

PROBLEM NO. 3

# TWISTED ROPE

---

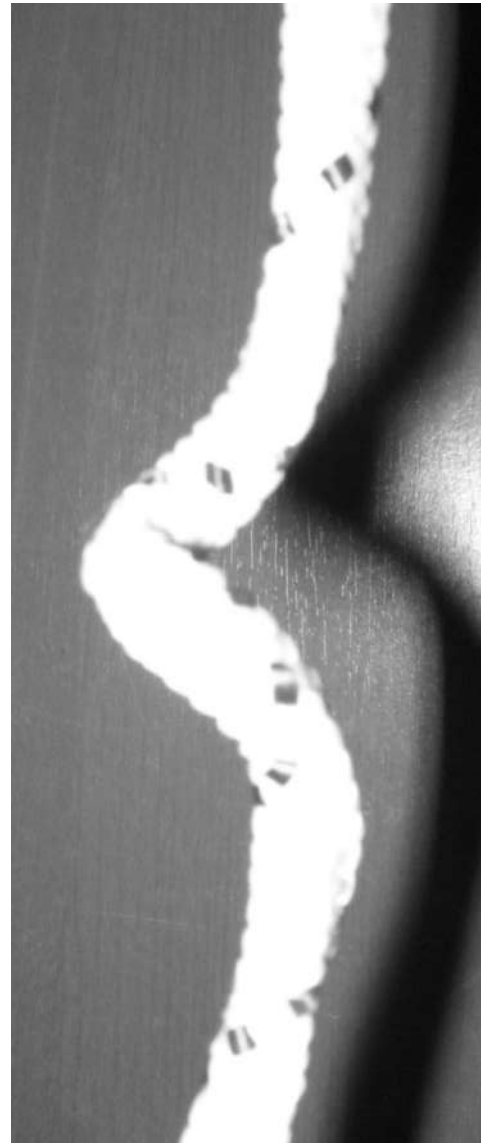
Vasilije Perović  
Gimnazija Beli Manastir

# Problem No. 3

- Hold a **rope** and **twist** one end of it. At some point the rope will form a **helix or a loop**.  
Investigate and explain the phenomenon.
- Držite **uže** i **zakrećite** jedan kraj. U jednom trenutku, nastat će **zavojnica ili petlja**.  
Istražite i objasnite pojavu.

# Sadržaj

- Teorija
  - Elastičnost, torzija
  - „Idealno” uže
  - Stvaranje petlje
- Materijali i metode
- Rezultati
- Zaključak
- Literatura



# Elastičnost, torzija

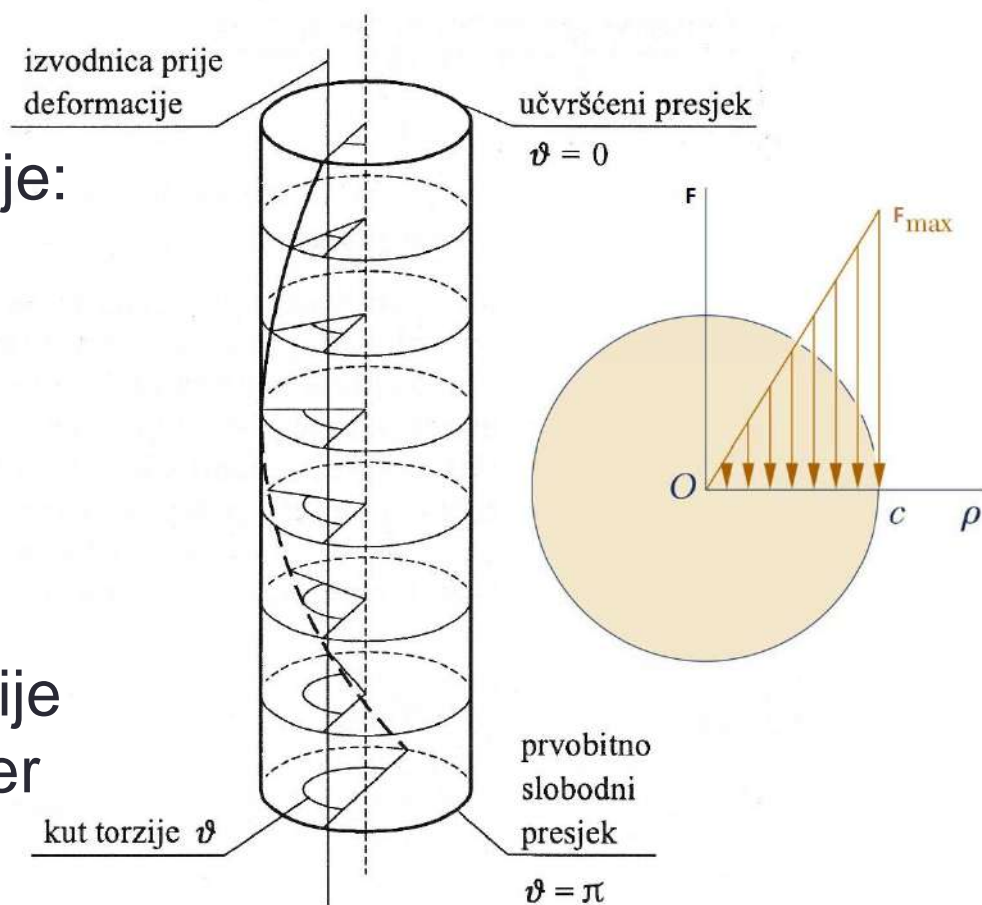
- Hookeov zakon
- Moment para vanjskih sila je:

$$\vec{T}_v = \vec{D}\vartheta$$

- Konstanta D je:

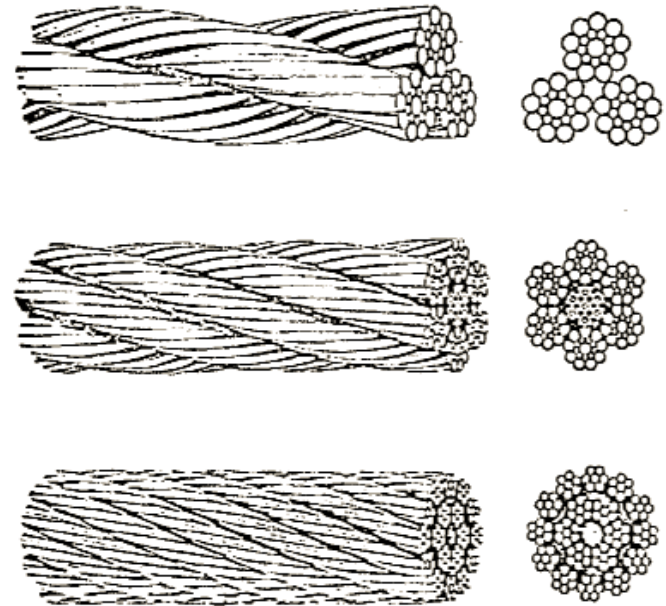
$$|\vec{D}| = \gamma \frac{d^4}{l}$$

Pri čemu je  $\gamma$  konstanta torzije materijala,  $l$  duljina,  $d$  promjer



# „Idealno” uže

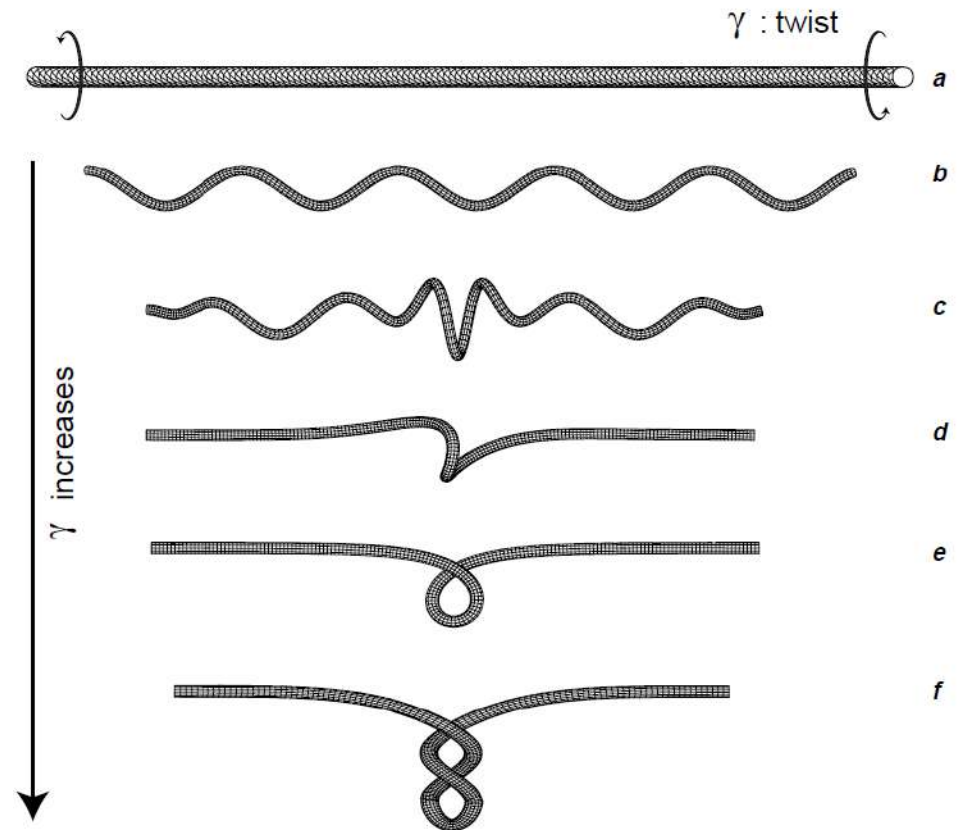
- Linearna karakteristika
- Potpuno elastično → nema trajnih deformacija
- Homogena struktura



*Slika* :Osnovni tipovi užadi  
[2] P.T.Gibson: Operational characteristics of ropes and cables

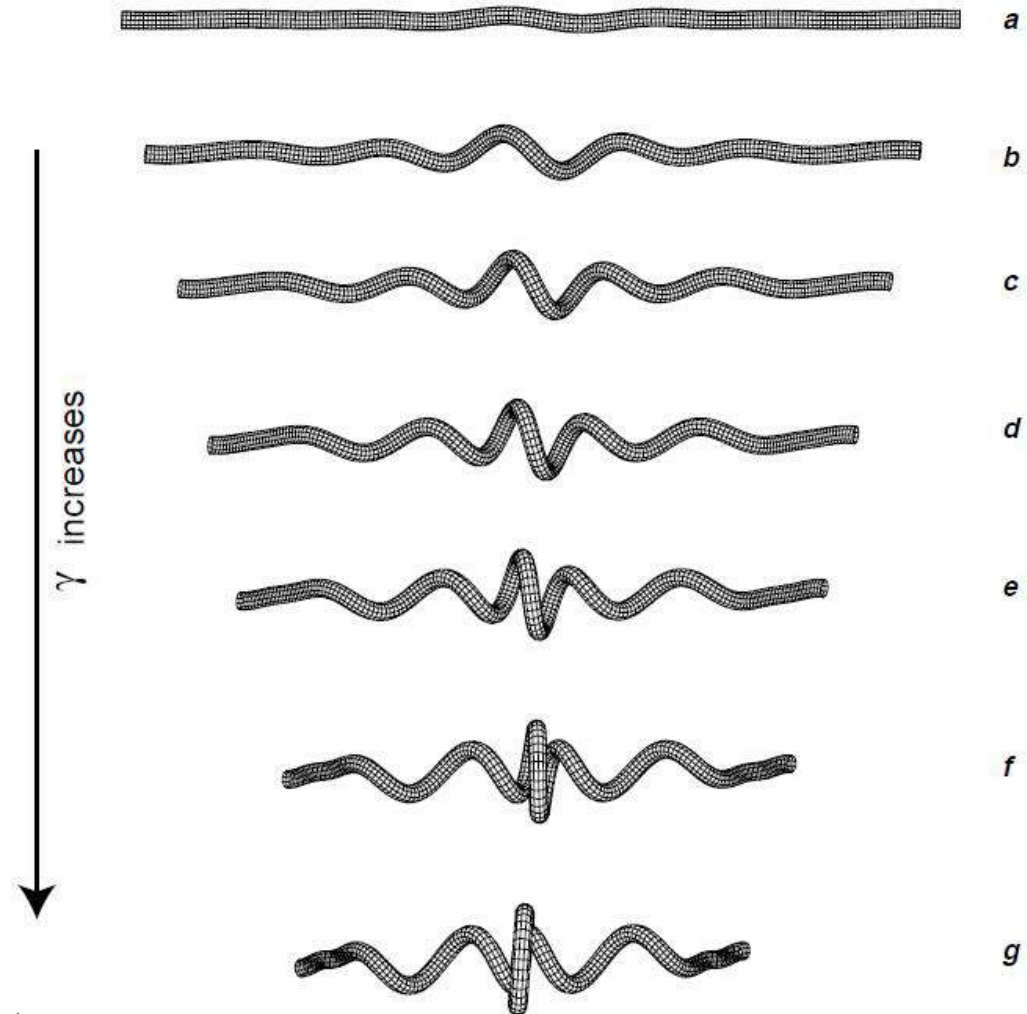
# Stvaranje petlje - bifurkacije

1. Ravno uže (a)
2. Primarne bifurkacije
  - Ravno uže  $\rightarrow$  zavojnica (b)
3. Sekundarne bifurkacije
  - Zavojnica postaje nestabilna (c)
4. Tercijarne bifurkacije
  - Zavojnica  $\rightarrow$  petlja (d)



[3] A.Goriely, M.Tabor: Nonlinear Dynamics of Filaments IV: Spontaneous Looping of Twisted Elastic Rods

- Primarne, sekundarne i tercijarne bifurkacije postoje istovremeno
- Petlja se stvara na sredini užeta (Goriely & Tabor, 1997b), iako zbog nesavršenosti može nastati i drugdje



# Model

- Može se pokazati ([4] A.E.H. Love, 1906.) da je sustav pod silom napetosti  $F$  i silom  $K$  uzrokovanom torzijom, stabilan ako je:

$$\frac{F}{EI} > \frac{K^2}{(EI)^2} - \frac{\pi}{L^2}$$

pri čemu je  $E$  Youngov modul elastičnosti,  $I$  površina poprečnog presjeka, a  $L$  duljina užeta



# Model

- Za velike duljine  $L$  možemo pisati uvjet kritičnog sustava:

$$F_c = \frac{K^2}{4EI}$$

Pri čemu su:

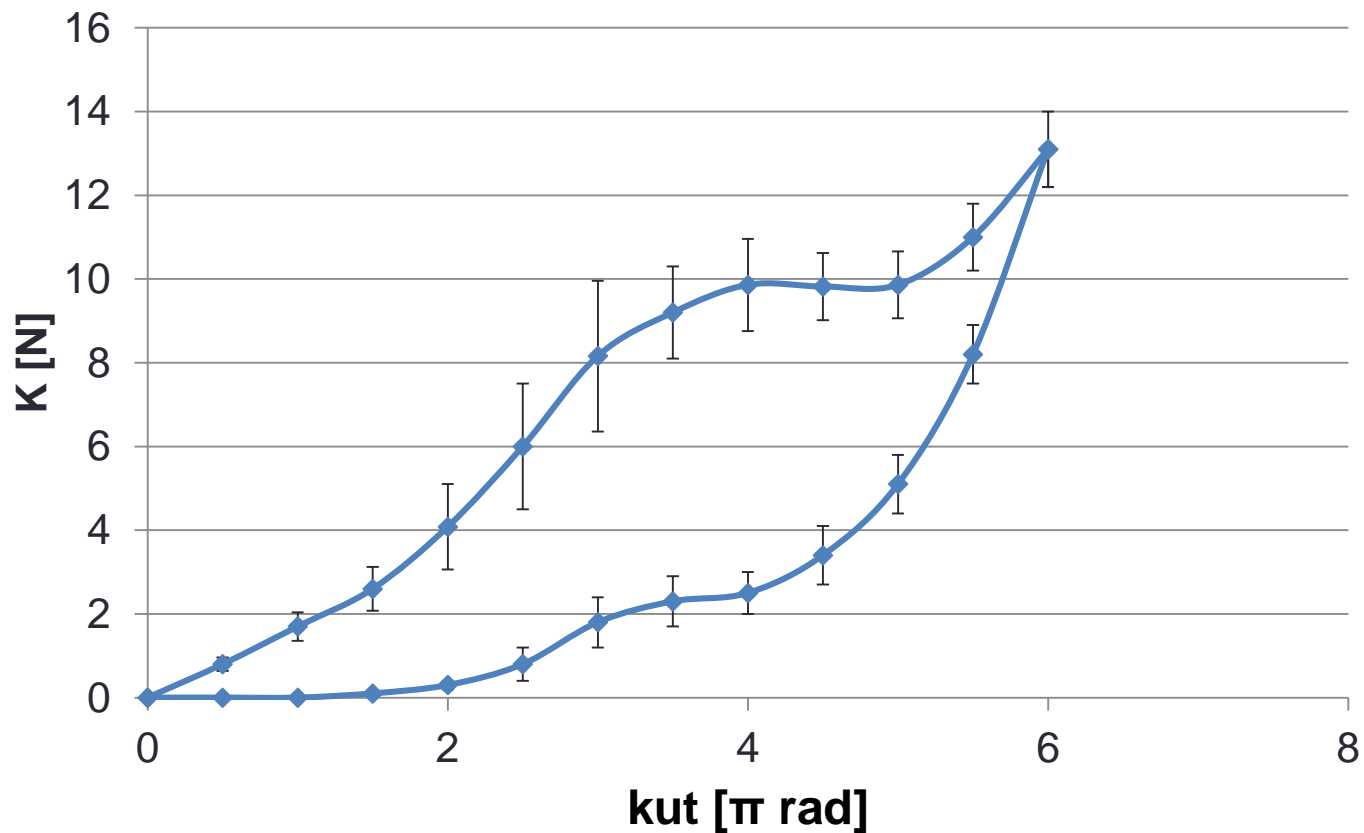
- $F_c$  sila napetosti
- $K$  sila uzrokovana torzijom
- $E$  Youngov modul elastičnosti
- $I$  površina poprečnog presjeka

# Materijali i metode

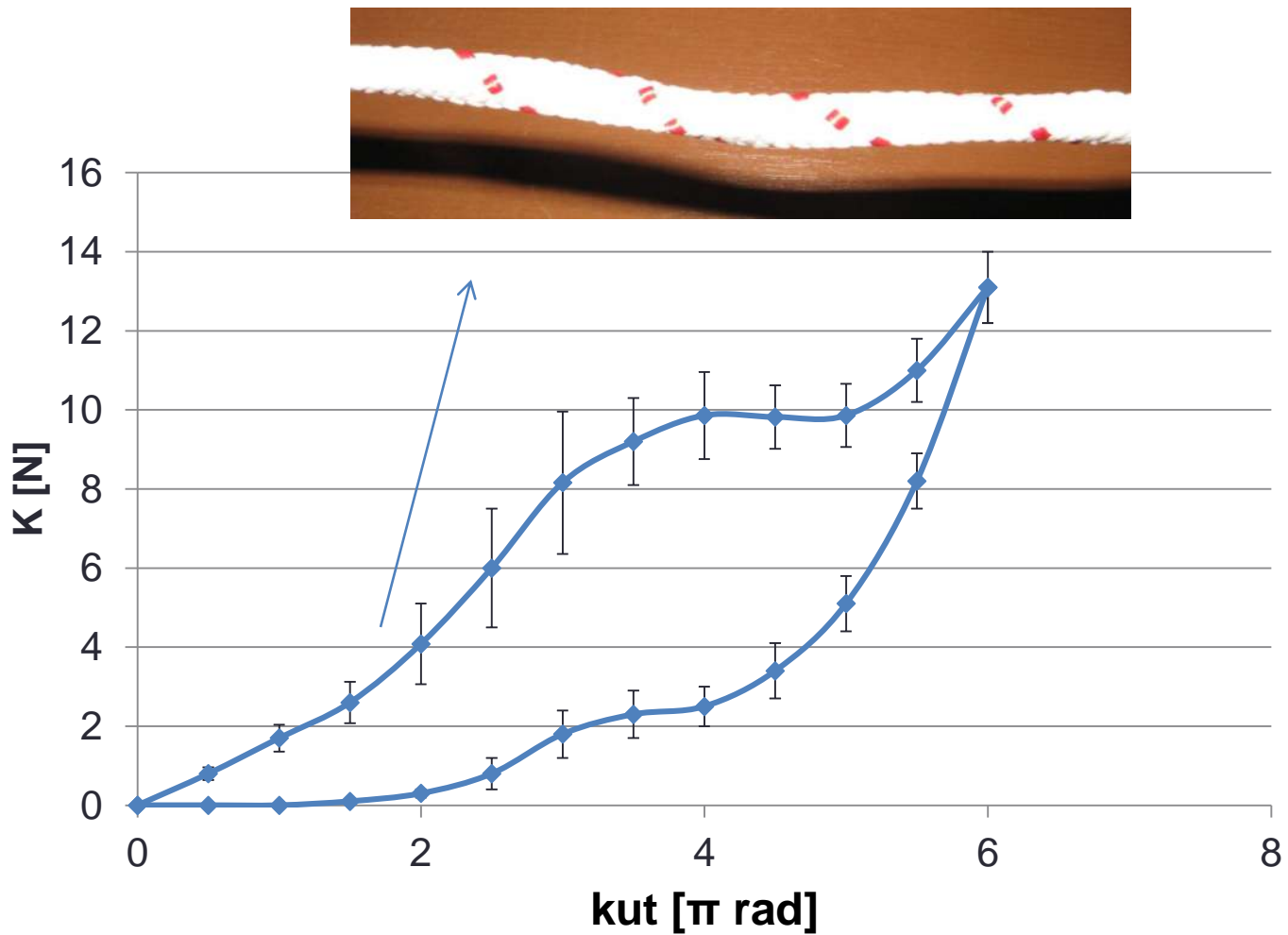
- Uže
- Dinamometri (2N, 5N, 10N)
- Kuglični ležaj



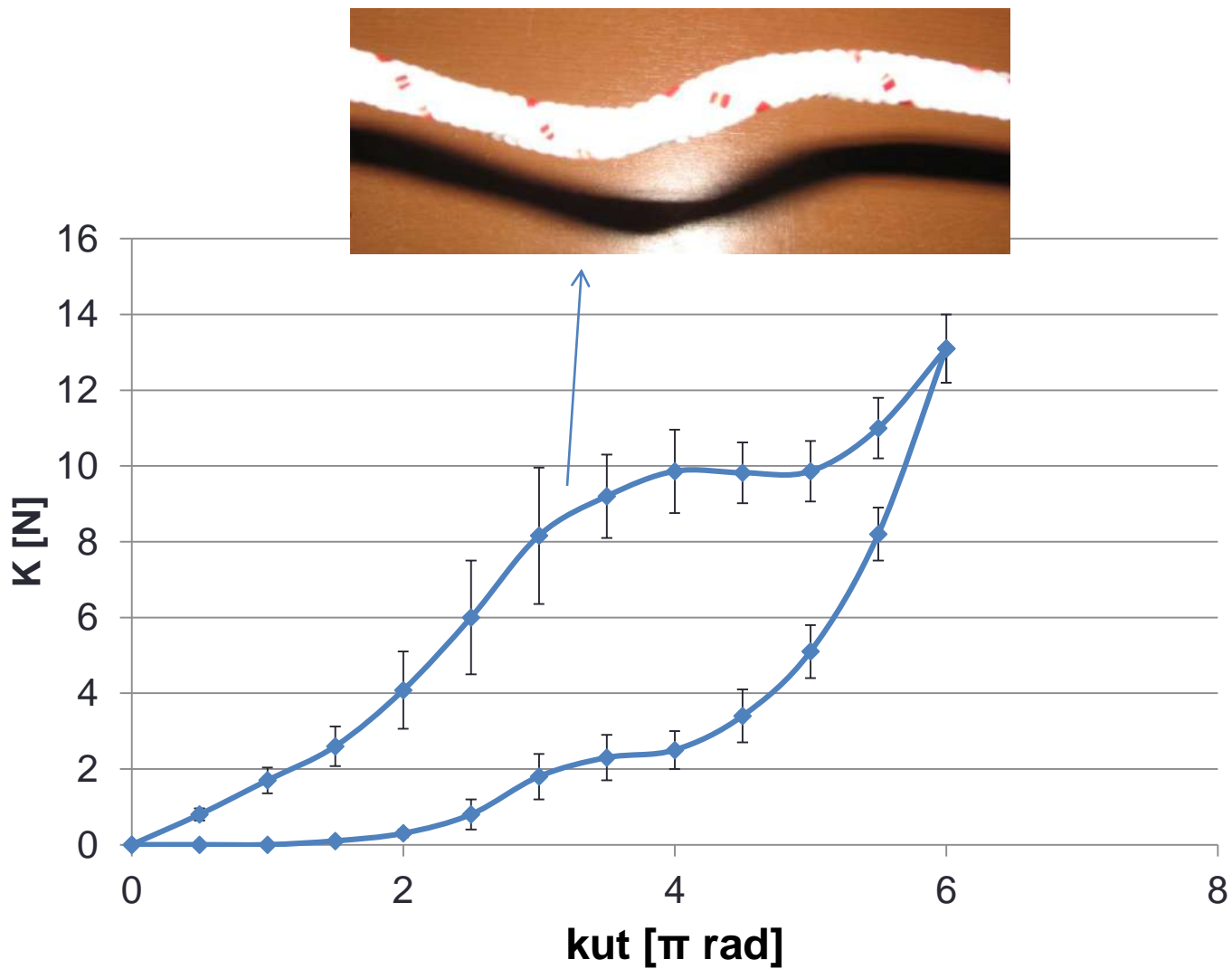
# Rezultati



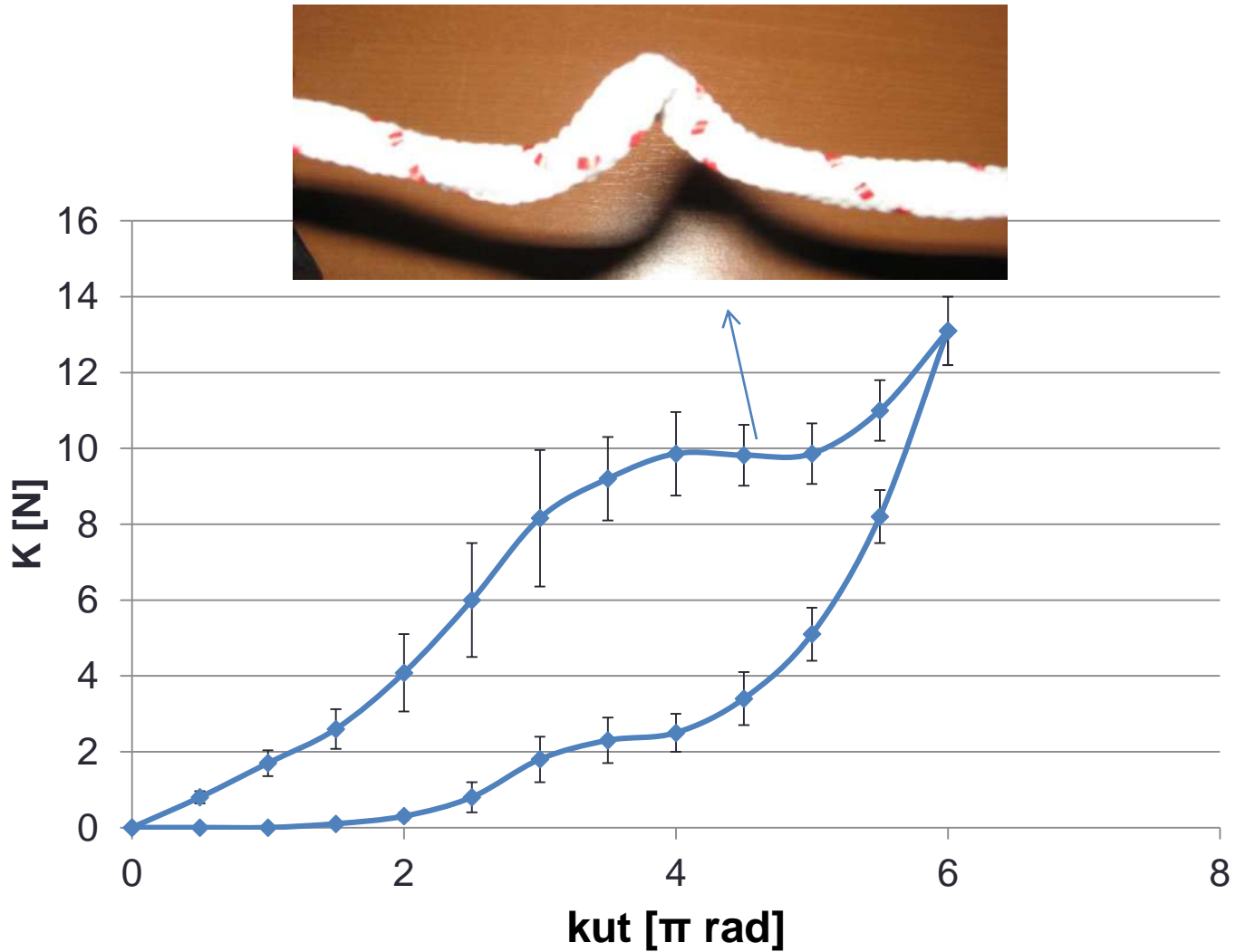
- Graf 1: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja



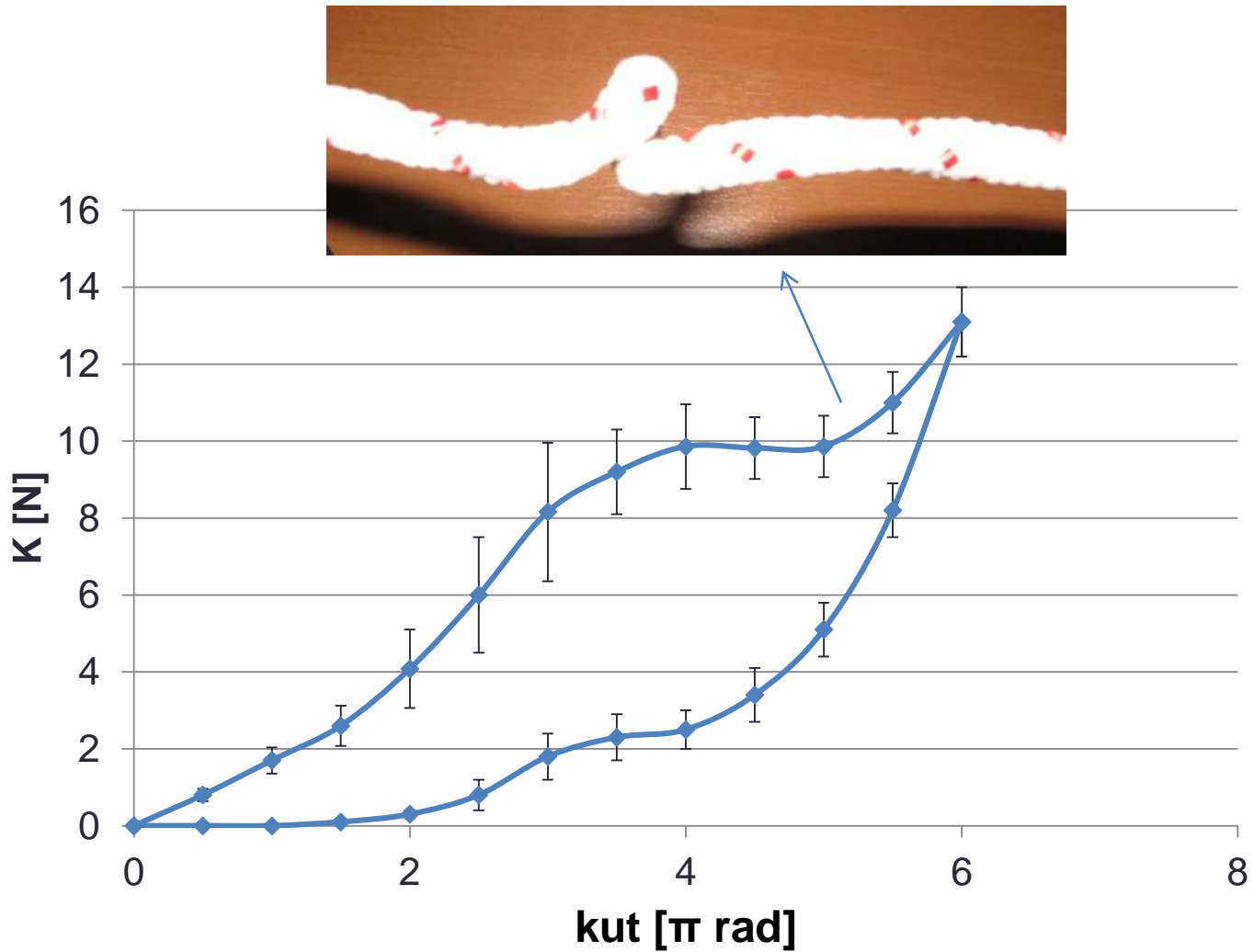
- Graf 1: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja



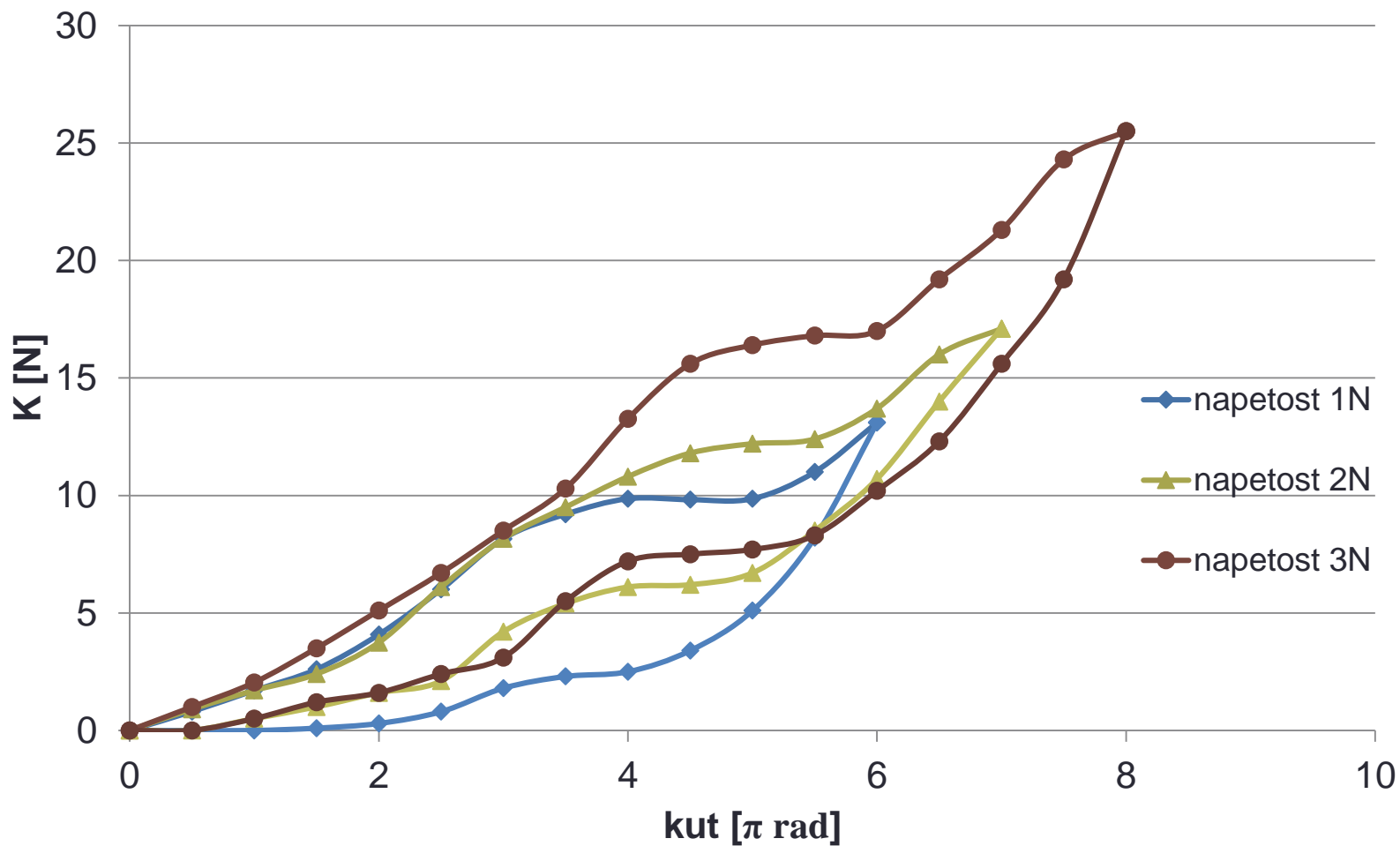
- Graf 1: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja



- Graf 1: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja

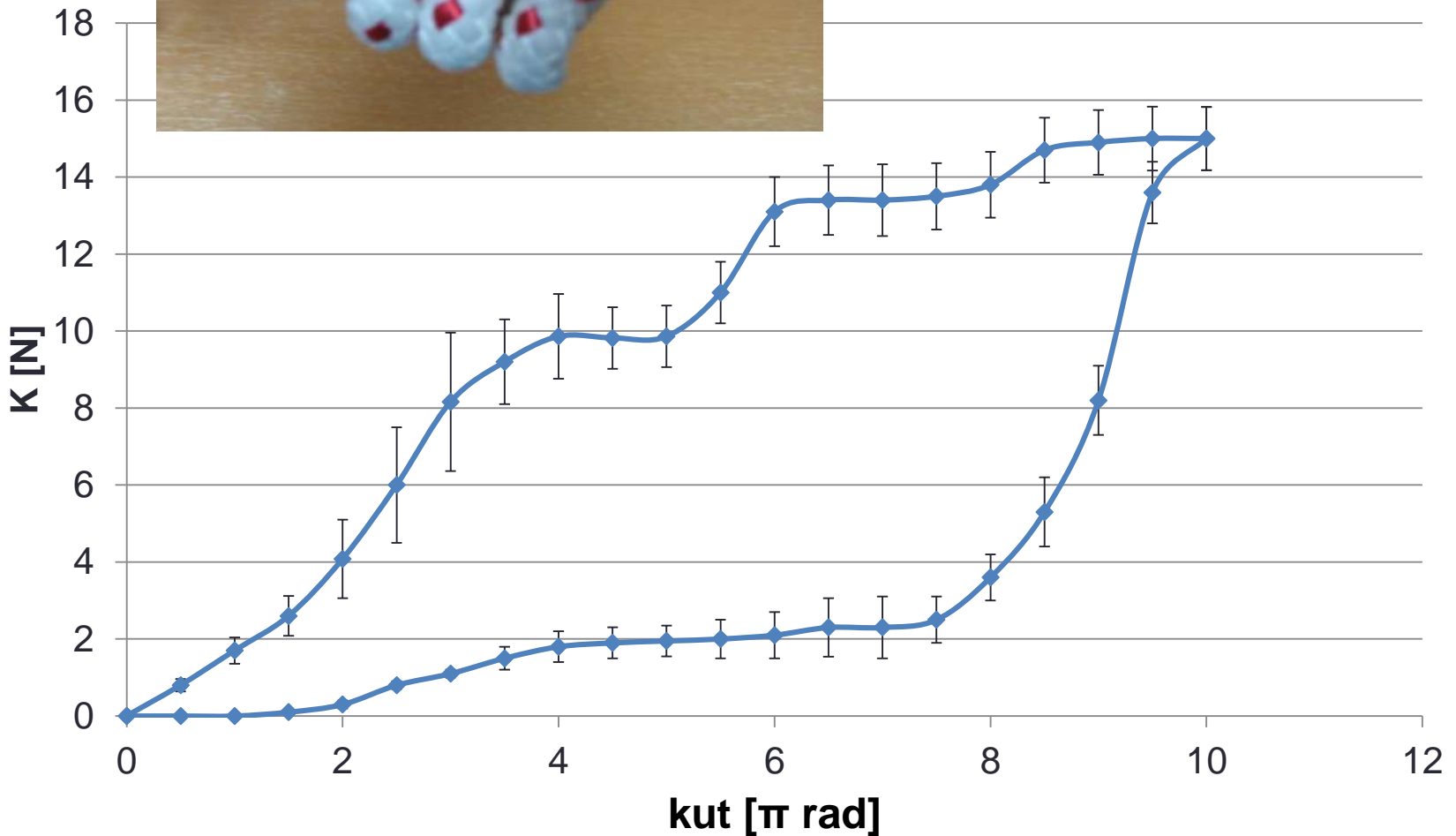


- Graf 1: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja

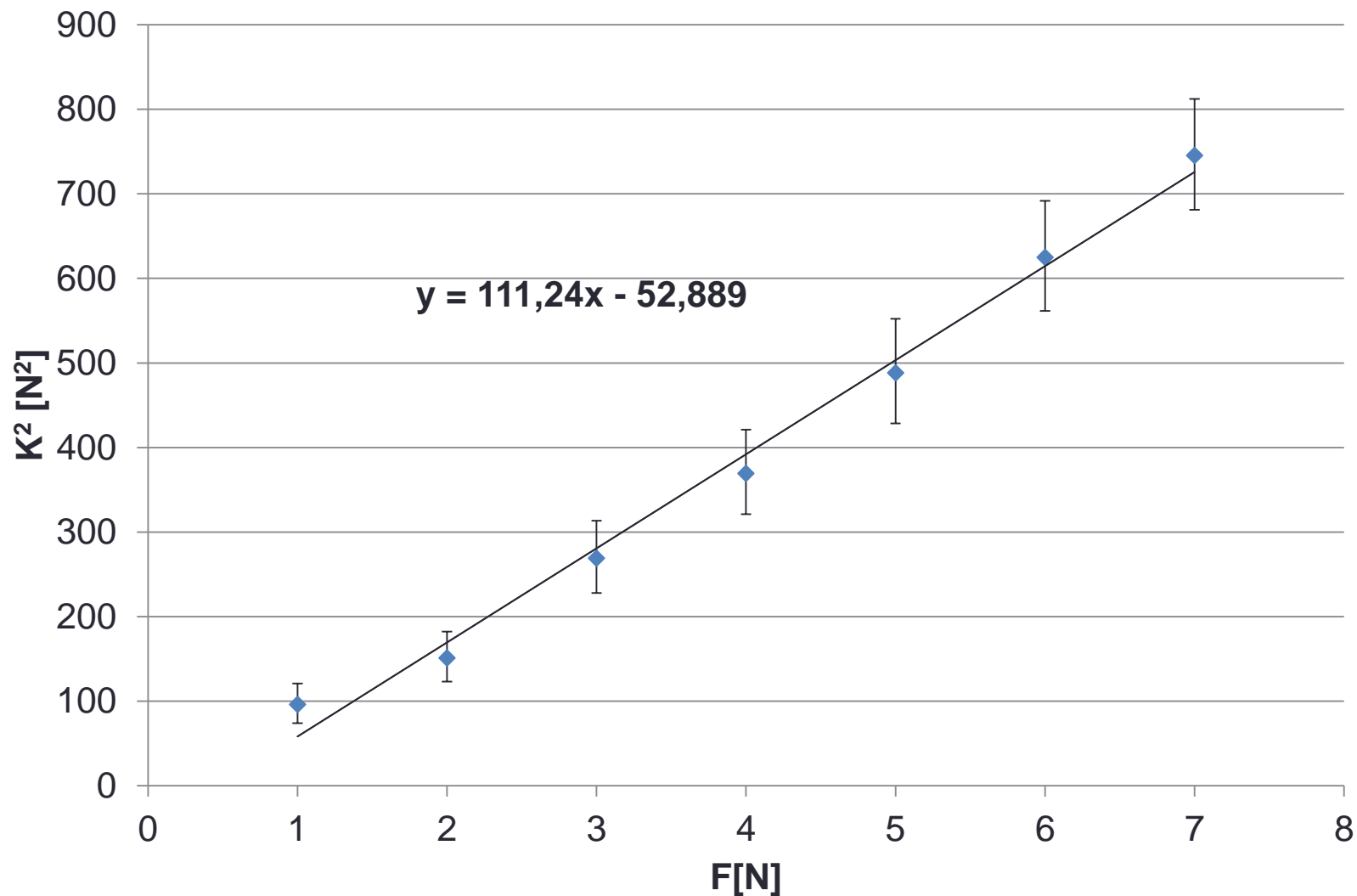


- Graf 2: Prikaz zavisnosti sile na površini užeta o kutu zakretanja za različite sile napetosti užeta.





- Graf 3: Zavisnost sile na površini užeta o kutu zakretanja nakon stvaranja prve petlje



- Graf 4: Zavisnost sile na površini užeta potrebne za stvaranje petlje o sili napetosti

# Zaključak

- Zakretanjem konopa raste sila torzije. Konop se zakreće i stvara petlje ili zavojnice. (primarne, sekundarne i tercijarne bifurkacije)
- Model dobro predviđa uvjete stvaranja petlje.
- Stvaranjem petlje uže se odupire povećanju sile prilikom dodatnog zakretanja, uzrokovane torzijom.
- Zakretanjem nakon nastanka petlje nastaju nove petlje i zavojnice.

# Problemi

- Svojstva materijala određena različitim parametrima
- Trajne deformacije
- Trenje dijelova užeta koji se dodiruju

Hvala na pozornosti

# Literatura

- [1] Mladen Paić: Gibanja, sile, valovi; Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [2] Philip T. Gibson: Operational characteristics of ropes and cables, C8
- [3] A.Goriely, M.Tabor: Nonlinear Dynamics of Filaments IV: Spontaneous Looping of Twisted Elastic Rods
- [4] A.E.H. Love: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, Cambridge University Press, second edition, 1906. p385-p402