

# ELASTOMERI

ak. god. 2020./2021.

**doc. dr. sc. Ljerka Kratofil Krehula**  
*krehula@fkit.hr*

# SINTETSKE GUME

- Gume za normalnu upotrebu
  - obične gume
- Gume za specijalnu upotrebu
  - specijalne gume

## Gume za normalnu upotrebu (obične gume)

- Polimer koji ima preradbena i mehanička svojstva koja ispunjavaju zahtjeve proizvoda
- Moraju biti dovoljno jeftine
- Nije potrebna povećana otpornost na bubrenje u nepolarnim tekućinama (ulja i benzin)

## Gume za specijalnu upotrebu (specijalne gume)

- posjeduju jedno ili više svojstava kojima nadmašuju obične gume
  - većina ih sadrži u lancu N, O, S, Si, Cl, Br i F atome

Najvažnije podgrupe:

- gume otporne na toplinu
- gume otporne na bubrenje u uljima i ostalim tekućinama

## Klasifikacija guma i njihovo označavanje

### Standard ASTM D1418 – opća klasifikacija guma

Gume se klasificiraju prema kemijskom sastavu polimernog lanca u sljedeće kategorije (klase):

- M - zasićeni polimetilenski lanac
- N - sadrže N u polimernom lancu
- O - sadrže O u polimernom lancu
- R - nezasićeni ugljikov lanac
- Q - sadrže Si u polimernom lancu
- T - sadrže S u polimernom lancu
- U - sadrže C, O i N u polimernom lancu  
(poliuretanske gume)
- Z - sadrže P i N u polimernom lancu

<https://www.astm.org/Standards/D1418.htm> Standard Practice for Rubber and Rubber Latices—Nomenclature

Chemical Name	Abbreviation		Trade Name
	ASTM D1418	ISO/DIN 1629	
<b>M-class (rubbers having a saturated chain of the polymethylene type)</b>			
Polyacrylate Rubber	ACM	ACM	-
Ethylene Acrylate	AEM	-	Vamac®
Chlorosulfonated Polyethylene Rubber	CSM	CSM	-
Ethylene Propylene Diene Rubber	EPDM	EPDM	-
Ethylene Propylene Rubber	EPM	EPDM	-
Fluorocarbon Rubber	FKM	FPM	Viton®
Tetrafluorethylene Propylene Copolymer	FEPM	FEPM	-
Perfluorinated Elastomer	FFKM	-	Kalrez®
<b>O-class (rubbers having oxygen in the polymer chain)</b>			
Epichlorohydrin Rubber	CO	CO	-
Epichlorohydrin Copolymer Rubber	ECO	ECO	-
<b>R-class (unsaturated hydrogen carbon chain)</b>			
Butadiene Rubber	BR	BR	-
Chloroprene Rubber	CR	CR	Neoprene
Isobutene Isoprene Rubber (Butyl Rubber)	IIR	IIR	-
Isoprene Rubber / Natural Rubber	IR	IR	-
Nitrile Butadiene Rubber (BUNA-N)	NBR	NBR	-
Styrene Butadiene Rubber (BUNA-S)	SBR	SBR	-
Hydrogenated Nitrile	HNBR	-	-
<b>Q-class (with Silicone in the main chain)</b>			
Fluorosilicone Rubber	FVMQ	FMQ	-
Methyl Vinyl Silicone Rubber	VMQ	VMQ	-
<b>U-class (with carbon, oxygen and nitrogen in the main chain)</b>			
Polyester Urethane	AU	AU	-
Polyether Urethane	EU	EU	-

<https://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Information-on-Elastomers.pdf>

# M gume - zasićeni polimetilenski lanac

## ▪ **EPM** – kopolimer etilena i propilena



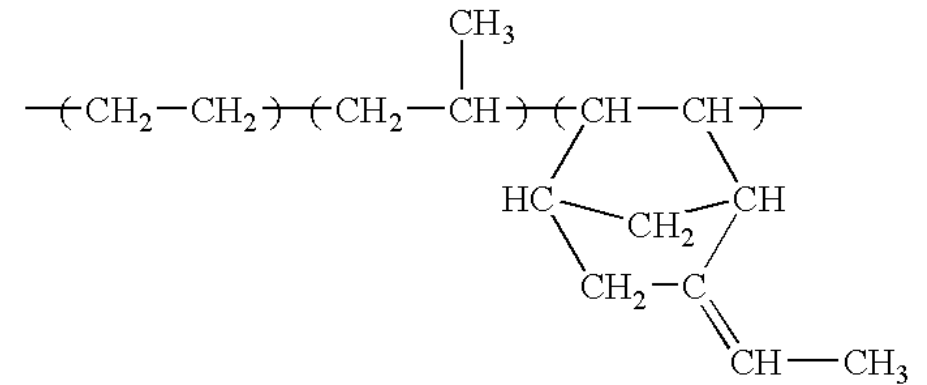
- dobivanje: kontinuiranom polimerizacijom u otopini, u suspenziji ili u plinskoj fazi
- ne može se vulkanizirati pomoću sumpora, već samo uz perokside
- izvanredno postojan prema starenju (djelovanja kisika i ozona)
- vrlo dobra otpornost prema kiselinama, bazama i polarnim otapalima
- glavni nedostatak: slabo se veže na tekstilnu podlogu i metale
- upotreba: spremnici za kemikalije, cijevi za prolaz vruće vode



# M gume

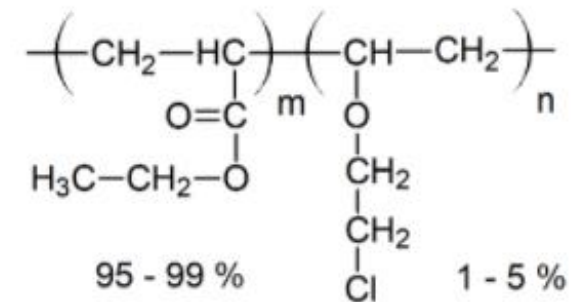
## ■ **EPDM** – kopolimer etilena, propilena i diena

- udio propilena 20-70%, udio diena 4-8 %
- vrlo otporan materijal prema vremenskim utjecajima, ozonu, oksidaciji i toplini zahvaljujući niskom sadržaju dvostrukih veza
- upotreba u temp. području: od -45 do 150 °C



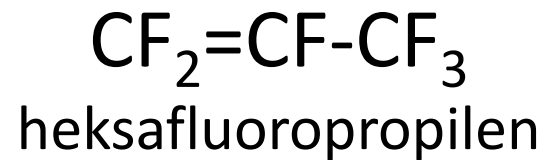
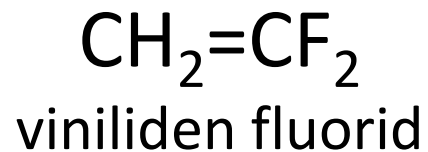
## ■ **ACM** – poliakrilna guma

- kopolimer etil akrilata i 2-kloretil vinil etera (do 5 %)
- nastaje emulzijskom polimerizacijom akrilata u vodenom mediju ili polimerizacijom u suspenziji
- dobra postojanost prema starenju, temperaturnim promjenama prema djelovanju vrućeg zraka
- upotreba u temp. području: od -10 do 150 °C



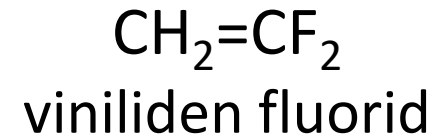
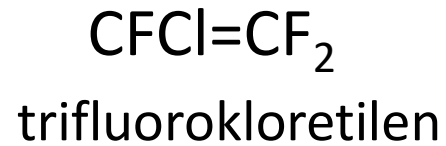
# M gume

- **FKM** - fluoroelastomeri
  - kopolimer heksafluoropropilena i vinilden fluorida
  - ima vrlo nisku  $T_g$
  - velika otpornost prema toplini i plamenu, izuzetna otpornost na starenje, ozon, oksidacijska sredstva, ulja i brojne druge kemikalije
  - izrazito postojan prema visokim temperaturama
  - visoke je cijene
  - upotreba u temp. području: od -20 do 230 °C (čak do 300 °C u kratkom vremenskom razdoblju)



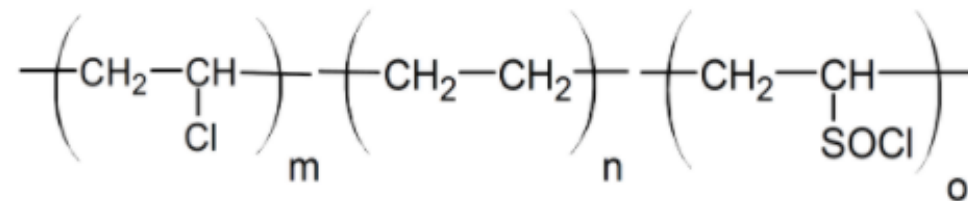
## M gume

- **CFM** – kopolimer trifluorokloretilena i vinilden fluorida



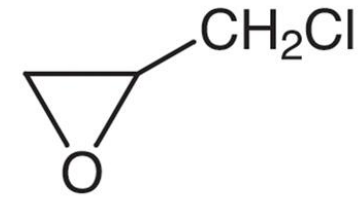
- **CSM** – klorosulfonirani polietilen

- nastaje kloriranjem polietilena male gustoće u kloriranim otapalima uz obasjavanje ultraljubičastim svjetlom, uz istovremeno uvođenje  $\text{SO}_2$
- vrlo dobra mehanička svojstva,
- vrlo je otporan prema habanju, djelovanju ulja i visokih temperatura
- otporan na ozon, na UV zračenje, na kemikalije
- upotreba: izrada cijevi, dijelova pumpi
- upotreba u temp. području: od  $-20$  do  $125$  °C



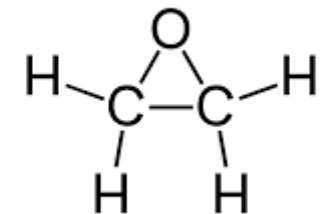
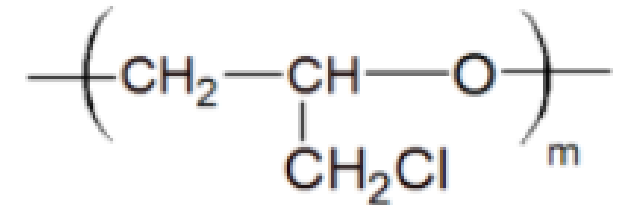
## O gume - sadrže O u polimernom lancu

- **CO** – poliepiklorohidrin
  - nastaje polimerizacijom čistog epiklorohidrina



epiklorohidrin

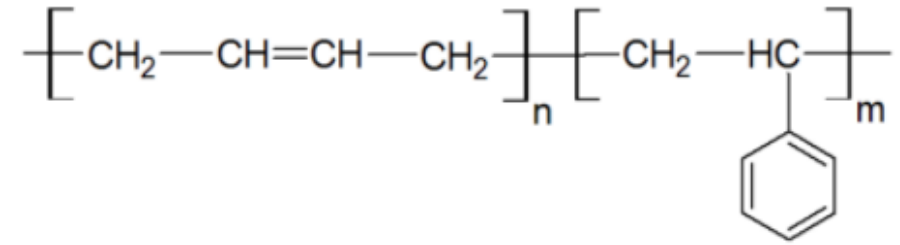
- **ECO** – kopolimer epiklorohidrina i etilen oksida
  - nastaje kopolimerizacijom epiklorohidrina i etilenoksida
  - vrlo se dobro obrađuje i oblikuje
  - izvanredna otpornost prema djelovanju ulja
  - nezapaljivost
  - dobra elastičnost na niskim temperaturama
  - upotreba u temp. području: od -35 do 120 °C (do 150 °C kratko)



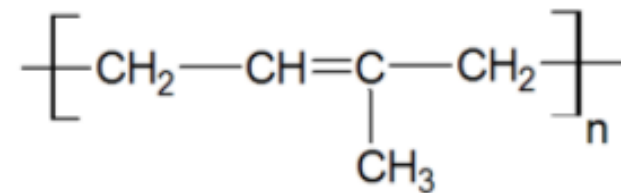
etilen oksid

## R gume - nezasićeni ugljikov lanac

- **SBR** – kopolimer butadiena i stirena (10 do 25 %)
  - guma u širokoj upotrebi
  - dobra otpornost prema abraziji (uz dodatak prikladnih aditiva)
  - 2012. proizvedeno više od 5 mil. tona SBR-a
  - 50 % automobilskih guma izrađeno je od nekog tipa SBR-a
  - udio stiren/butadien utječe na svojstva polimera: s većim udjelom stirena gume su tvrđe i manje elastične
  - upotreba u temp. području: od -25 do 100 °C

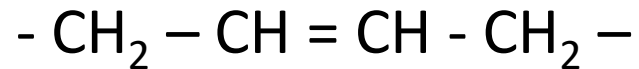


- **IR** – cis-1,4-poliizopren
  - dobra mehanička svojstva
  - dobra otpornost prema abraziji
  - upotreba u temp. području: od -50 do 100 °C

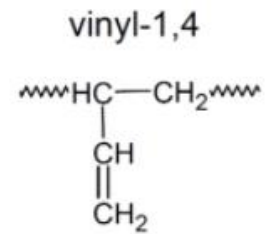
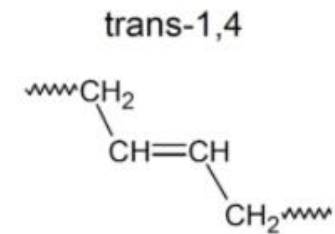
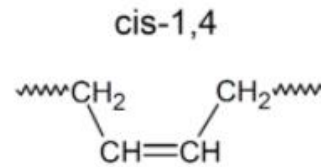


# R gume

- **BR** – polibutadien (butadienska guma)

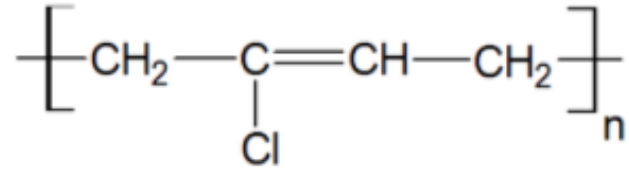


- nastaje polimerizacijom u otopini
- Tg ovisi o udjelu 1,2-polibutadiena u smjesi
- smjesa s mnogo cis-1,4-polibutadiena ima niži Tg
- izvanredna otpornost prema habanju
- vrlo dobra elastičnost
- postojanost na niskim temperaturama
- max. temperatura upotrebe: 70 °C



## R gume

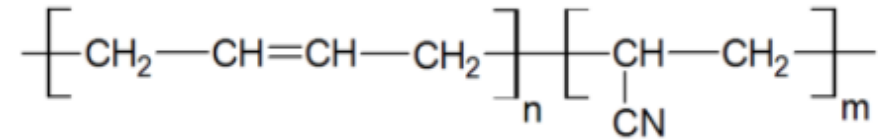
- **CR** – polikloropren (Neopren, DuPont)



- nastaje radikalskom polimerizacijom u vodenim emulzijama, (radikalska emulzijska polimerizacija 2-kloro-1,3-butadiena).
- široka upotreba
- dobra otpornost prema ozonu, mineralnim uljima i abraziji
- odlična otpornost prema plamenu
- upotreba u temp. području: od -35 do 100 °C

# R gume

- **NBR** – kopolimer butadiena i akrilonitrila (15 do 45 %)

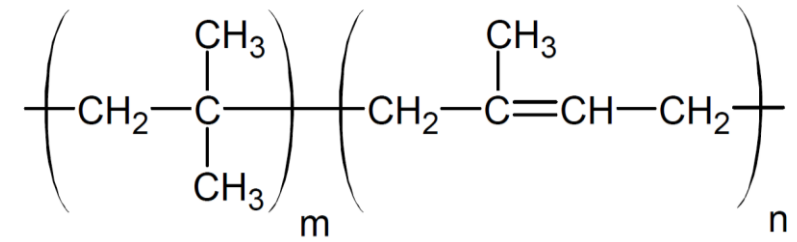


- nastaje kopolimerizacijom u vodenim emulzijama
- polimerizacijom pri nižoj temperaturi manje je razgranat, sadrži manje bočnih lanaca
- otpornost prema uljima, mastima i aromatskim otapalima
- dobra otpornost prema abraziji
- upotreba u temp. području: od -25 do 100 °C



## R gume

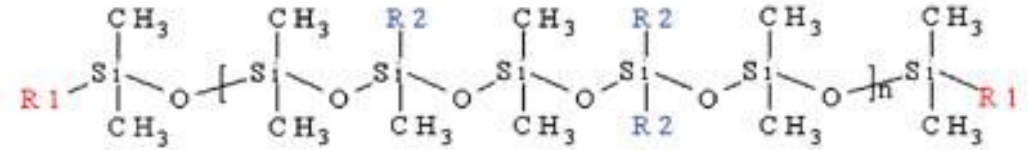
- **IIR** – kopolimer izobutilena i izoprena



- polimerizacija izobutena u prisutnosti 2 – 3% izoprena, uz  $\text{AlCl}_3$  kao katalizator i metilen-klorid kao otapalo
- mali sadržaj dvostrukih veza izoprenskih molekula – može podnijeti dužu izloženost visokim temperaturama
- mala brzina prolaza plinova (zračnice za gume)  
8 x manja od prolaza kroz prirodni kaučuk
- toplinska postojanost
- otpornost prema kisiku, ozonu i atmosferilijama
- sposobnost zaustavljanja vibracija
- otpornost prema vlazi i kemikalijama
- upotreba u temp. području: od  $-50$  do  $120$  °C

## Q gume - sadrže Si u polimernom lancu

- **MQ** – dimetil silikonska guma



R 1 = (OH, vinyl, alkyl, phenyl, etc.)  
R 2 = (methyl, phenyl, alkyl, vinyl, etc.)

- mala ovisnost viskoznosti o temperaturi
- velika elastičnost na niskim temperaturama
- stabilna guma prema termičkoj i oksidacijskoj razgradnji
- dobra fleksibilnost na niskim temperaturama
- otpornost prema kemikalijama (dodatkom supstituenata koji sadrže fluor to se može poboljšati)
- postojanost prema ozonu i UV zračenju, visokim temperaturama
- upotreba u temp. području: -70 do 250 °C (čak do 500 °C pri kratkoj izloženosti)

- ne podliježe degradaciji i smanjenju molekulske mase za vrijeme prerade (vulkanizacija pri višim T)
- bubri u ugljikovodičnim otapalima
- skoro potpuno inertna prema polarnim otapalima
- prilikom trenja razvija mnogo topline

## T gume – sadrže S u polimernom lancu

### ■ T – polialkilen sulfid



- gume otporne na ulja

## U gume - sadrže C, O i N u polimernom lancu (poliuretanske gume)

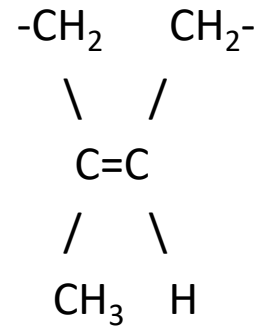
- poliesterski (AU) i polieterski uretani (EU)
- velika prekidna čvrstoća, otpornost prema abraziji
- dobra otpornost prema oksidaciji, ozonu, alifatskim otapalima, prema organskim uljima .
- slaba otpornost prema povišenim temperaturama
- upotreba u temp. području: od -40 do 90 °C

# PRIRODNI KAUCUK

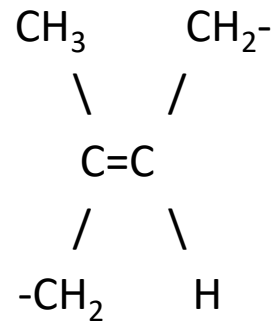


Zbog prisutnosti dvostruke veze u svakoj izoprenskoj molekuli mogu nastati konfiguracije polimera:

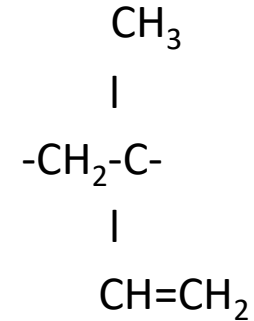
- **Cis-1,4-poliizopren**



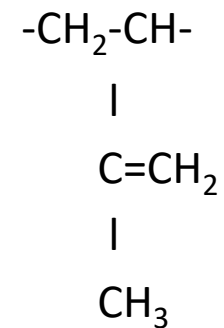
- **Trans-1,4-poliizopren**



- **1,2-poliizopren**



- **3,4-poliizopren**



- Prirodni je kaučuk u potpunosti cis-1,4-poliizopren
- Slični proizvodi: **gutaperka i balat** (*sokovi tropskog drveća, skrutnu se na zraku – tvrđi od prirodnog kaučuka*), konfiguracija im je trans-1,4-poliizopren
- Razlike u konfiguraciji molekula - razlike u svojstvima
- Prirodni kaučuk elastomernih je karakteristika, a gutaperka i balat krute su tvari koje mekšaju tek na temp. višoj od 80°C
- Potpuno je biorazgradljiv



# DOBIVANJE PRIRODNOG KAUČUKA



- Urezivanjem u koru drveta kaučukovca dobiva se mliječni sok-**LATEKS**
- Sustav urezivanja je Y ili V
- Lateks se skuplja u posudice u kojima se nalazi mala količina natrijevog sulfita ili amonijačne vode - sprečavaju koagulaciju i obojenje
- Svježi lateks preraduje se u sirovi kaučuk ili se koncentrira i takav upotrebljava

## PRERADA LATEKSA

1. Odvajanje mehaničkih nečistoća
2. Sijanje kroz gruba sita i razrjeđivanje vodom
3. Koagulacija dodatkom kiselina (octena) i soli (kalijev sulfat, aluminijev sulfat)  
- obično dodatkom 50 dijelova 1% -tne mravlje kiseline na tisuću dijelova razrijeđenog lateksa

- Odvojeni talog obrađuje se kroz sustav valjaka
- Dobiveni proizvod sadrži 4 % vlage i suši se toplim zrakom dok poprimi žućkastu boju
- Lošije vrste kaučuka - **smeđe boje**



## SVOJSTVA PRIRODNOG KAUČUKA

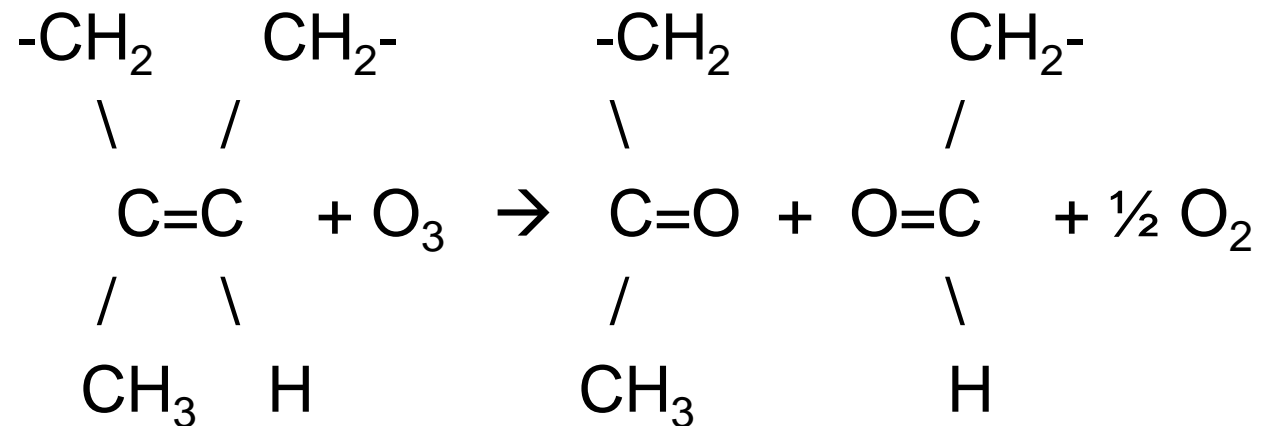
- na niskim temperaturama - krhak i lomljiv, a na višim od 100°C - voskasto mekan
- na temperaturama nižim od 10°C djelomično se kristalizira
- topljivost sirovog kaučuka u organskim otapalima dosta je slaba - povećava se smanjenjem njegove molekulske mase kemijskim ili fizičkim metodama
- najbolja otapala su benzen i drugi aromatski ugljikovodici i ugljik-disulfid
- mnoge tvari otapaju se ili lako dispergiraju u njemu - sumpor, boje, pigmenti, ulja itd.

- prirodni kaučuk - podliježe reakcijama adicije na dvostrukoj vezi i supstitucije na metilnim ili metilenskim skupinama
- popratne pojave kemijskih reakcija - procesi umrežavanja, degradacije, ciklizacije ili cis-trans-izomerizacije
- dvostruke veze u poliizoprenskim molekulama lako reagiraju s kisikom ili ozonom što dovodi do nepoželjnih procesa depolimerizacije
- tragovi metala - Cu, Mg, posebno Fe - povećavaju brzinu oksidacije i razgrađuju kaučuk uz nastajanje mekanog, ljepljivog produkta

- Prikladan za primjenu na niskim temperaturama te na sobnoj temperaturi
- Ima dobra mehanička svojstva (prekidna čvrstoća, lomno produljenje) i otpornost prema abraziji u cijelom mogućem temperaturnom području njegove upotrebe od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $+100^{\circ}\text{C}$ .
- Prirodni kaučuk ima u sebi različite prirodne nečistoće i njegova molekulska masa jako ovisi o karakteristikama pojedinog stabla kaučukovca što ima utjecaja na konačna svojstva gume i mogućnosti njezine primjene.
- Slaba otpornost prema plamenu, atmosferskim uvjetima, oksidaciji i ozonu – slabljenje mehaničkih svojstava.
- Upotreba: izrada antivibracijskih nosača, spojnice, opruga, ležajeva, gumenih traka i ljepila.

- **Antioksidansi** - tvari koje i u malim količinama zaustavljaju proces oksidacije u lateksu, kaučuku ili gumi – fenoli, krezoli, primarni produkti reakcije aldehida ili ketona s aminima itd.
- **Antiozonanti**- derivati kinolina, furana

**Djelovanje ozona** - stvaraju se primarni ozonidi koji zatim stvaraju karbonilne spojeve koji naglo smanjuju molekulsku masu polimera:



- stvaraju se mehaničke mikropukotine i druga oštećenja materijala koja slabe mehanička svojstva
- dodatkom kristaličnih voskova (migriraju na površinu proizvoda stvarajući zaštitni film) moguće je spriječiti utjecaj ozona

## DERIVATI PRIRODNOG KAUČUKA

- **Ciklizirani kaučuk** dobiva se zagrijavanjem prirodnog kaučuka s aromatskim sulfonskim kiselinama ili solima (2-4 sata na 125-145 °C)
- proces se provodi i s lateksom uz dodatak sumporne kiseline i zagrijavanjem nekoliko sati na 100 °C
- izoprenske molekule djelomično se cikliziraju uz nastajanje produkata sa šesteročlanim prstenom
- produkt se upotrebljava kao dodatak prirodnom kaučuku za povećanje tvrdoće, za pripravu očvršćivača za lakove i premaze, impregnaciju itd.



- **Depolimerizirani kaučuk** - viskozna tekućina dobivena zagrijavanjem kaučuka na 150 – 200 °C uz prisustvo kisika iz zraka i tiola ili disulfida
- upotrebljava se kao omekšivač za gumu, ljepilo i dodatak mineralnim uljima

- **Cijepljeni kaučuk** dobiva se polimerizacijom vinilnih monomera u otopini ili lateksu prirodnog kaučuka
- Reakcija se provodi s metilmetakrilatom, stirenom, vinilacetatom i esterima akrilne kiseline uz peroksidne inicijatore
- Elastomerna komponenta osigurava elastičnost i udarnu žilavost, a vinilni polimer krutost, tvrdoću i laku preradljivost
- Upotrebljava se za izradu dijelova električnih armatura, utičnica, kućišta itd., a u formi lateksa kao sredstvo za povezivanje gume za PVC, tekstil i kožu