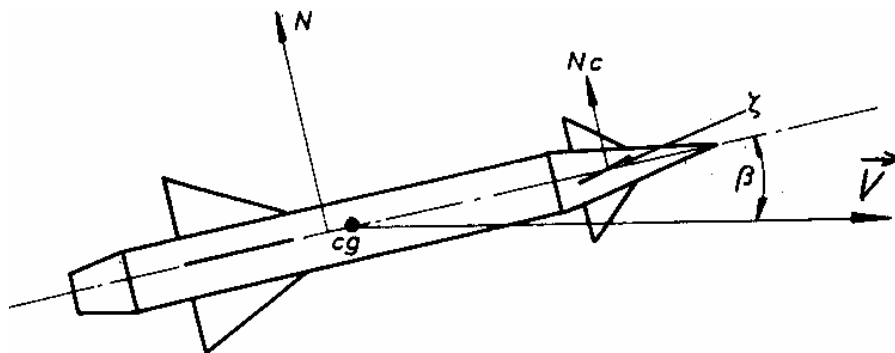
PRIMER:

$$\frac{l_c}{x^*} = 10 \Rightarrow N = 10N_c, N_{TOT} = N - N_c = 9N_c \Rightarrow N_{TOT} < N$$

## GLAVA II



**SLIKA 2.12 NORMALNA ŠEMA SUBSONIČNE RAKETE**

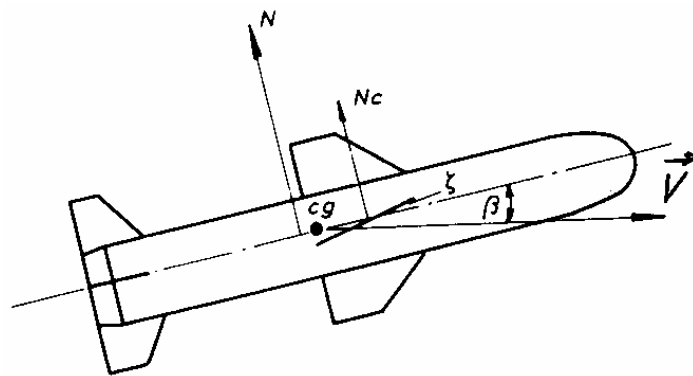


**SLIKA 2.13 AERODINAMIČKA ŠEMA "PATKA"**

PRIMER:

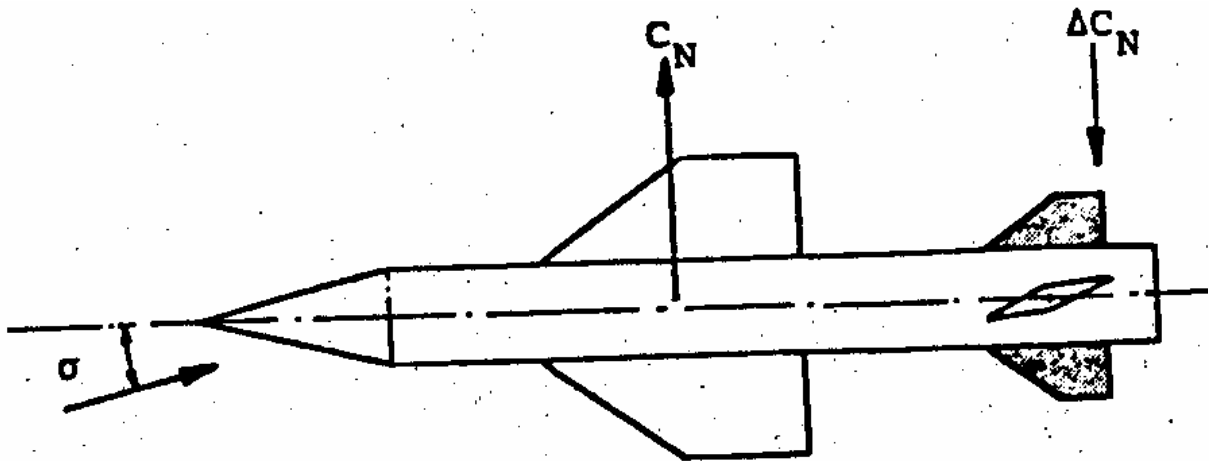
$$N_c l_c = N x^*$$

$$\frac{l_c}{x^*} = 10 \Rightarrow N = 10N_c, N_{TOT} = N + N_c = 11N_c \Rightarrow N_{TOT} > N$$



**SLIKA 2.14 AERODINAMIČKA ŠEMA "OBRITNA KRILA"**

## GLAVA II



### PREDNOSTI:

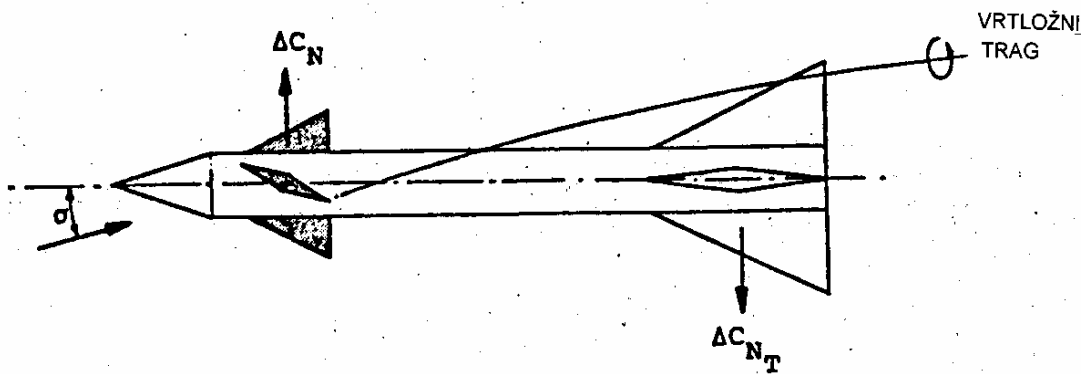
- VELIKA EFIKASNOST UPRAVLJAČKIH POVRŠINA
- MALA VREDNOST ŠARNIRNOG MOMENTA
- LINEARNA AERODINAMIKA

### NEDOSTACI:

- SPOR ODGOVOR RAKETE (NEGATIVNA SILA  $\Delta C_N$ )
- NEPOVOLJNA UGRADNJA AKTUATORA
- VELIKA PROMENA CENTRA DELOVANJA SILE
- USLOVI ZA STABILIZACIJU VALJANJA OGRANIČENI

**SLIKA 2.15 AERODINAMIČKA KONFIGURACIJA  
TIPA "NORMALNA ŠEMA"**

## GLAVA II



### PREDNOSTI:

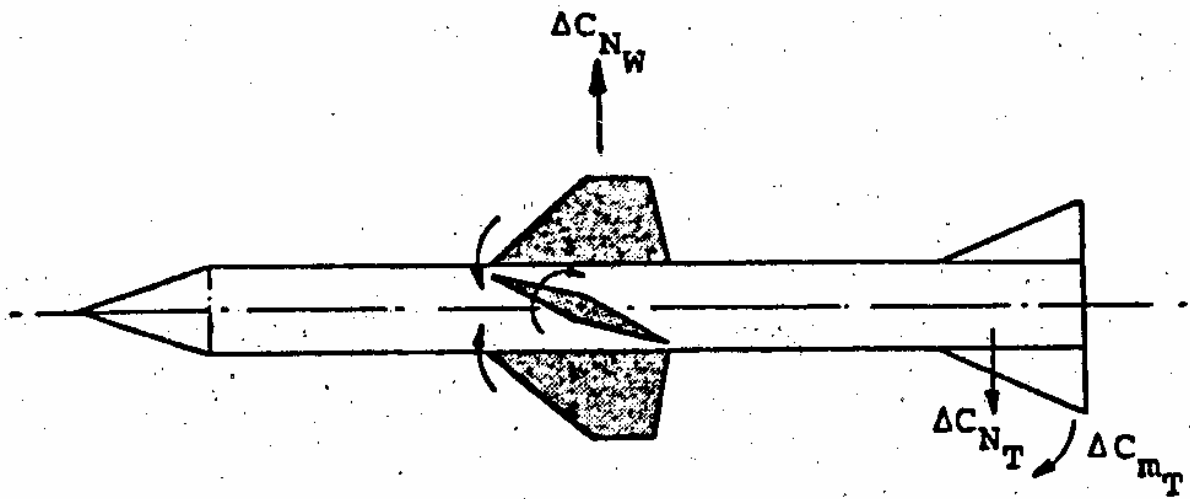
- VISOKA EFIKASNOST UPRAVLJANJA
- BRZI ODGOVOR RAKETE (POZITIVNA SILA  $\Delta C_N$ )
- POVOLJNI USLOVI ZA UGRADNJU AKTUATORA
- MALA VREDNOST ŠARNIRNOG MOMENTA

### NEDOSTACI:

- OTEŽANA STABILIZACIJA VALJANJA
- STVARANJE SILE IZVAN RAVNI UPRAVLJANJA
- VELIKA VREDNOST MOMENTA SAVIJANJA TELA RAKETE
- AERODINAMIČKI OTPOR
- NELINEARNA AERODINAMIKA

**SLIKA 2.16 AERODINAMIČKA KONFIGURACIJA TIPA "PATKA"**

## GLAVA II



### PREDNOSTI:

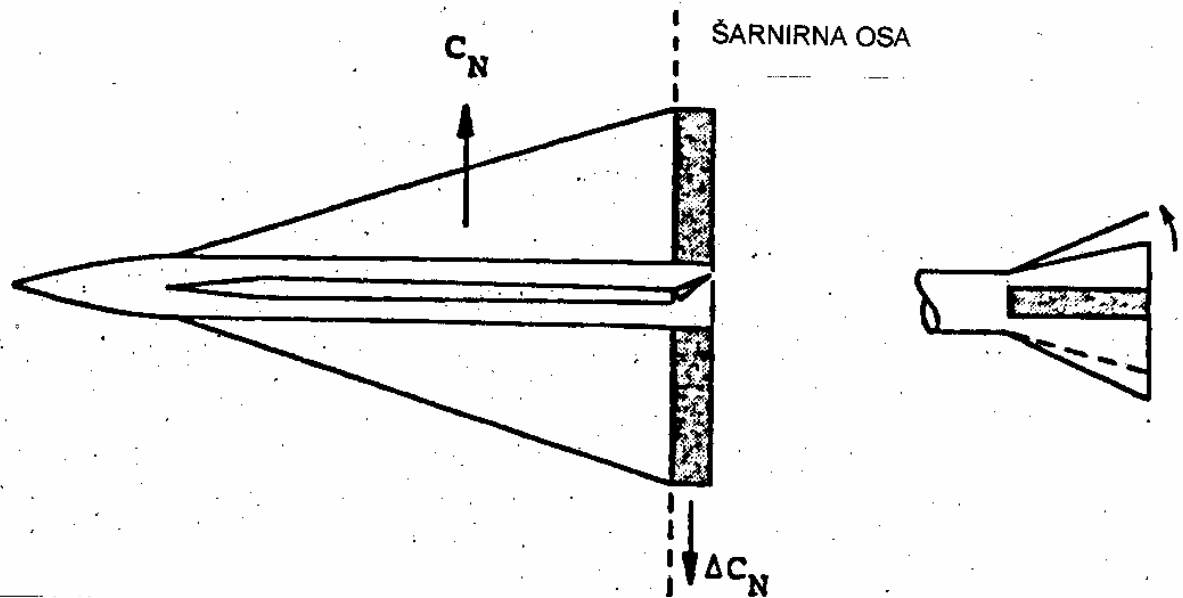
- BRZ ODGOVOR (SILA NA STABILIZATORU POTPOMAŽE ROTACIJU RAKETE)
- MALA VREDNOST NAPADNOG UGLA JE POGODNA ZA KONFIGURACIJE SA VAZDUŠNOREAKTIVNIM MOTOROM

### NEDOSTACI:

- MALA EFIKASNOST UPRAVLJANJA ( $\Delta C_{N_W} - \Delta C_{N_T}$ )
- VELIKI ŠARNIRNI MOMENT
- SUPROTAN MOMENT VALJANJA
- NELINEARNA AERODINAMIKA

**SLIKA 2.17 AERODINAMIČKA KONFIGURACIJA TIPA "OBRITNA KRILA"**

## GLAVA II



a) ZAKRILCA NA KRILIMA (FLAPSOVI)  
TELU

b) ZAKRILCA NA

### PREDNOSTI:

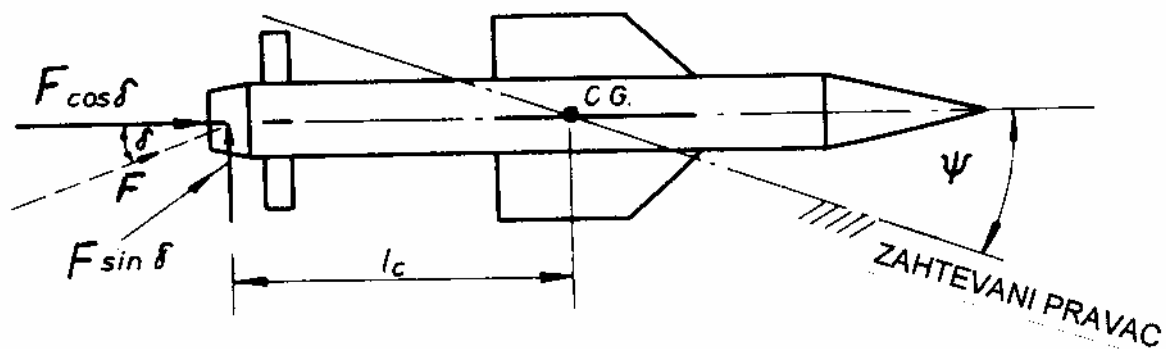
- ODSUSTVO DODATNIH POVRŠINA ZA UPRAVLJANJE
- DOBRA UPRAVLJIVOST PO PROPINJANJU I SKRETANJU.  
U SLUČAJU a) DOBRA UPRAVLJIVOST I PO VALJANJU

### NEDOSTACI:

- KRITIČAN SMEŠTAJ KRILA
- VELIKI ŠARNIRNI MOMENT
- ZAHTEVA SE DEBLJE KRILO ZA SMEŠTAJ AKTUATORA

**SLIKA 2.18 AERODINAMIČKA KONFIGURACIJA SA ZAKRILCIMA  
(FLAPSOVIMA)**

## GLAVA II



UPRAVLJANJE VEKTOROM POTISKA KORISTI SE:

- PRI VERTIKALNOM LANSIRANJU SVIH INTERKONTINENTALNIH RAKETA
- AKO RAKETA VRŠI MANEVAR ODMAH POSLE LANSIRANJA
- KOD RAKETA VAZDUH-VAZDUH MALOG DOMETA
- KOD JEDNOSTAVNIH I JEFTINIH LANSERA
- PRI LANSIRANJU SA VOZILA
- PRI LANSIRANJU SA PODMORNICA

**SLIKA 2.19 SILE PRI UPRAVLJANJU VEKTOROM POTISKA**