



FKITMCMXIX

ELASTOMERI

šk. god. 2024./2025.

predavanja + seminar

Ljerka Kratofil Krehula

krehula@fkit.hr

ODRŽAVANJE NASTAVE

- predavanja i seminar
- ponedjeljkom od 13 do 16 sati, *Zagrepčanka*, Vijećnica 2, *početak u 13:15*
- *seminar: asistentica Ana Peršić, mag. ing. oecoing.*

PRVI DIO PREDAVANJA:

- 7. listopada 2024.
- 14. listopada 2024.
- 21. listopada 2024.
- 28. listopada 2024.
- 4. studenog 2024. prvi kolokvij

DRUGI DIO PREDAVANJA:

- 11. studenog 2024.
- 18. studenog 2024. praznik, nema predavanja
- 25. studenog 2024.
- 2. prosinca 2024.

- 16. prosinca drugi kolokvij

13. i 20. siječnja 2025.

- seminarski radovi od 13 do 16 sati

Studenti će moći izabrati pripremu i izlaganje prezentacije ili pisanje referata.

Raspored izlaganja/analizu seminarskih radova definirat će asistentica Ana Peršić u prosincu.

OBAVEZE STUDENATA U NASTAVI:

- prisustvovanje na 75 % predavanja
- seminarski rad

Ukupna ocjena, uvjeti ocjenjivanja:

<i>1. kolokvij</i>	<i>50 bodova</i>
<i>2. kolokvij</i>	<i>50 bodova</i>
<i>seminarski rad</i>	<i>20 bodova</i>
<i>prisutnost na nastavi</i>	<i>10 bodova</i>
Ukupno	130 bodova

Ukupno ostvareno bodova	Ocjena/bodovi
60-70%	dovoljan (2) 78 - 91
71-80%	dobar (3) 92 - 104
81-90%	vrlo dobar (4) 105 - 117
91-100%	odličan (5) 118 - 130

Za opravdane izostanke, ne oduzimaju se bodovi,

Izlazak na dva kolokvija ili na ispit.

Za upis ocjene, potrebno je imati pozitivno ocijenjena oba kolokvija (60 %).
Studenti koji nemaju pozitivnu ocjenu iz pojedinog kolokvija (60 %) te koji nisu pisali jedan ili oba kolokvija, trebaju pristupiti cjelokupnom ispitu.

Izvedbeni program kolegija

1. Vulkanizacija i vulkanizacijski sustavi
2. Obrada kaučuka i proizvodnja gume
3. Oblikovanje proizvoda
4. Guma i sintetske gume - klasifikacija
5. Prirodni kaučuk
6. Polibutadienski i poliizoprenski kaučuk
7. Stiren - butadienski kaučuk
8. Etilen-propilen i etilen-propilen-dienski kaučuk
9. Silikonski kaučuk
10. Polikloroprenski kaučuk
11. Klorobutilni kaučuk
12. Fluorirani kaučuk
13. Nitrilni kaučuk
14. Polisulfidni kaučuk
15. Degradacija i regeneracija kaučuka

TABLE 8.3 Common Elastomers and Their Uses

Common Name (Chemical Composition)	Abbreviation	Uses and Properties
Acrylonitrile–butadiene–styrene (terpolymer)	ABS	Oil hoses, fuel tanks, gaskets, pipe and fittings, appliance and automotive housings; <u>good resistance to oils and gas</u>
Butadiene rubber	BR	Tire tread, hose, belts; very low hysteresis, high rebound
Butyl rubber (from isobutene and 0.5%–3% isoprene)	IIR	Inner tubes, cable sheathing, tank liners, roofing, seals, coated fabrics; very low rebound, high hysteresis
Chloroprene rubber (polychloroprene)	CR	Wire and cable insulation, hose footwear, mechanical automotive products; <u>good resistance to oil and fire, good weatherability</u>
Epichlorohydrin (epoxy copolymers)		Seals, gaskets, wire and cable insulation; <u>good resistance to chemicals</u>
Ethylene-propylene rubbers (random copolymers with 60%–80% ethylene)	EP or EPM	Cable insulation, window strips; <u>outstanding insulative properties</u>
Ethylene-propylene-diene (random terpolymers)	EPDM	<u>Good resistance to weathering, resistant to ozone attack</u>
Fluoroelastomers (fluorine-containing copolymers)		Wire and cable insulation, aerospace applications; <u>outstanding resistance to continuous exposure to high temperatures, chemicals, and fluids</u>

Natural rubber (polyisoprene)	NR	General-purpose tires, bushings, and couplings, seals, footwear, belting; good resilience
Nitrile rubber (random copolymer of butadiene and acrylonitrile)	NBR	Seals, automotive parts that are in contact with oils and gas, footwear, hose; <u>outstanding resistance to oils and gas, little swelling in organic liquids</u>
Polysulfide		Adhesive, sealants, hose binders; outstanding resistance to oil and organic solvents
Polyurethanes		Sealing and joining, printing rollers, fibers, industrial tires, footwear, wire and cable coverings
Silicones (generally polydimethylsiloxane)		Medical applications, flexible molds, gaskets, seals; <u>extreme use temperature range</u>
Styrene-butadiene rubber (random copolymer)	SBR	Tire tread, footwear, wire and cable covering, adhesives; high hysteresis

Umreživanje ili vulkanizacija

- kemijska reakcija kojom se linearne polimerne molekule kaučuka poprečno povezuju stvarajući makromolekulske umrežene strukture

kaučuk → **guma**

- međusobno povezivanje već pripremljenih dugih polimernih lanaca u prisustvu umreživača

Guma:

1. visoka elastičnost i čvrstoća
2. netopljivost
3. otpornost prema temp., svjetlu, starenju



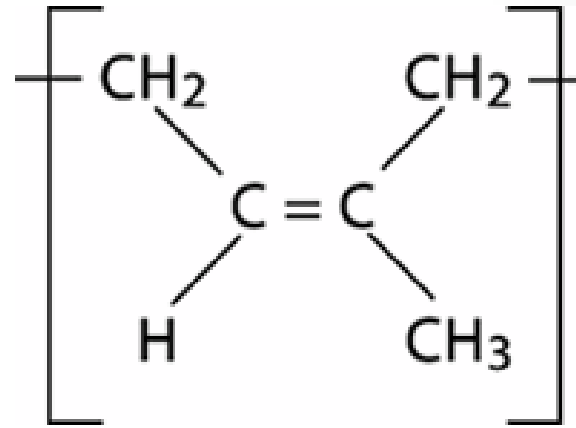
kaučuk - neumreženi polimer

guma - umreženi polimer
dobiva se vulkanizacijom kaučuka

- **Kaučuk i guma - ELASTOMERI**

Prirodni kaučuk *poliizopren*

Hevea brasiliensis

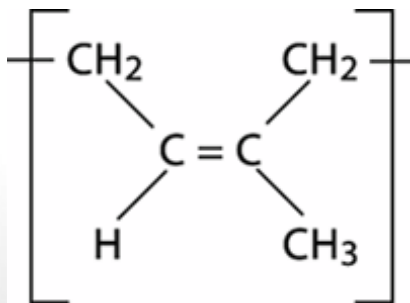


PRIRODNI KAUČUK

poliizopren

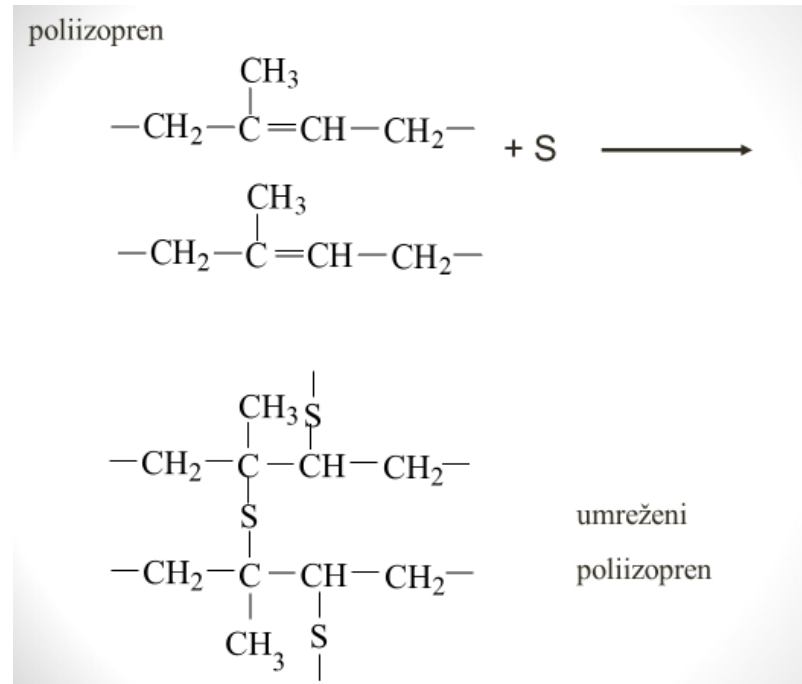
Stablo

Hevea brasiliensis



Charles Goodyear - prva vulkanizacija kaučuka

1839. zagrijavanje **prirodnog kaučuka**
cis-1,4-poliizoprena s manjom količinom sumpora
rezultat: **GUMA**



kaučuk - **neumreženi polimer**

guma - **umreženi polimer**

(dobiva se vulkanizacijom kaučuka)

Sustav za vulkanizaciju:

1. **neumreženi kaučuk**
2. **sredstvo za vulkanizaciju** (2-3 phr)
 - *sumpor ili druga sredstva (selen, telur, oksidi metala, organski peroksidi)*
3. **ubrzivači** (0,5-1 phr)
 - *derivati benzotiazola (merkaptobenzotiazol -MBT), tioli, disulfidi, amini*
4. **aktivator ubrzivača**, može biti *ZnO* (3-5 phr)
5. **masne kiseline** (stearinska) (1-3 phr)

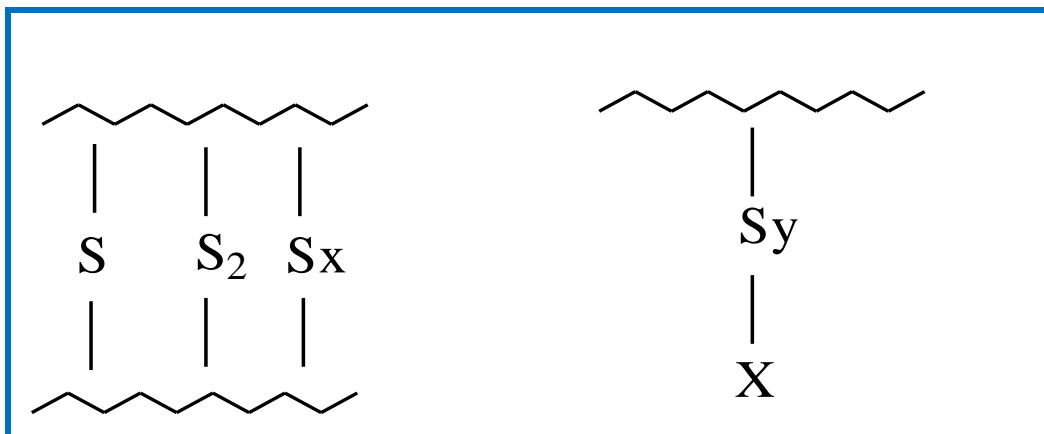
Umreživanje (vulkanizacija) – stvaranje radikala

- polimerni lanac mora sadržavati reaktivnu grupu ili dvostruku vezu

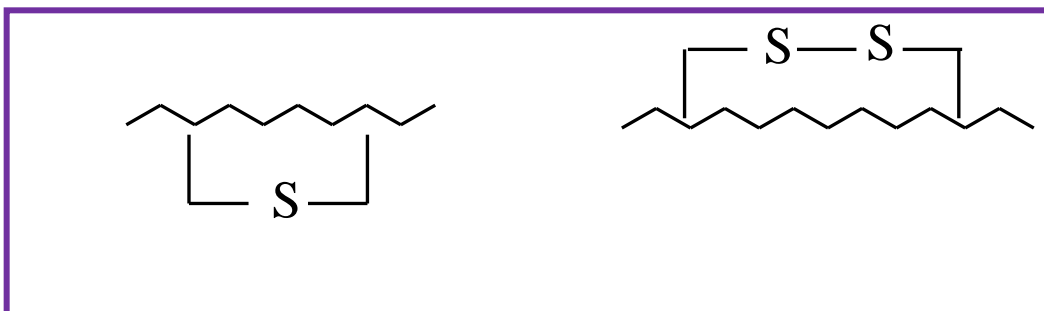
a) vulkanizacija sumporom

- temperatura 130-160 °C
- neefikasno umreživanje samim sumporom, potrebni su ubrzivači

Sumpor se kombinira u vulkanizacijskom umrežavanju na brojne načine kao ***monosulfid, disulfid ili polisulfid***



- ciklički monosulfid i disulfid:



Ostali dodaci:

punila, antioksidansi, antiozonanti, pigmenti

Svojstva vulkanizata:

- uravnotežena fizička svojstva
- velika rastezna čvrstoća i modul elastičnosti
- otpornost prema abraziji i umoru materijala

Nedostatak:

- slabija toplinska postojanost koja uzrokuje smanjenje početnih vrijednosti meh. svojstava
- rješenje: veći udio ubrzivača, manji udio sumpora

Elastomeri

Elastomeri

-materijali koji podnose velike deformacije uslijed djelovanja sile pri čemu ne dolazi do pucanja materijala, materijal u potpunosti poprima svoj prvobitni oblik nakon prestanka djelovanja sile

-osnovno svojstvo im je elastičnost što podrazumijeva potpun oporavak materijala nakon deformacije

Deformacija

Kada se tijelo izloži vanjskom naprezanju ili tlaku, dolazi do promjene oblika ili volumena.

Mehaničko testiranje gume obuhvaća primjenu sile na uzorak i mjerenje rezultata deformacije ili promjenu deformacije i mjerenje potrebne sile.

Rezultati - izraženi kao naprezanje i istežanje i tako su neovisni o geometrijskom obliku uzorka.

Naprezanje - sila f po jedinici površine poprečnog presjeka A_0 .

Istežanje - deformacija po jedinici dužine

Jedinica naprezanja je N/m^2 ili Pa, a istežanje je bez dimenzija.

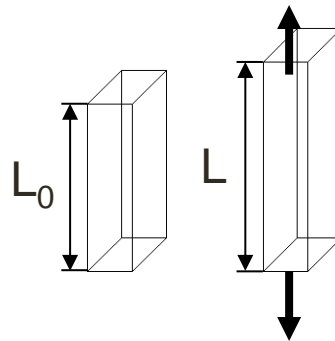
Omjer naprezanja i istežanja - modul.

Jednoosno istežanje

- Gumena traka početne dužine L_0 rasteže se (isteže) jednoosno do dužine L .
- $\Delta L = L - L_0$, $\lambda = L/L_0$ - omjer istežanja.
Izduženje ε (poznato kao relativna deformacija, linearna dilatacija) i istežanje ili produljenje stoje u ovom odnosu:

Jednoosno izduženje

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} = \lambda - 1$$

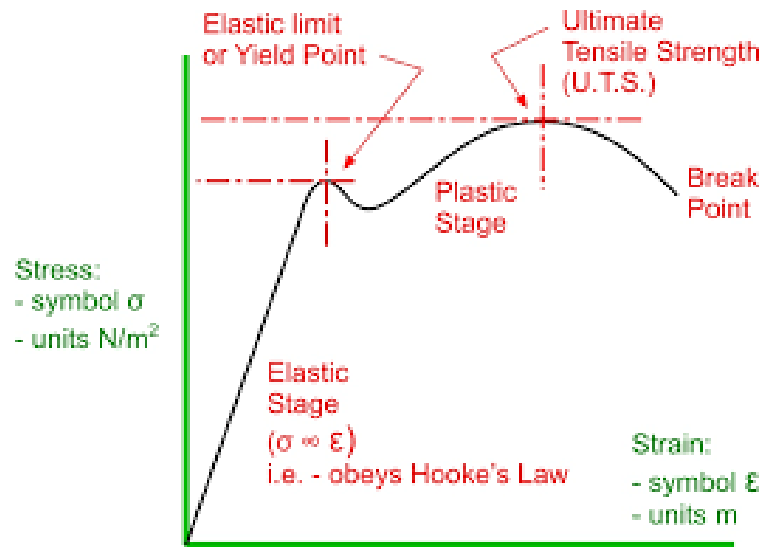


- **Jednoosno naprezanje** - naprezanje kod kojeg se mjeri sila naprezanja potrebna da se materijal duljine L_0 , površine poprečnog presjeka A_0 istegne na duljinu L i definira se jednadžbom:

$$\sigma = \frac{f}{A_0}$$

- gdje je f sila naprezanja
- A_0 površina poprečnog presjeka nedeformiranog uzorka

- **Elastična deformacija** - ona deformacija kod koje se materijal u potpunosti oporavi nakon prestanka djelovanja deformacijske sile.
- **Plastična deformacija** - ona deformacija kod koje ne dolazi do potpunog oporavka materijala nakon prestanka djelovanja sile, već materijal ostaje trajno deformiran.
- **Yield točka** ili točka popuštanja - javlja se prilikom naprezanja, a to je mjesto popuštanja materijala, granica kad materijal prelazi iz elastične u plastičnu deformaciju



Omjer naprezanja i izduženja definira modul elastičnosti:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

U području elastične deformacije, kada su naprezanje i izduženje u linearnom odnosu, vrijedi **Hookeov** zakon.

Modul elastičnosti za elastomere u tom području naziva se još Youngov modul E. Young-ov modul kod malih deformacija koeficijent je smjera tg α krivulje naprezanje-istezanje (početni tangens modul).