

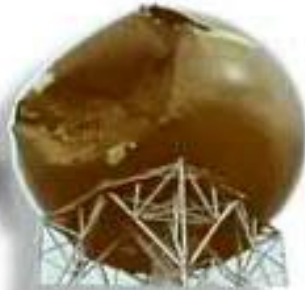
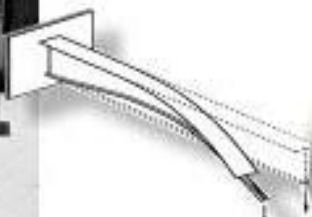
# STABILNOST KONSTRUKCIJA

Prof.dr.sc. IVICA GULJAŠ

# STABILNOST KONSTRUKCIJA



Lateral torsional buckling



Radar domes [NWS]  
Buckling of a spherical shell



Buckling of a container



Buckling of a wine steel container, California, 1979



Buckling of columns



Buckling of rails  
Due to a heatwave in country Victoria



Local Buckling of plates



Local Buckle



# STABILNOST KONSTRUKCIJA

- Osnove stabilnosti
- Stabilnost stupova
- Stabilnost greda
- Stabilnost okvira
- Stabilnost ploča
- Stabilnost lukova i ljuski

# STABILNOST KONSTRUKCIJA

## ■ Osnovna literatura

- Čaušević M.: Stabilnost konstrukcija, Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- Mihanović, A.: Stabilnost konstrukcija, Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, Zagreb, 1993.

## ■ Dodatna literatura

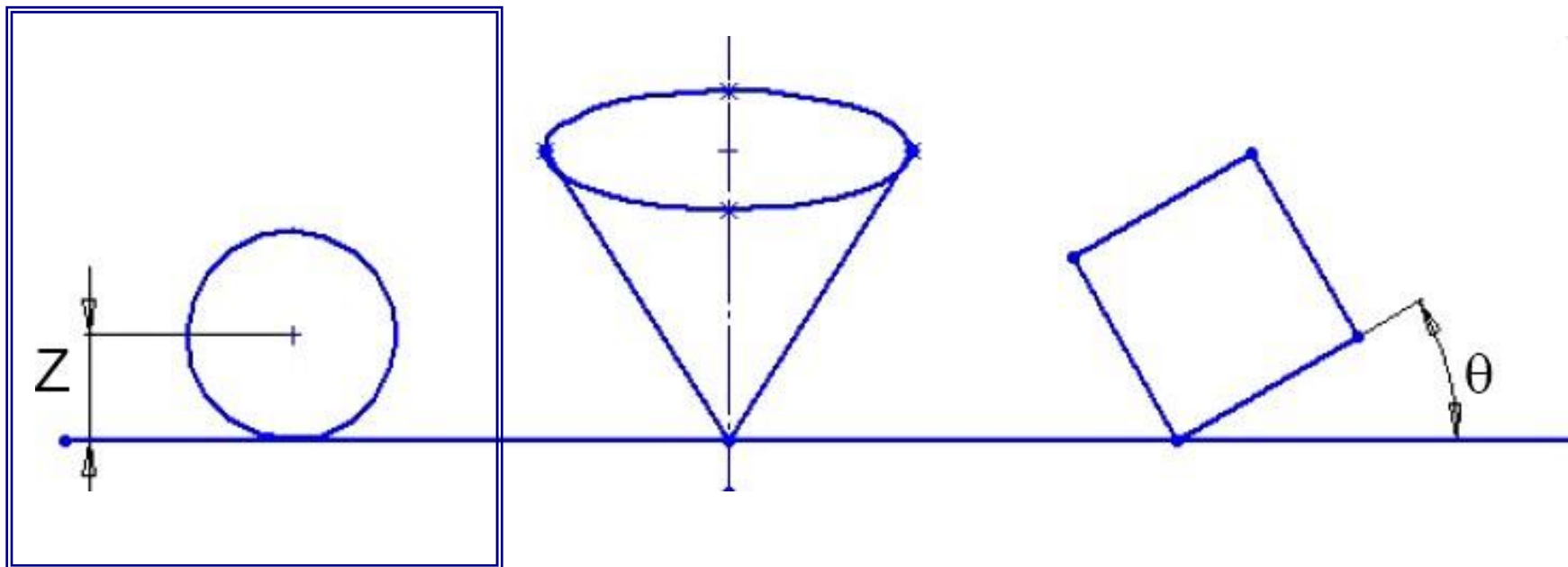
- Chen, W.F; Lui, E.M.: Structural Stability, Theory and Implementation, Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York, USA, 1987.
- Bažant, Z.P; Cedolin, L.: Stability of Structures, Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, USA, 2003.
- Galambos, T.V.: Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1988.

# *Osnove stabilnosti konstrukcija*

## *Definicija stabilnosti*

- Većina inženjera po intuiciji prihvaća koncept stabilnosti: ***“Sustav je stabilan ako mu se oblik ravnoteže, pri promjenama zbog vanjskog djelovanja, značajnije ne mijenja”***.
- Dakle, stabilnošću smatramo kada ***male promjene*** vanjskog djelovanja uzrokuju samo ***male promjene stanja*** promatranog konstrukcijskog sustava.

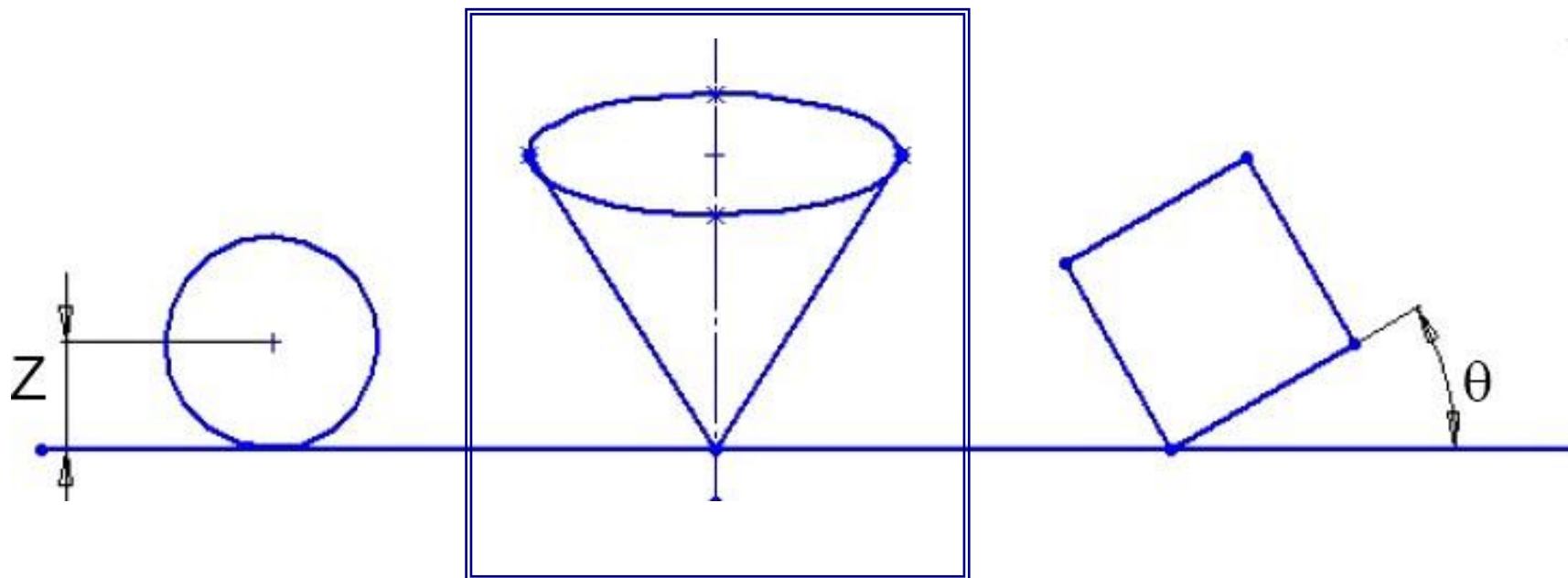
# Osnove stabilnosti konstrukcija



$z$  – mjera stanja konstrukcijskog sustava (udaljenost do težišta)

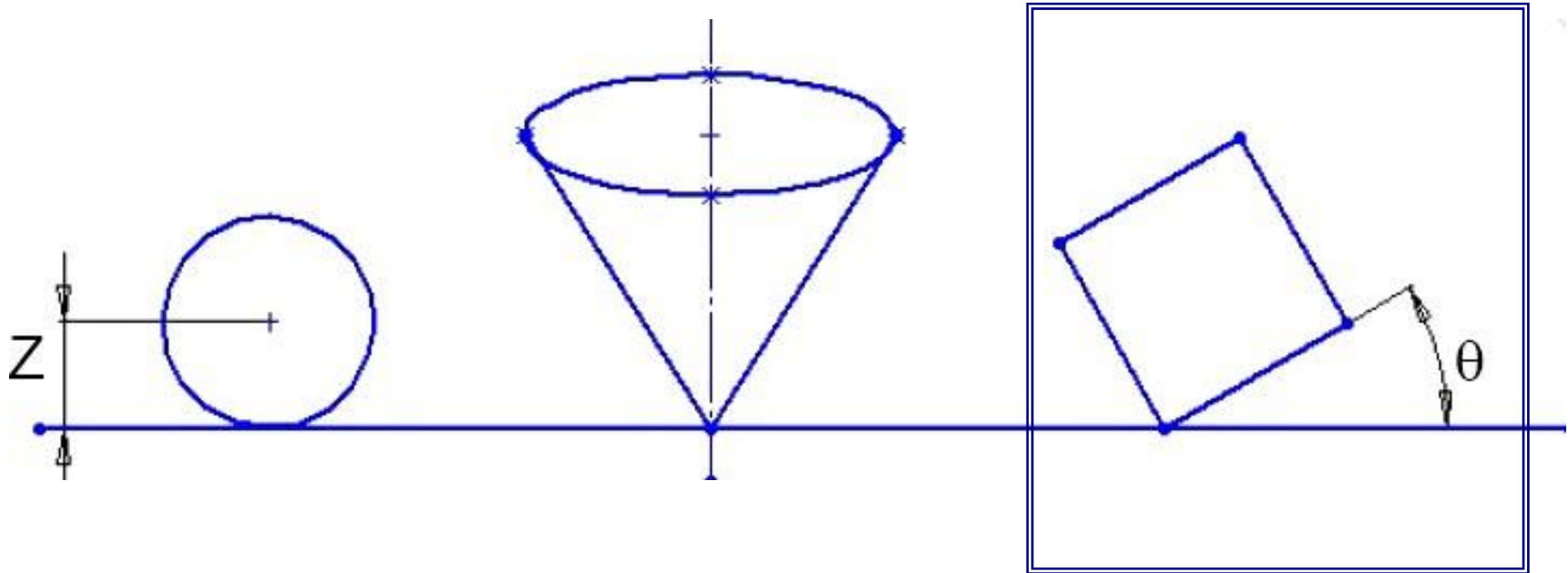
**Neutralna stabilnost** – koordinata  $z$  se ne mijenja bez obzira na horizontalne pomake iz početnog položaja.

# Osnove stabilnosti konstrukcija



***Nestabilno stanje ravnoteže*** – nestabilan konstrukcijski sustav.

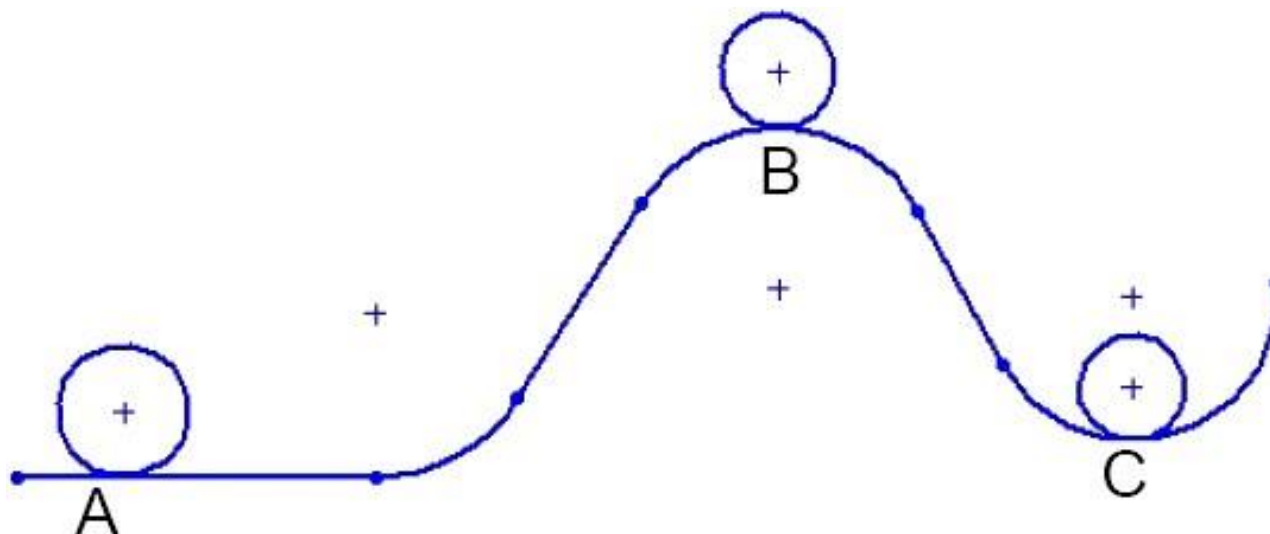
# Osnove stabilnosti konstrukcija



**Stabilan sustav** – male promjene kuta kojima se definira vanjski utjecaj uzrokuju samo male promjene koordinate **Z**.



# *Osnove stabilnosti konstrukcija*

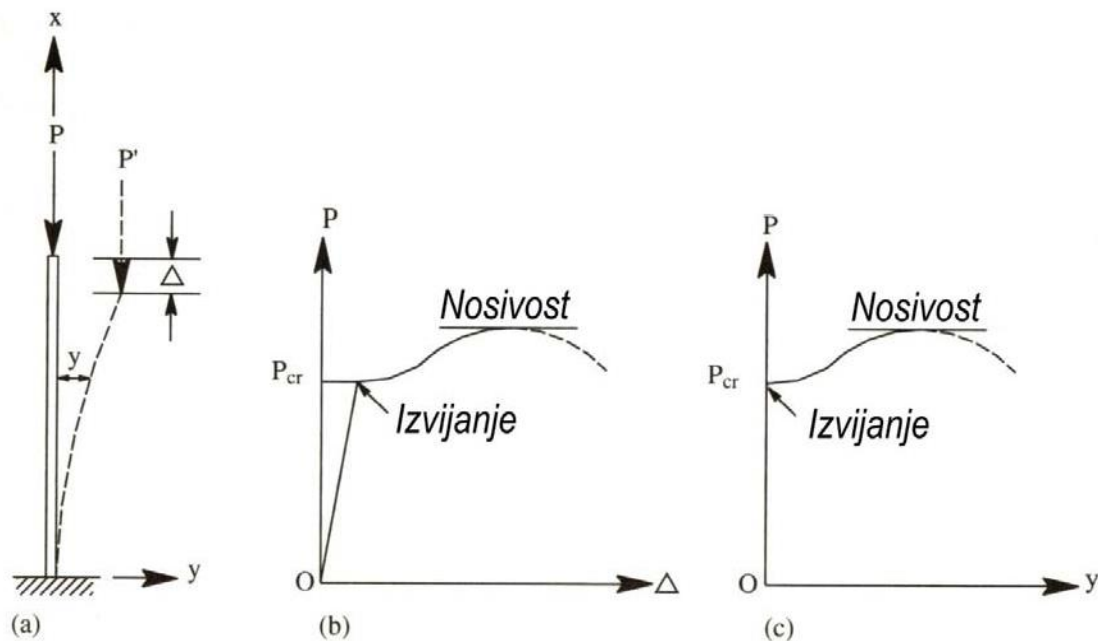


A – neutralno stanje stabilnosti

B – nestabilno

C – stabilno.

# Što je izvijanje?

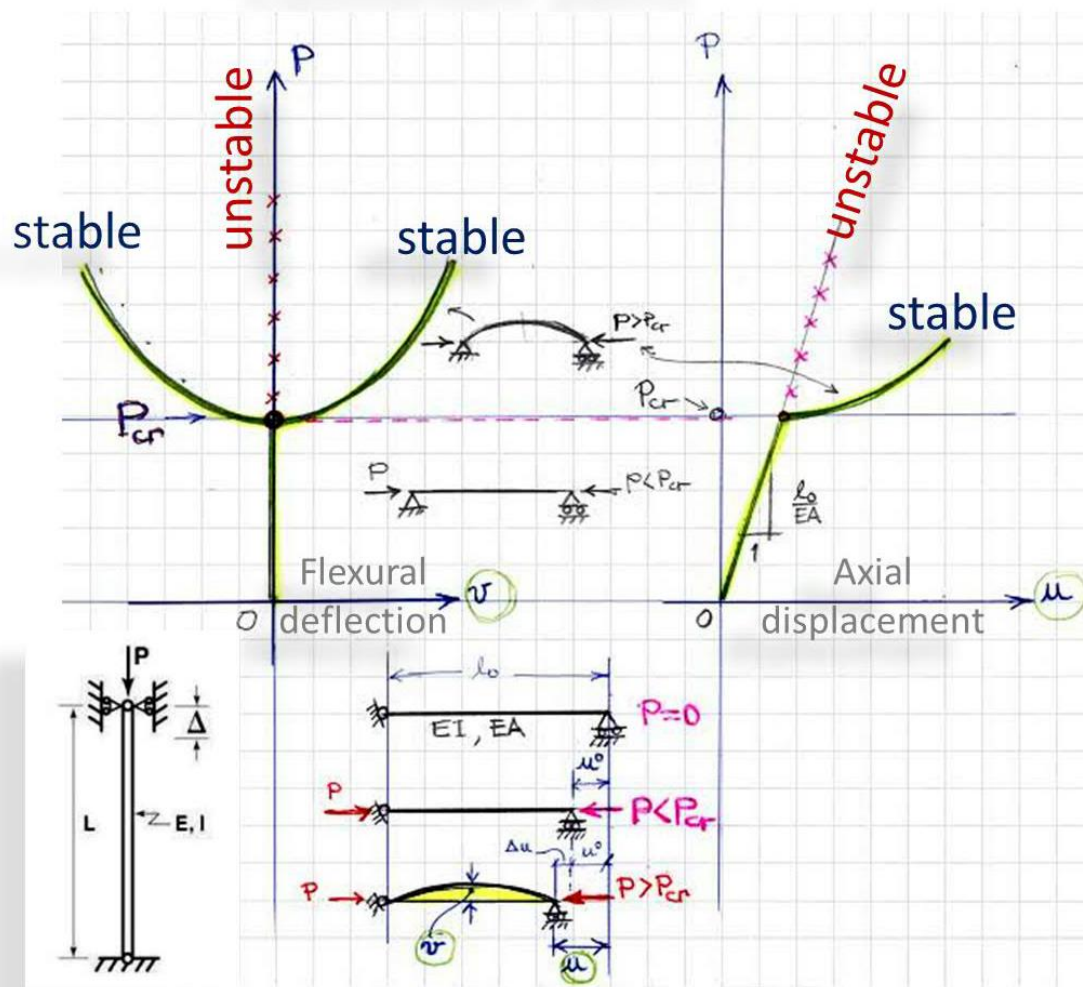


## Analiza tlačno opterećene vitke konstrukcije:

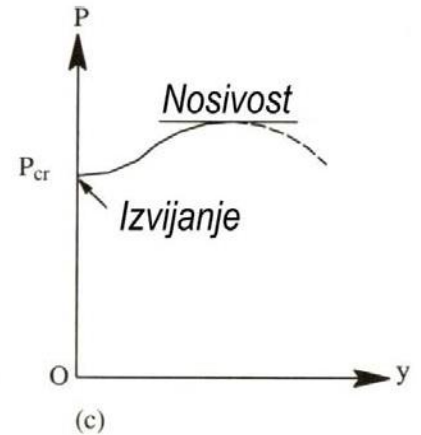
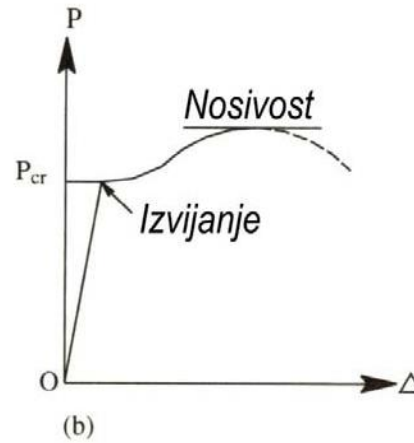
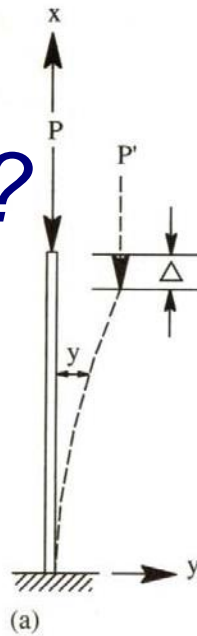
- U slučaju manjih sila, konstrukcija se deformira bez primjetnih promjena geometrije i nosivosti;
- Kada se dosegne određena kritična vrijednost opterećenja, može se pojaviti iznenadna velika deformacija te gubitak nosivosti → **izvijanje**.
- Pri toj vrijednosti, opterećenje postaje **kritično opterećenje** ili **opterećenje izvijanja**.
- **Do izvijanja dolazi kada dva ili više uzastopnih položaja ravnoteže pripadaju bitno različitim oblicima deformacije.**

# Grananje ravnoteže?

Equilibrium paths



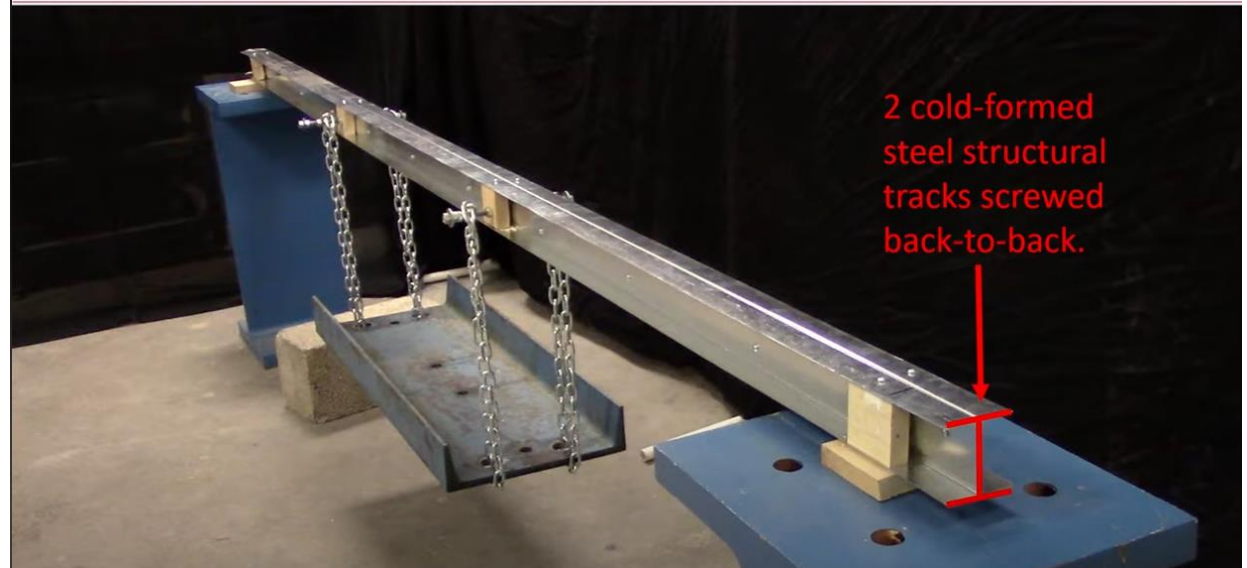
# Što je izvijanje?



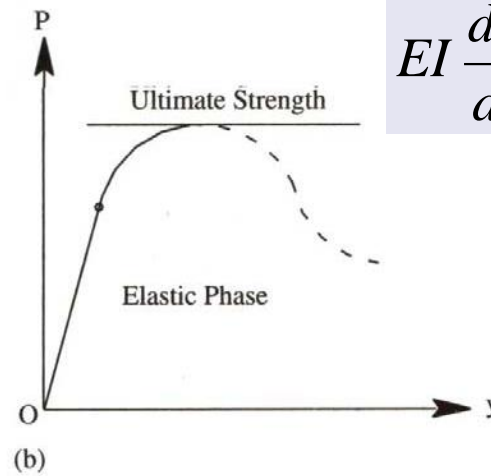
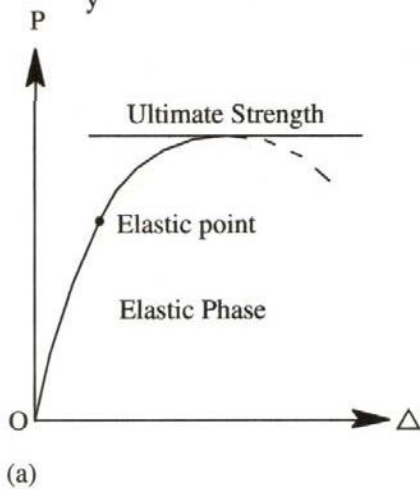
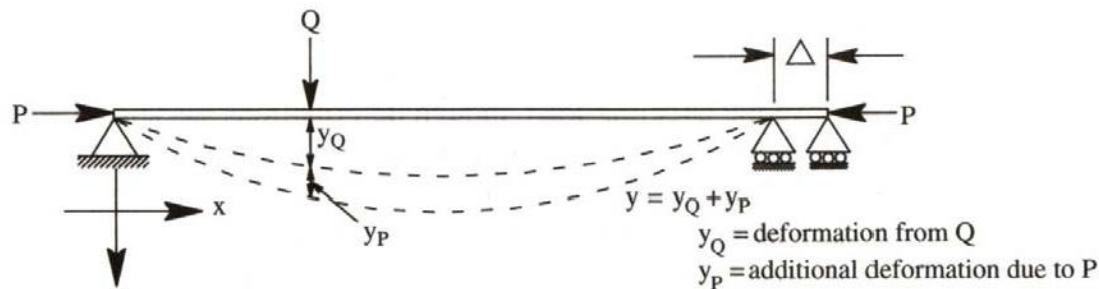
Structural DEMOLition Lab

Lateral-Torsional Buckling

VirginiaTech.  
College of Engineering



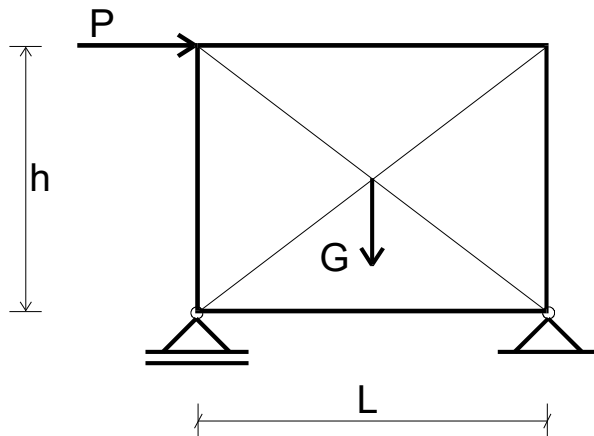
# Izvijanje štapova istovremeno izloženih djelovanju poprečnih i uzdužnih sila



$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_x = -(M_0 + Py)$$

# Vrste (načini) izvijanja

- Gubitak stabilnosti uslijed grananja (bifurkacije) ravnoteže;
- Gubitak stabilnosti dostizanjem graničnog ili maksimalnog opterećenja → gubitak stabilnosti položaja



- stabilna ravnoteža ploče

$$P h < G L / 2$$

- kritično stanje

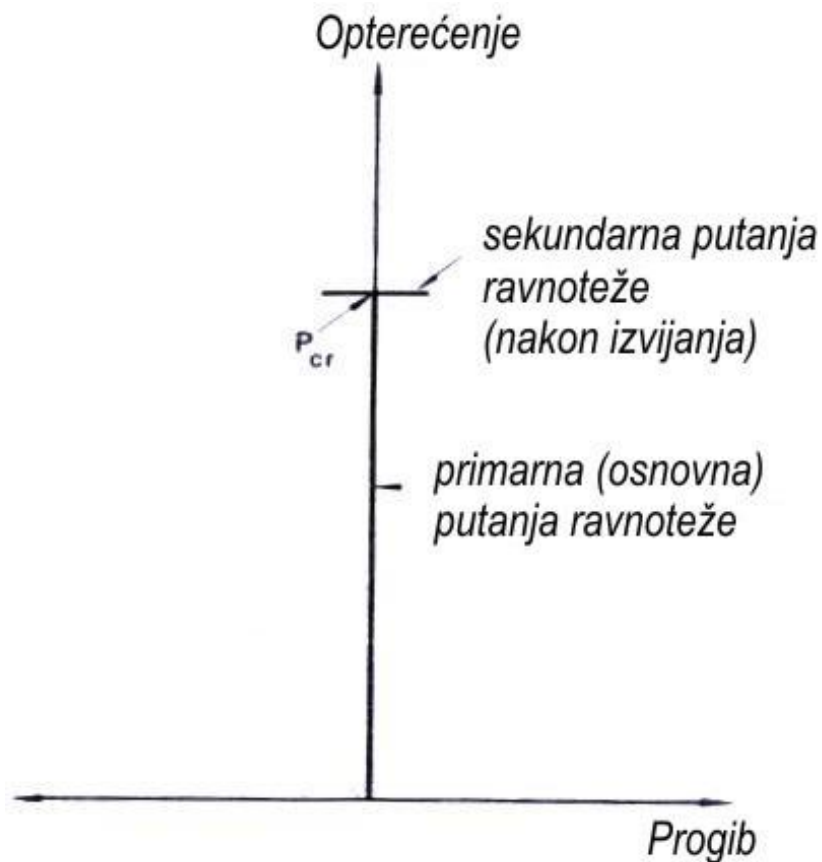
$$P = G L / 2 h$$

$$P = P_{CR}$$

# *Gubitak stabilnosti grananjem ravnoteže*

- Stalnim prirastom tlačne sile, konstrukcija koja se prvotno deformirala isključivo u smjeru djelovanja sile, može se naglo prognuti u sasvim drugom smjeru.
- Točku prelaska iz jednog u drugi oblik deformiranja nazivamo ***točkom grananja ili bifurkacije ravnoteže***.
- Opterećenje u točki grananja zovemo ***kritičnim opterećenjem ili kritičnom silom***.

# Gubitak stabilnosti grananjem ravnoteže

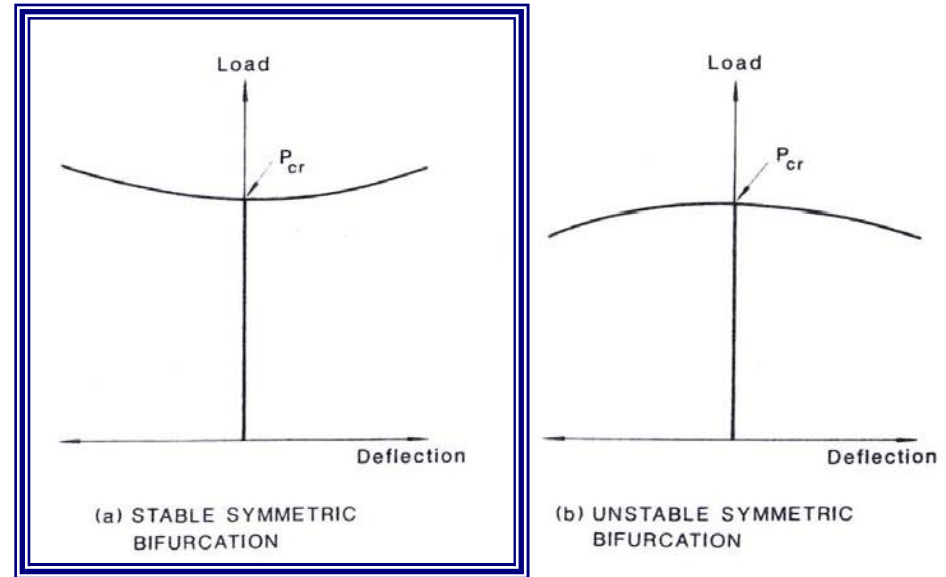




# Gubitak stabilnosti *simetričnim* grananjem ravnoteže

## Stabilno simetrično grananje ravnoteže :

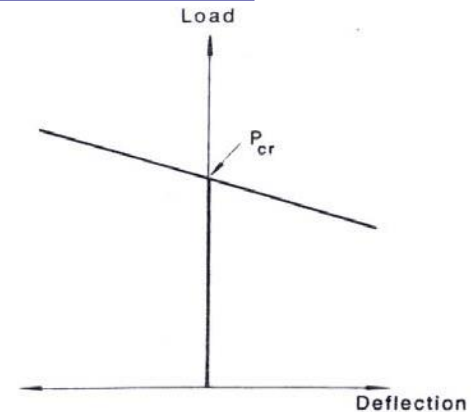
Opterećenje održavanja ravnoteže nakon izvijanja **raste** s porastom deformacija.



(a) COLUMN BUCKLING



(b) PLATE BUCKLING

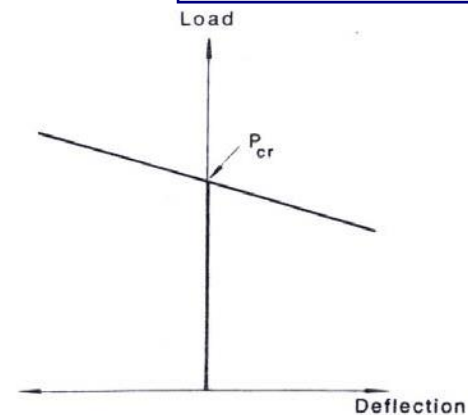
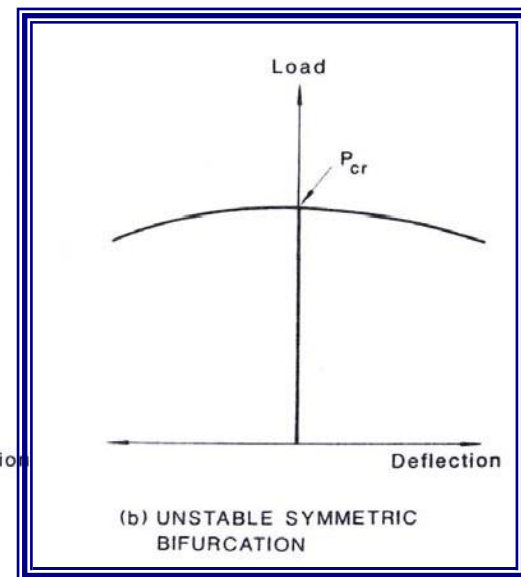
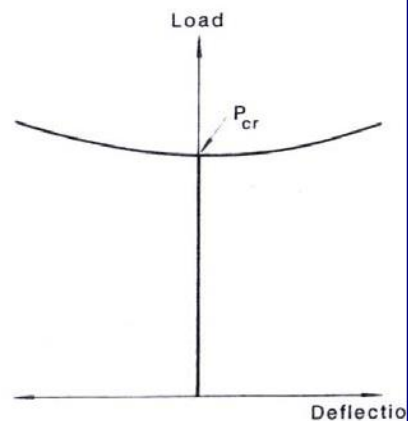
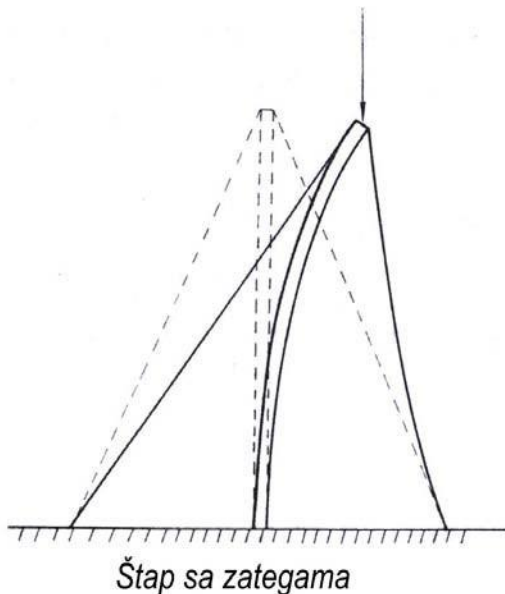


(c) ASYMMETRIC BIFURCATION

# Gubitak stabilnosti *simetričnim* grananjem ravnoteže

## Nestabilno simetrično grananje ravnoteže :

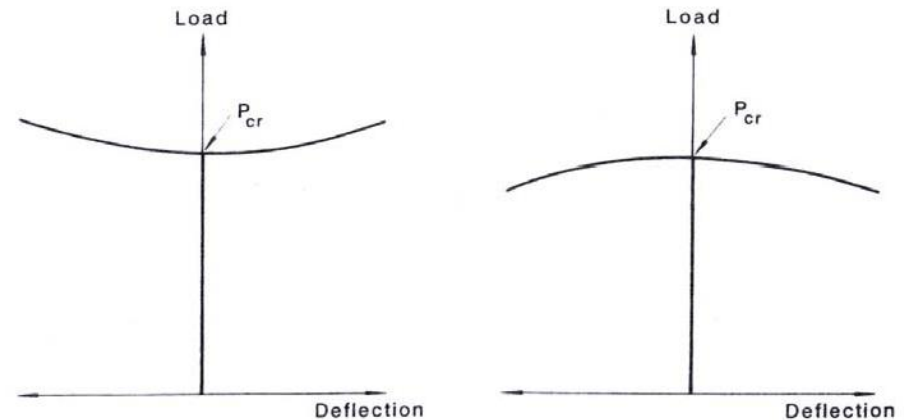
Opterećenje održavanja ravnoteže nakon izvijanja **opada** s porastom deformacija.



# Gubitak stabilnosti **nesimetričnim** grananjem ravnoteže

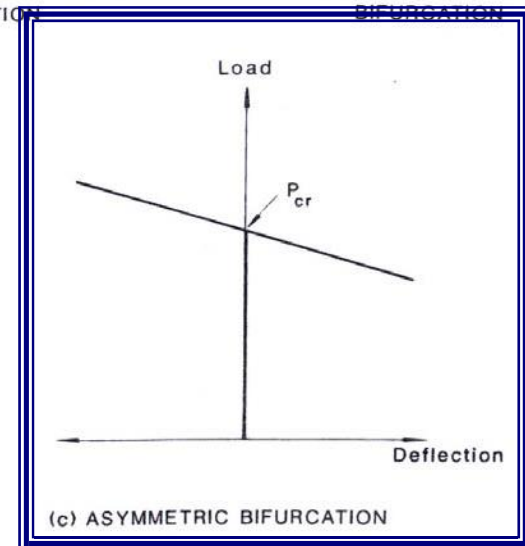
## Nesimetrično grananje ravnoteže :

Opterećenje održavanja ravnoteže nakon izvijanja može **rasti ili opadati** s porastom deformacija, **ovisno o smjeru** deformacija nakon izvijanja.



(a) STABLE SYMMETRIC BIFURCATION

(b) UNSTABLE SYMMETRIC BIFURCATION



(c) ASYMMETRIC BIFURCATION

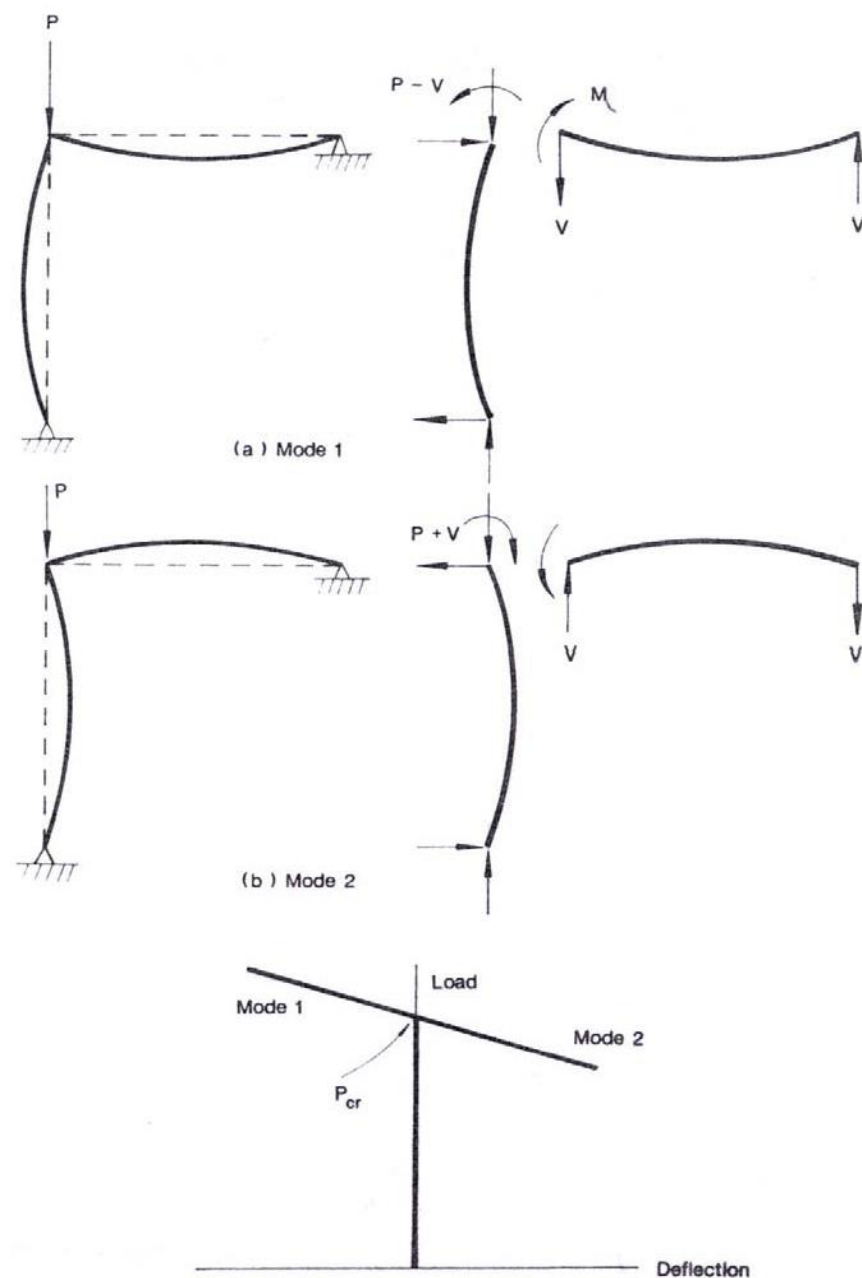
# Gubitak stabilnosti nesimetričnim grananjem ravnoteže

## Oblik deformacije 1: $P-V$

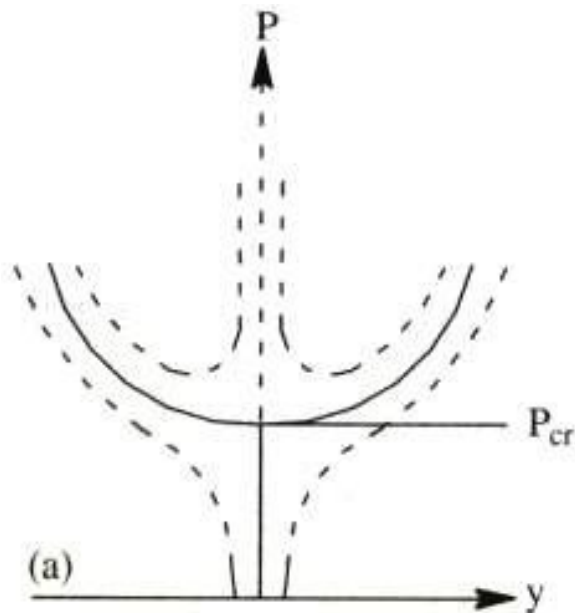
Opterećenje održavanja ravnoteže nakon izvijanja **raste** s porastom deformacija.

## Oblik deformacije 2: $P+V$

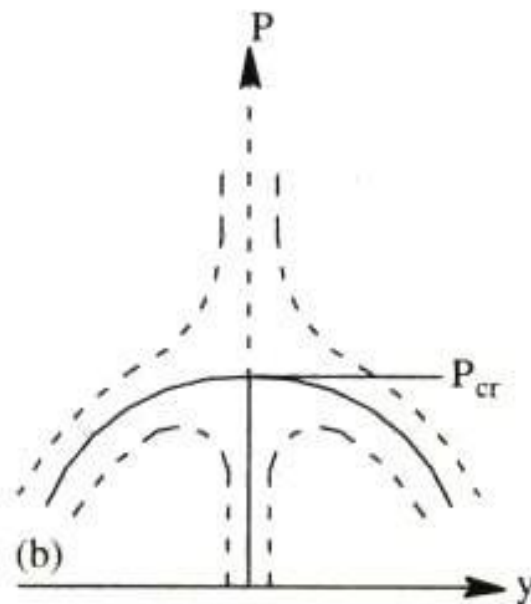
Opterećenje održavanja ravnoteže nakon izvijanja **opada** s porastom deformacija.



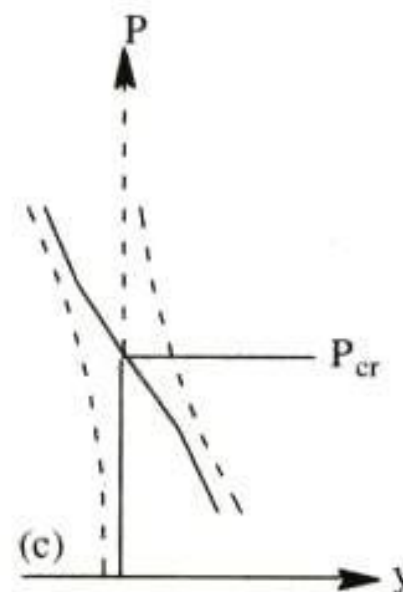
# Gubitak stabilnosti grananjem ravnoteže



Stabilno simetrično grananje ravnoteže



nestabilno simetrično grananje ravnoteže

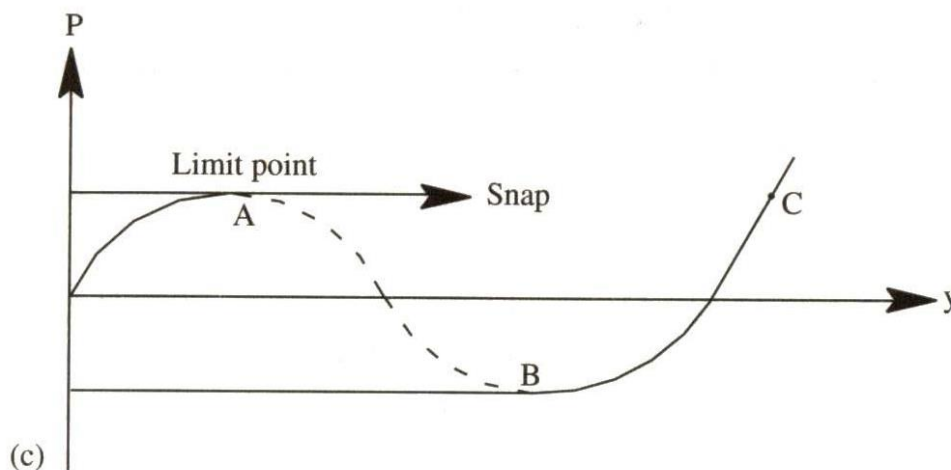
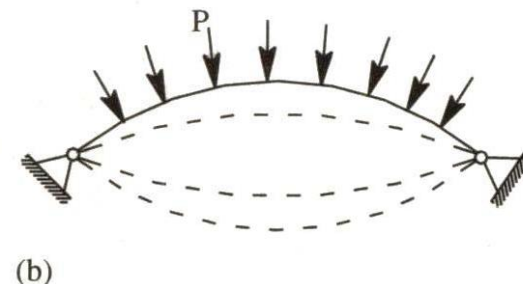
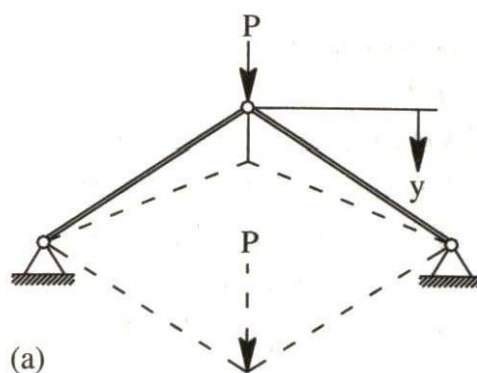


nestabilno nesimetrično grananje ravnoteže

\_\_\_\_\_ idealizirani konstrukcijski sustavi;    \_\_\_ \_\_\_ realni konstrukcijski sustavi s nesavršenostima

# Gubitak stabilnosti dostizanjem granične nosivosti

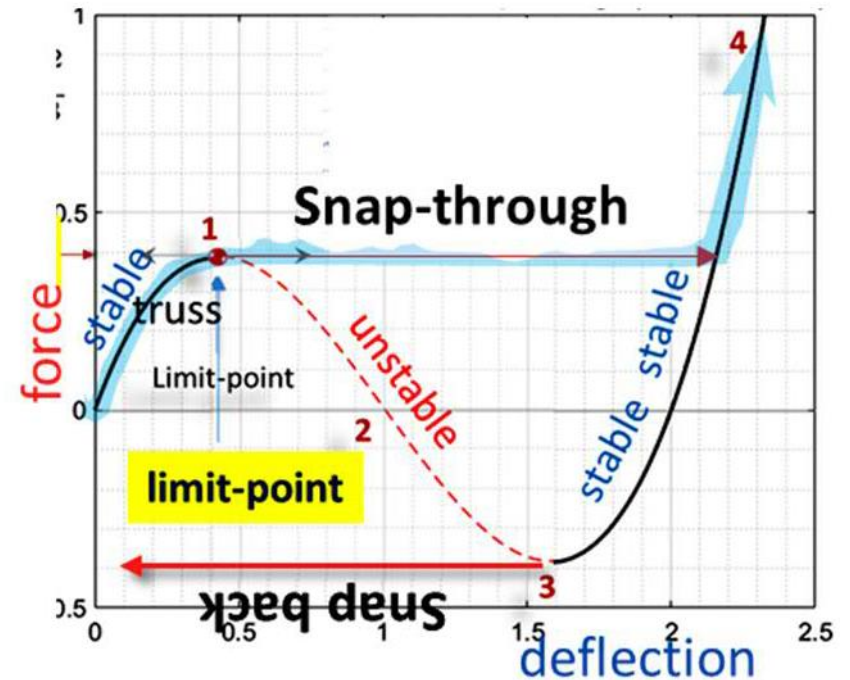
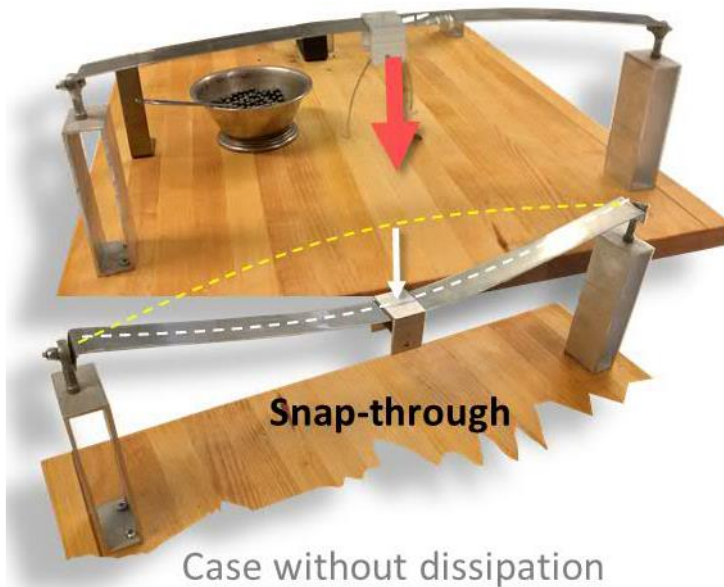
Postoji samo **jedan oblik deformacije** od početnog do graničnog opterećenja.



# Gubitak stabilnosti dostizanjem granične nosivosti

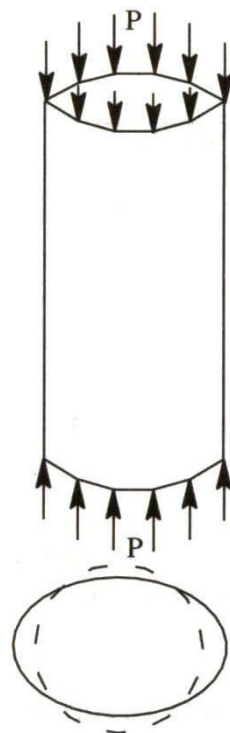
Shallow arch

Model in our coffe-room

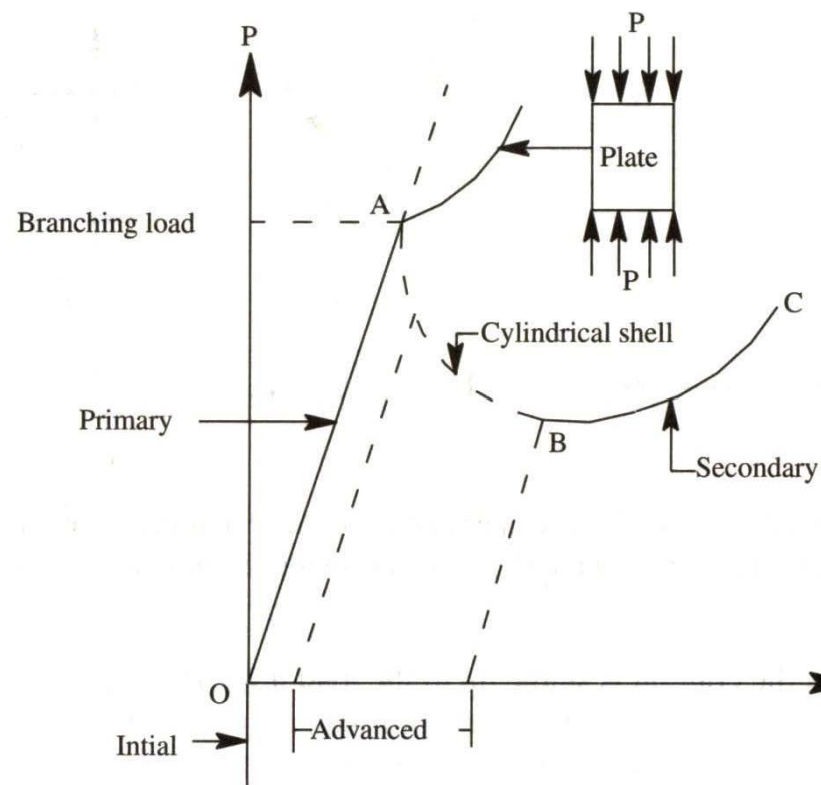


# Gubitak stabilnosti dostizanjem granične nosivosti

Postoji samo **jedan oblik deformacije** od početnog do graničnog opterećenja.



(a)



(b)



# *Metode analize stabilnosti*

- Analiza grananja ravnoteže
- Energetski pristup
- Dinamički pristup