



Sveučilište u Zagrebu  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
Kemijski odsjek



# Fleksibilni materijali i njihova primjena u naprednoj tehnologiji

H. Soury, H. Banerjee, A. Jusufi, N. Radacsi, A. A. Stokes, I. Park, M. Sitti, M. Amjadi, *Adv. Intell. Syst.* **2** (2020) 2000039–2000065

Kemijski seminar I

Ozana Mišura

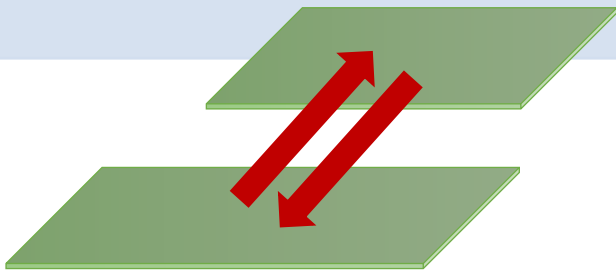
12. svibnja 2021.



## Senzori mehaničkih promjena

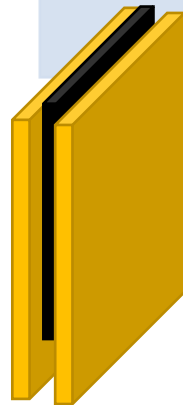
### Rezistivni senzori

- promjena električnog otpora za jedan ciklus: rastezanje i povratak u prvobitan položaj
- aktivni materijali električki vodljivi
- tanki filmovi, kompozitni polimeri mikromaterijala i nanomaterijala, vodljive tkanine



### Kapacitivni senzori

- karakterističan dizajn „oblika sendviča”
- izolacijski materijal između rastezljivih elektroda
- efektivno: kondenzator paralelnih ploča kapaciteta  $C_0$



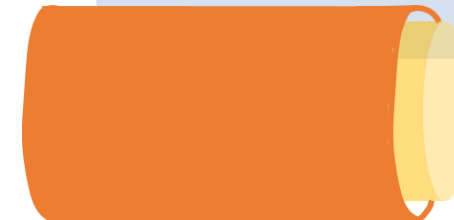
$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r G$$

$$G = A_c/d$$

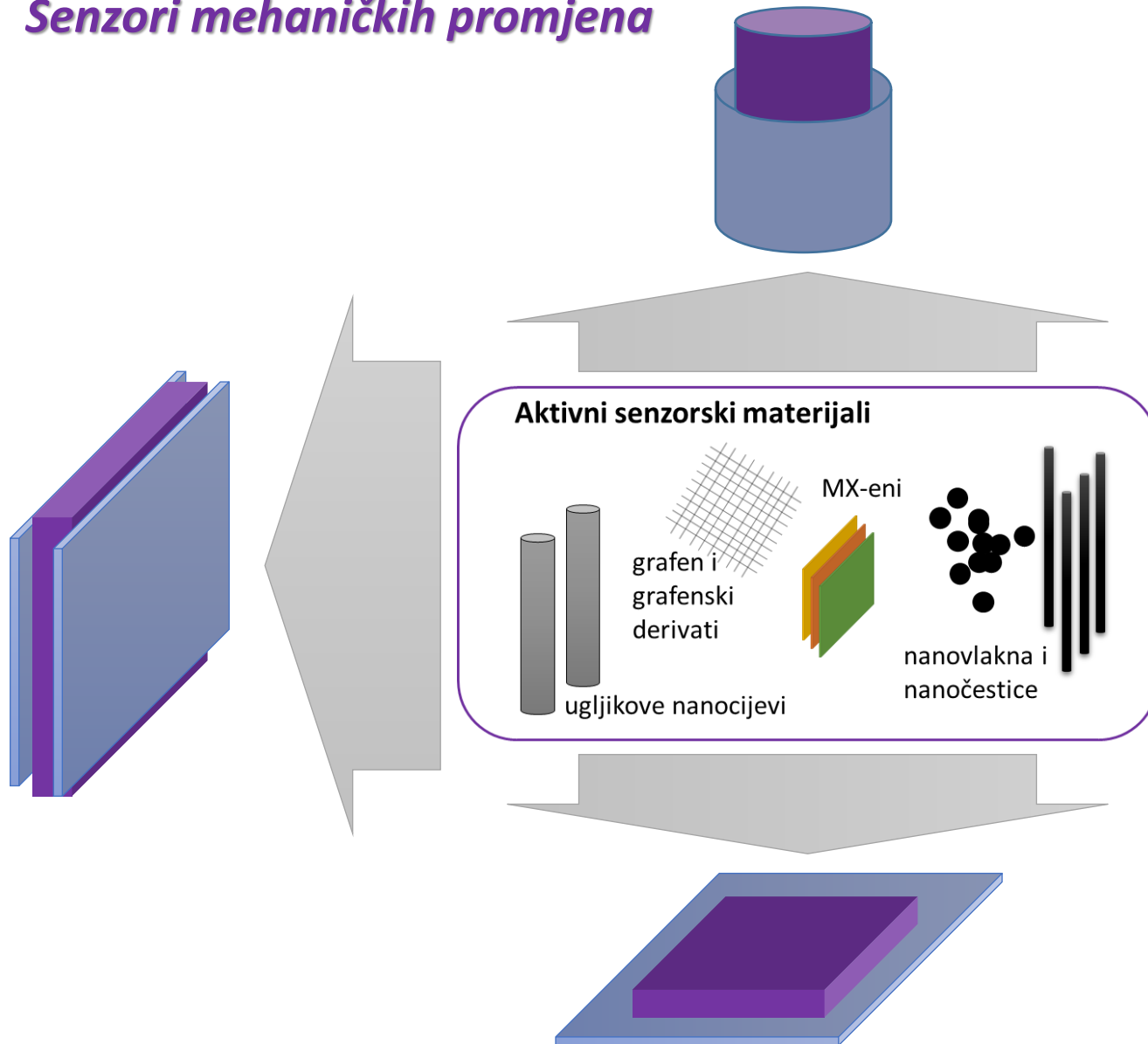
## KATEGORIZACIJA

### Optički senzori

- u obliku valjkaste jezgre oko koje je obložen omotač (engl. *core-cladding structure*)
- rastezljivo vlakno unutar omotača sa svjetlosnim odašiljačem i fotosenzorom
- promjena transmisije deformacijom vlakna



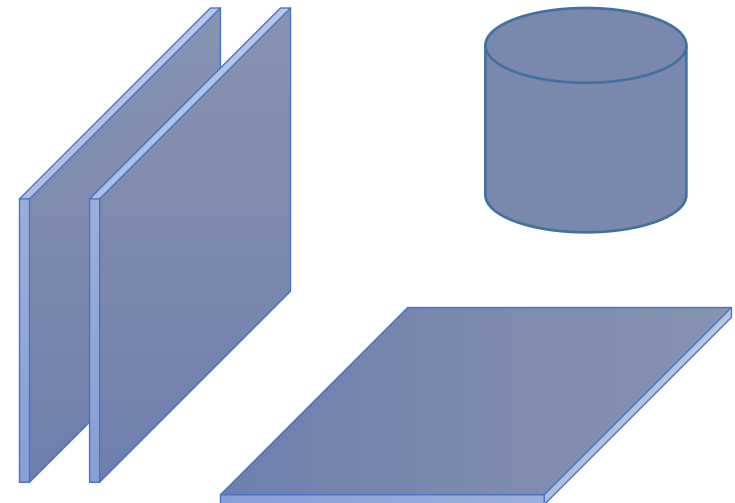
## Senzori mehaničkih promjena



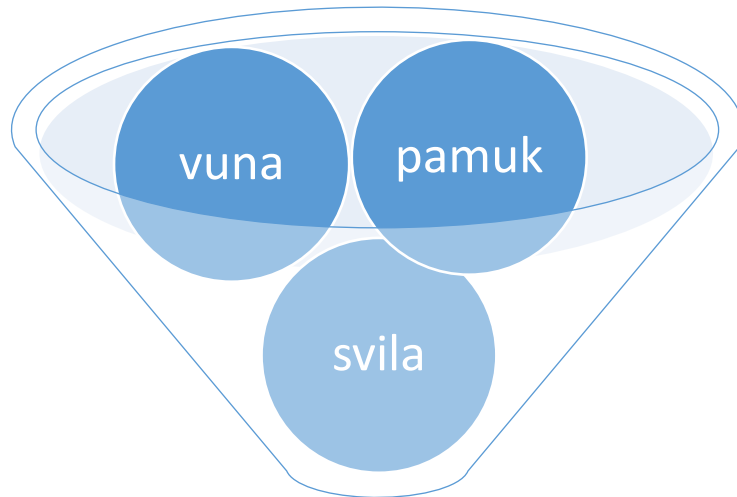
## DIZAJN I MATERIJALI

### Potporni materijali

- otpornost i neosjetljivost
- fleksibilnost
- mehanokemijski kontakt



## Senzori mehaničkih promjena



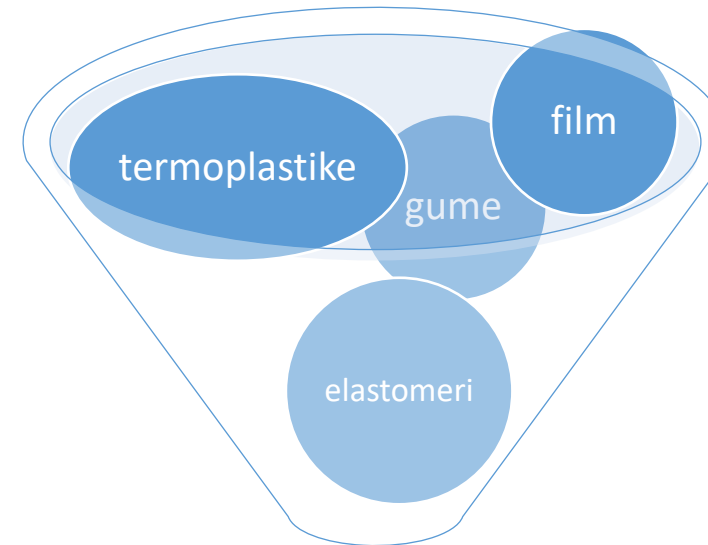
PRIRODNI MATERIJALI

KARBONIZACIJA

PRIMJENA  
ULTRAZVUČNIH  
TEHNIKA

PREMAZIVANJE  
TKANINE  
URANJANJEM ILI  
PRESVLAČENJEM

## PROIZVODNI POSTUPCI



SINTETIČKI MATERIJALI

DEPOZICIJA  
KEMIJSKIH  
PARA

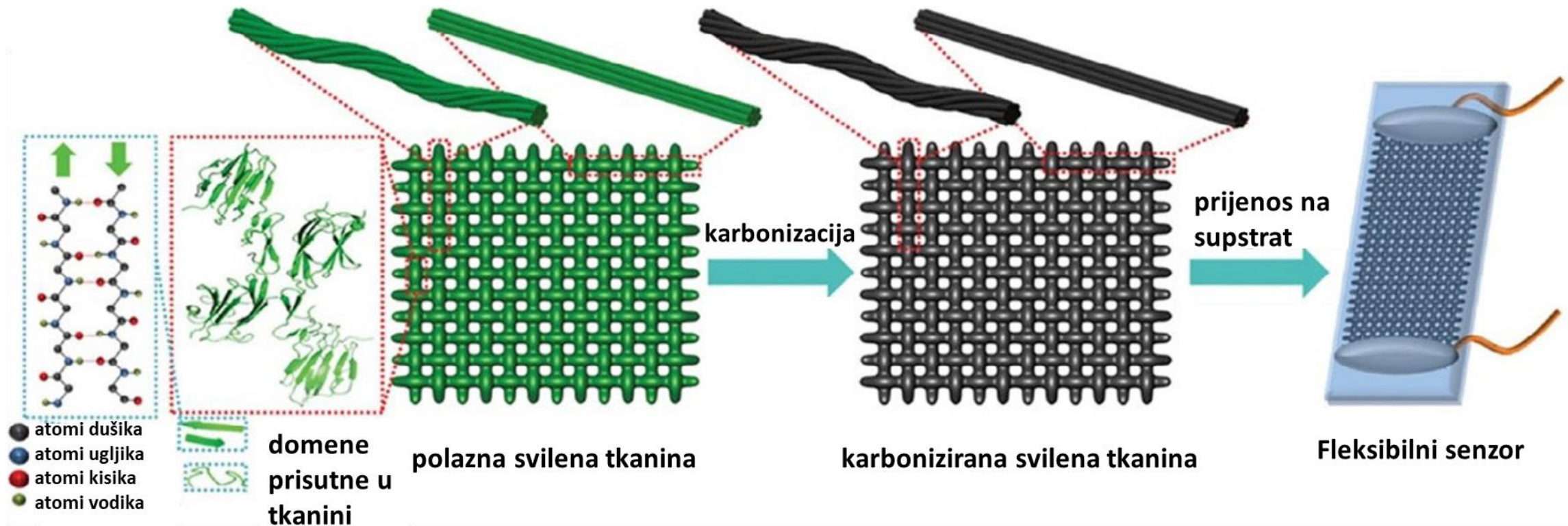
3D PRINTANJE

*electrospinning*  
METODA

## Senzori mehaničkih promjena

- senzori na bazi prirodnih materijala

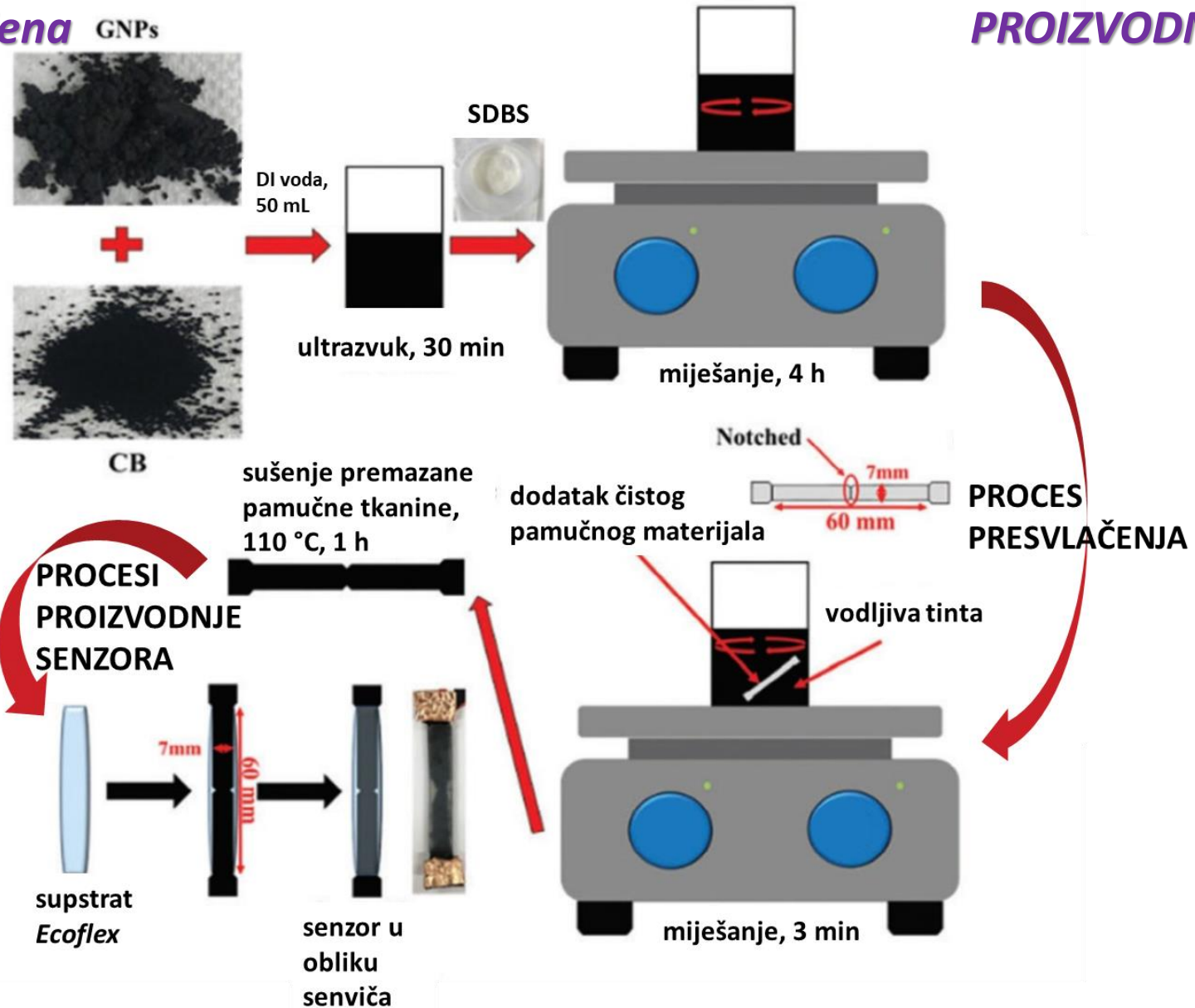
## PROIZVODNI POSTUPCI karbonizacija





## Senzori mehaničkih promjena

- senzori na bazi prirodnih materijala



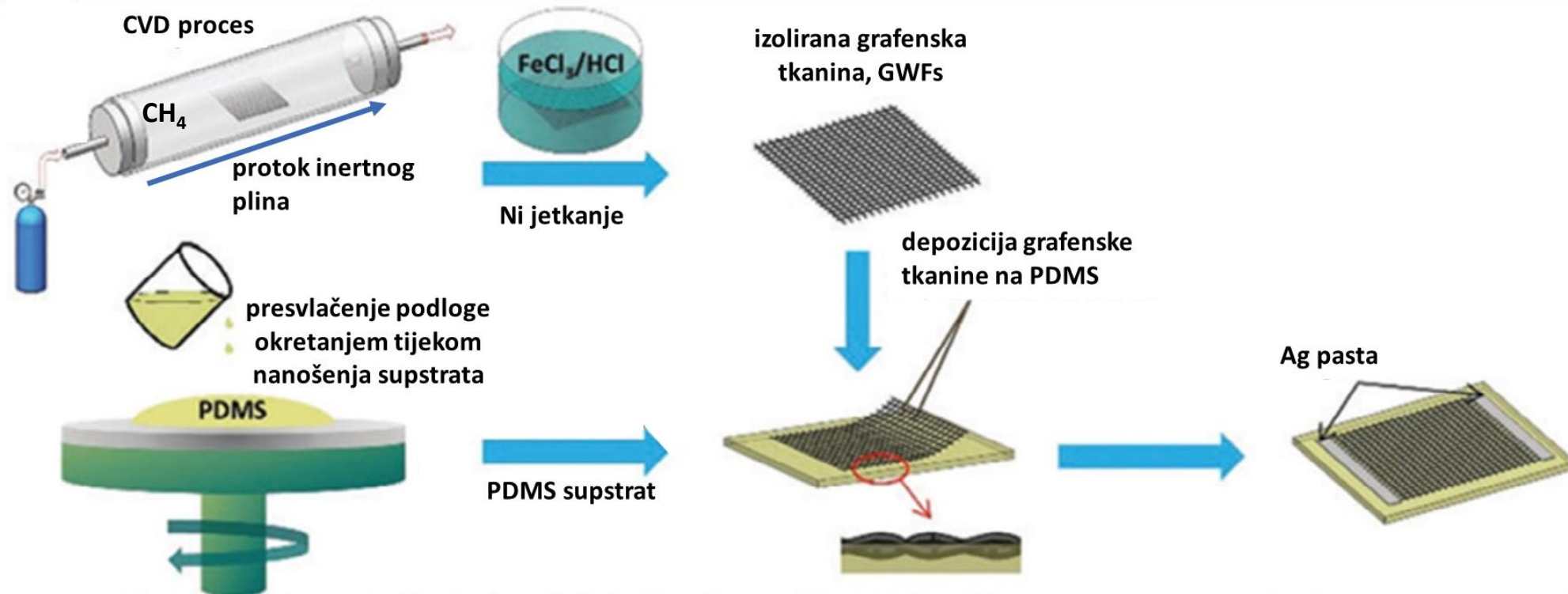
## PROIZVODNI POSTUPCI dip-coating

## Senzori mehaničkih promjena

- senzori na bazi polimera

## PROIZVODNI POSTUPCI

CVD, spin-coating



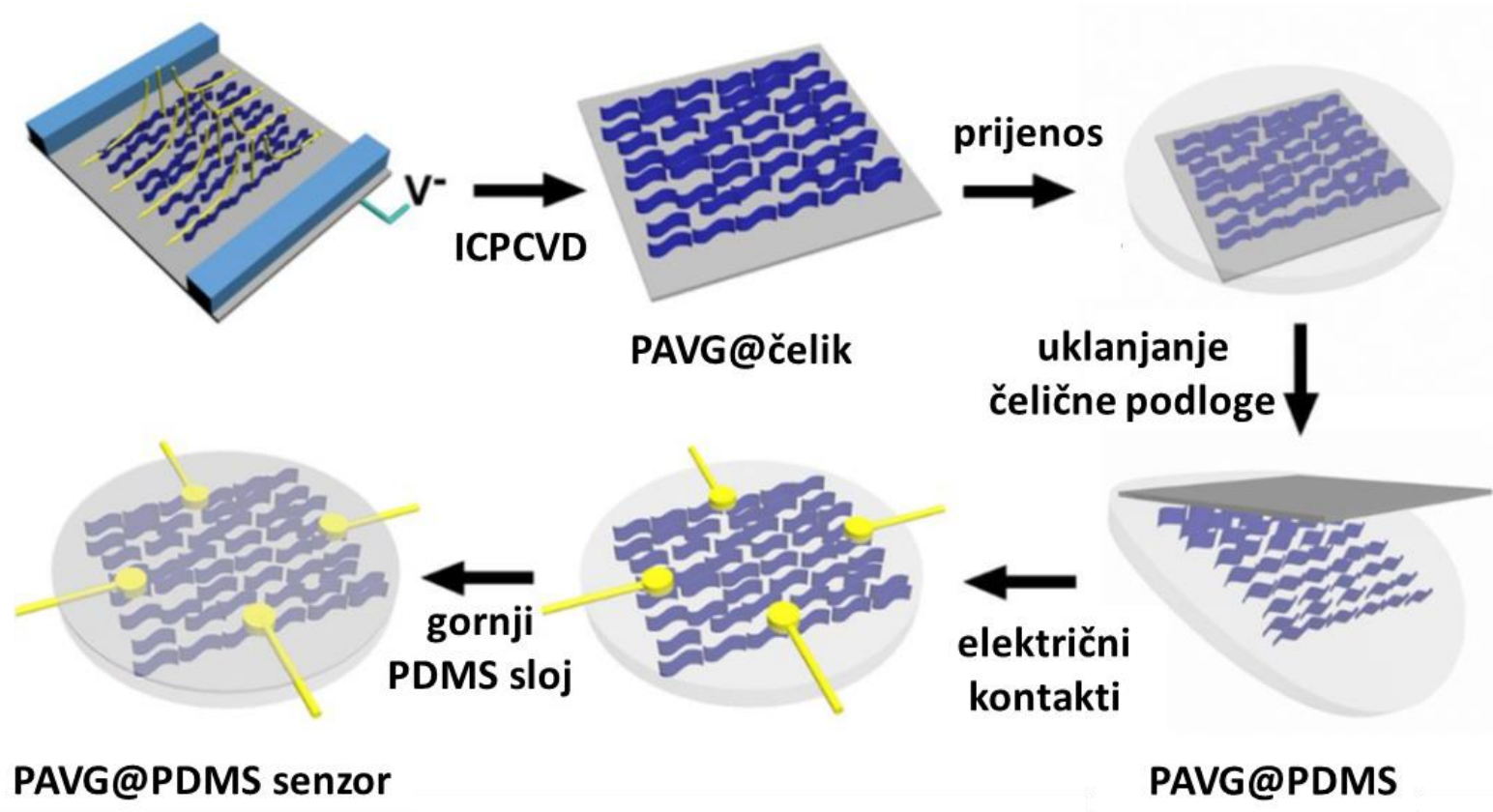


## Senzori mehaničkih promjena

- senzori na bazi polimera

## PROIZVODNI POSTUPCI

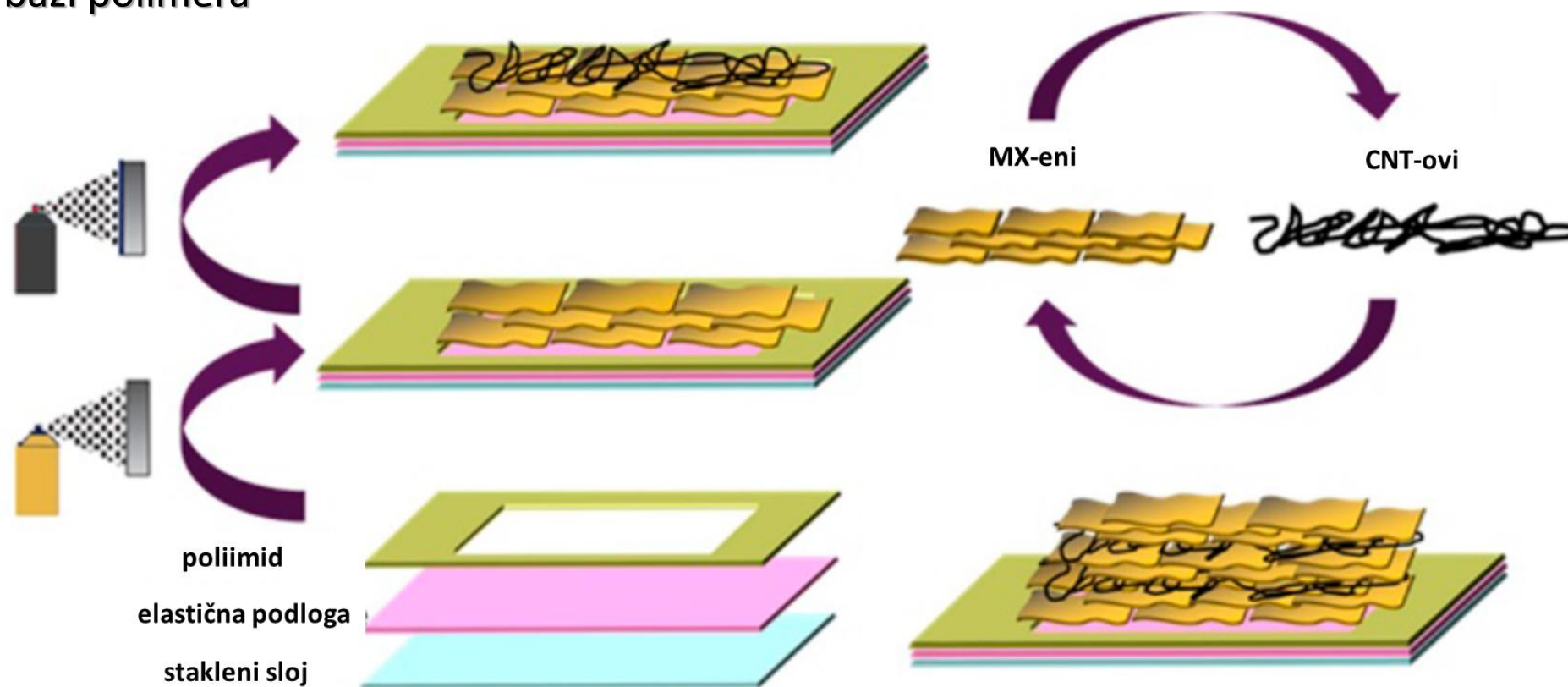
### ICPCVD



## Senzori mehaničkih promjena

- senzori na bazi polimera

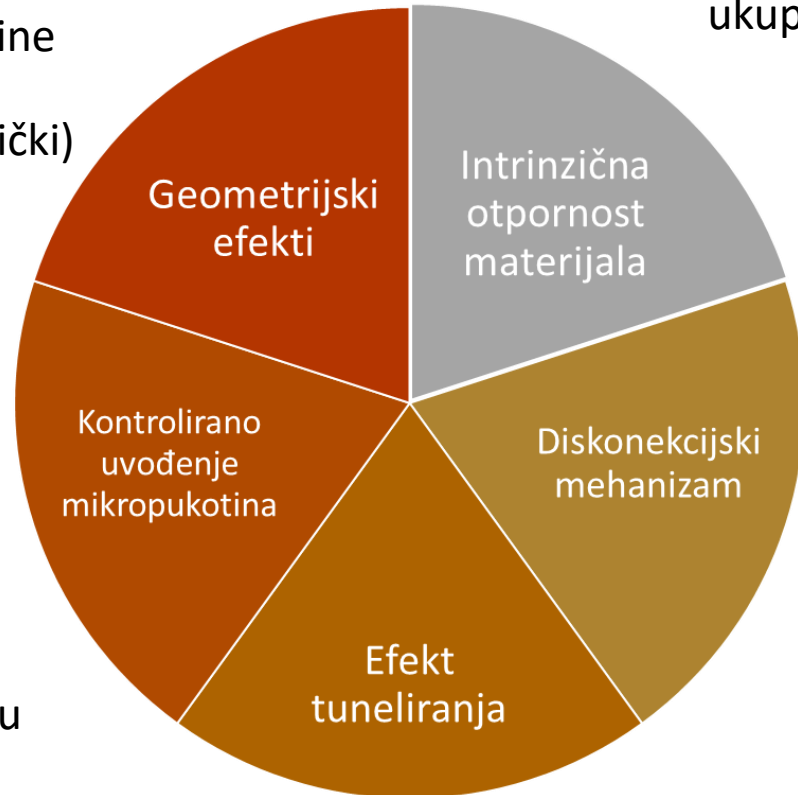
## PROIZVODNI POSTUPCI presvlačenje sprejanjem



## Senzori mehaničkih promjena

– promjena veličine pri razvlačenju (kapacitivni i optički)

– velika osjetljivost; značajno ograničenje električnih vodljivih puteva u filmova

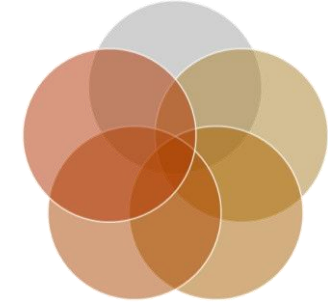


– susjedno nanomaterijali, elektroni prolaze kroz energijsku barijeru

– najčešći, ali malen doprinos ukupnoj performansi

– odvajanje mikro-/nanomaterijala ili kompozita, klizanje **ASM** na podlozi

## MEHANIZMI RADA



- svaki mehanizam doprinosi u određenom postotku ukupnoj performansi senzora
- vrsta i udio doprinosa senzorskim svojstvima ovise o:
  - vrsti senzorskog materijala,
  - proizvodnom procesu
  - interakciji aktivnog senzorskog elementa s potpornim materijalom

## Senzori mehaničkih promjena

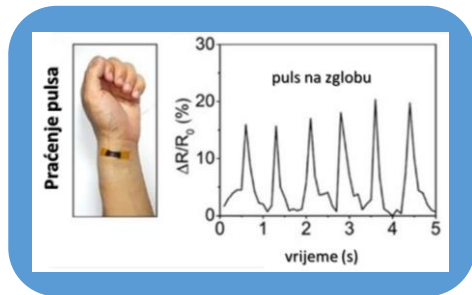
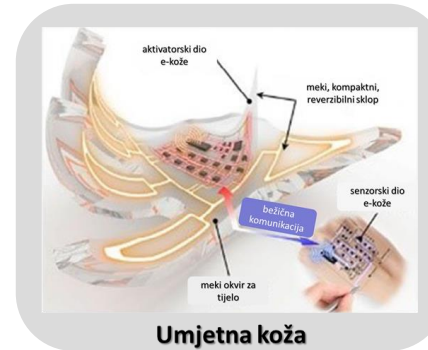
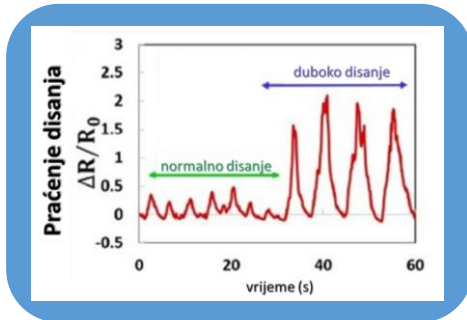
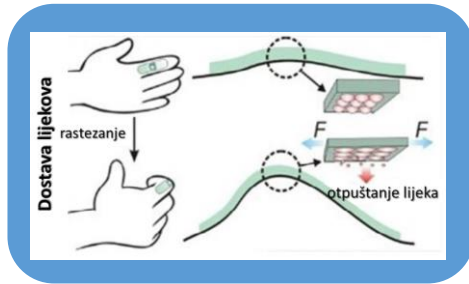
- **Rastezljivost** = maksimalna deformacija koju senzor može podnijeti, a da pritom zadrži svoj fizički integritet i stabilnost odgovora
- **Osjetljivost** = omjer relativne promjene izlaznog signala i primijenjene deformacije, kvantificira se mjernim faktorom GF (engl. gauge factor)
- **Linearnost** = kvantificira se koeficijentom determinacije,  $R^2$  koji se dobiva linearnom regresijom
- **Vrijeme odziva** = potrebno vrijeme da senzor dosegne stanje spremnosti odgovora
- **Izdržljivost** = stabilan odgovor i očuvan mehanički integritet tijekom dugotrajnih cikličkih opterećenja senzora, pri određenom naprežanju (%)

## KARAKTERISTIČNI PARAMETRI





# NAPREDNE TEHNOLOGIJE



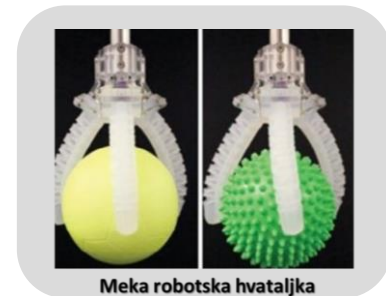
Zdravstveni sustavi i biomedicina

Meka robotika i neuromehanika

FLEKSIBILNI SENZORI

Praćenje sportskih performansi

Digitalne igre i VR



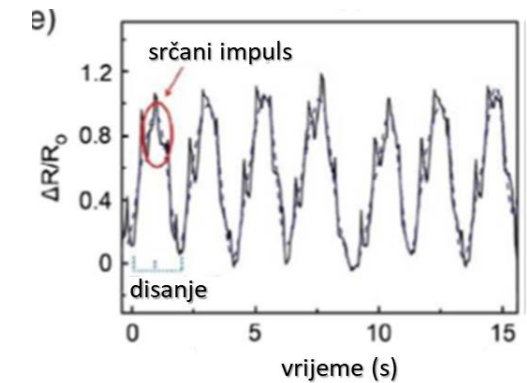
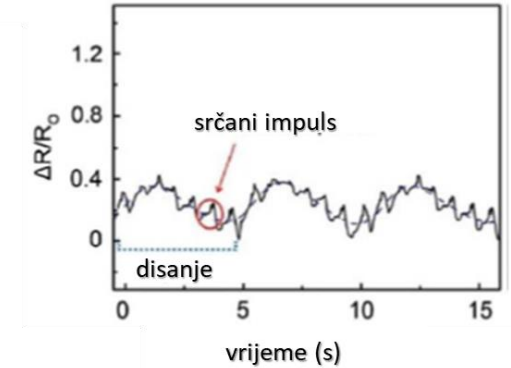
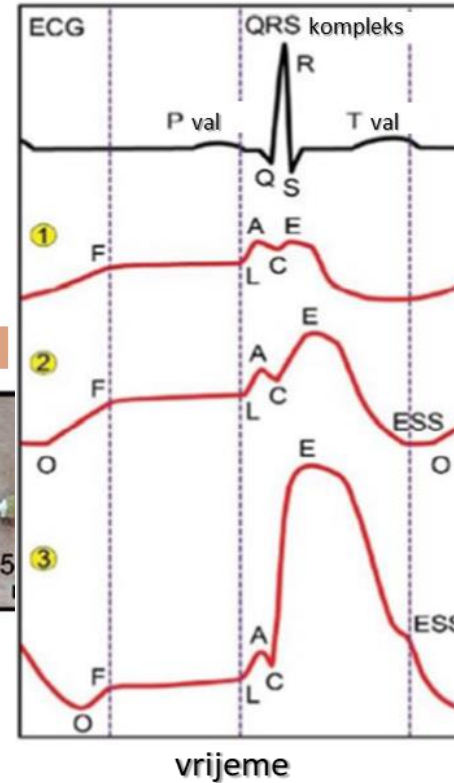
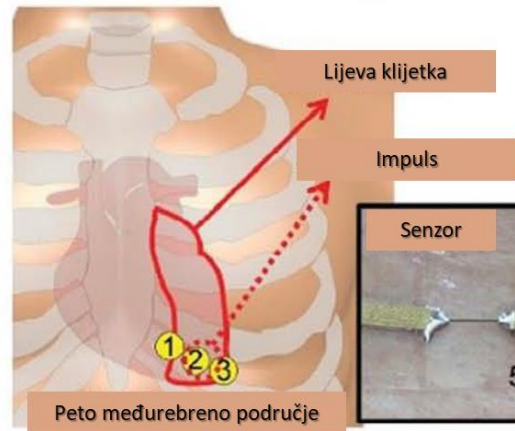
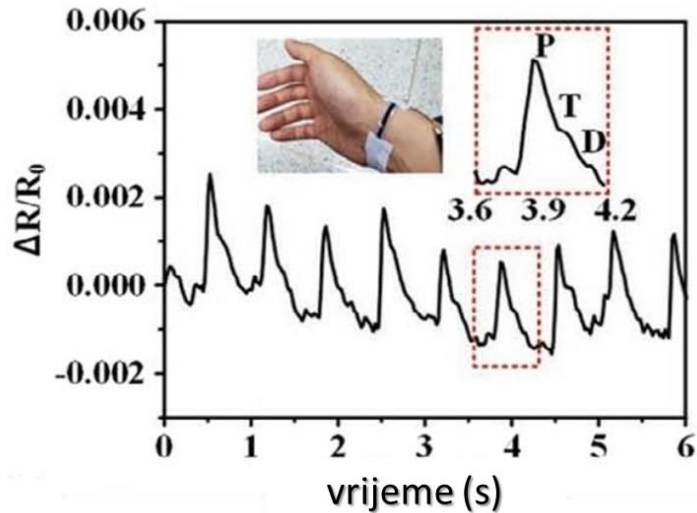
## Zdravstveni sustavi i biomedicinska istraživanja

- kontinuirana detekcija različitih pokreta i gibanja tijela
- izrazito osjetljivi senzori

### Praćenje trenutnih promjena volumena i tlaka srca

#### Praćenje pulsa

- senzor može identificirati i značajke pulsa

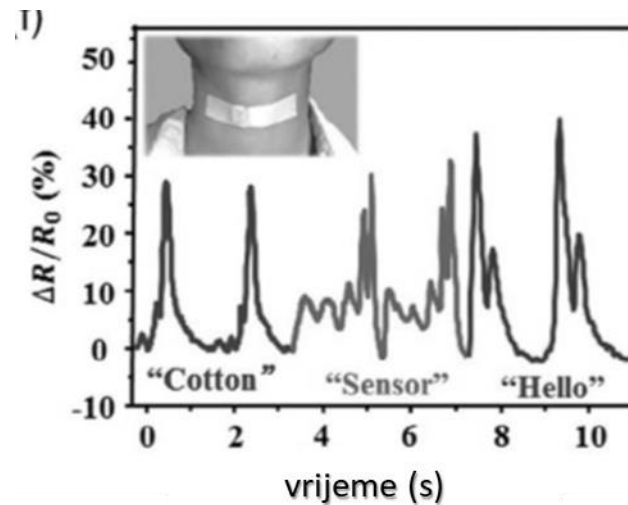




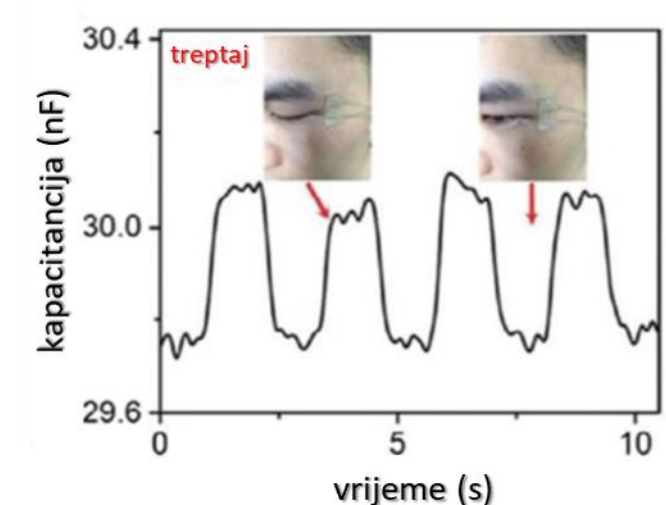
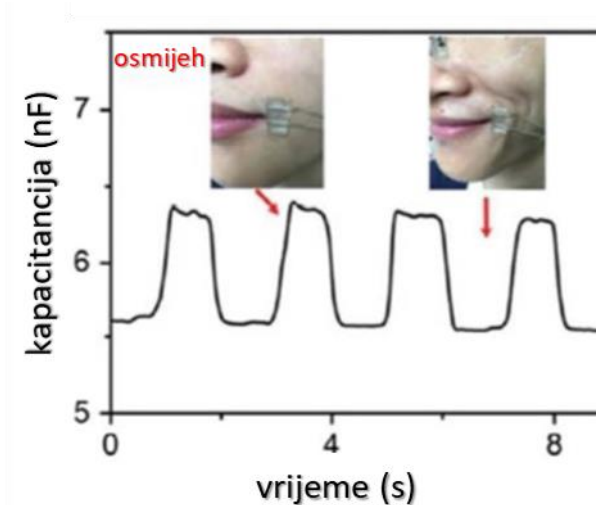
## Zdravstveni sustavi i biomedicinska istraživanja

- kontinuirana detekcija različitih pokreta i gibanja tijela
- izrazito osjetljivi senzori

### Fonetsko prepoznavanje



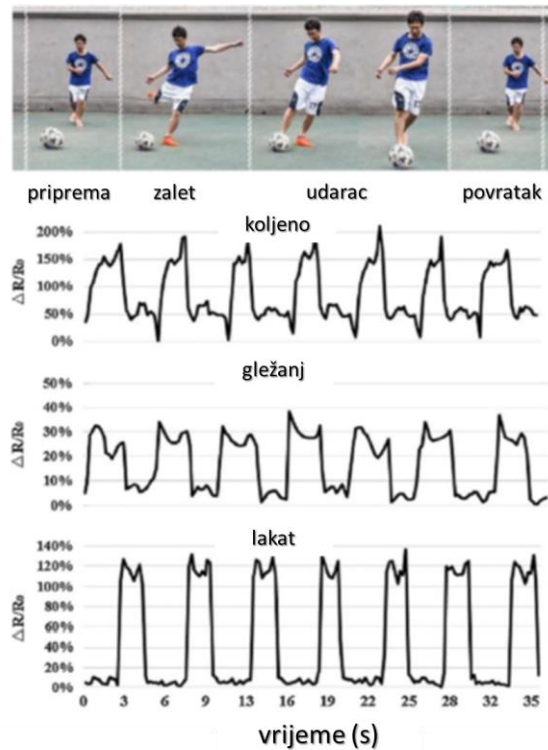
### Identifikacija facijalnih i emocionalnih izraza



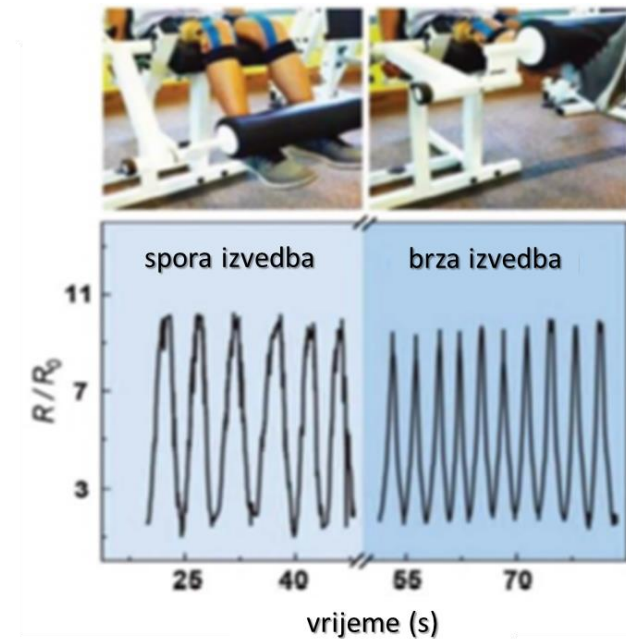
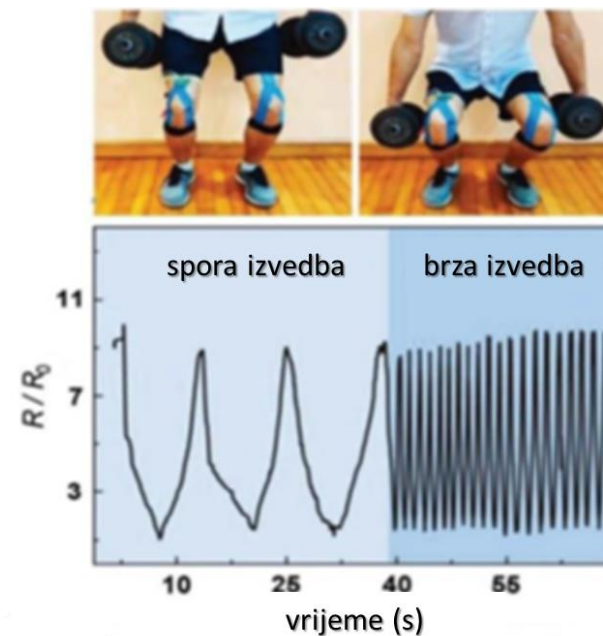
## Praćenje sportskih performansi

- biomehanički i fiziološki parametri sportaša
- mogućnost sprežanja senzora

### Praćenje pokreta nogometaša



### Praćenje pokreta u izvedbi čučnjeva i podizanja nogu



## Digitalne igre i virtualna stvarnost

- interakcija ljudskog tijela i uređaja

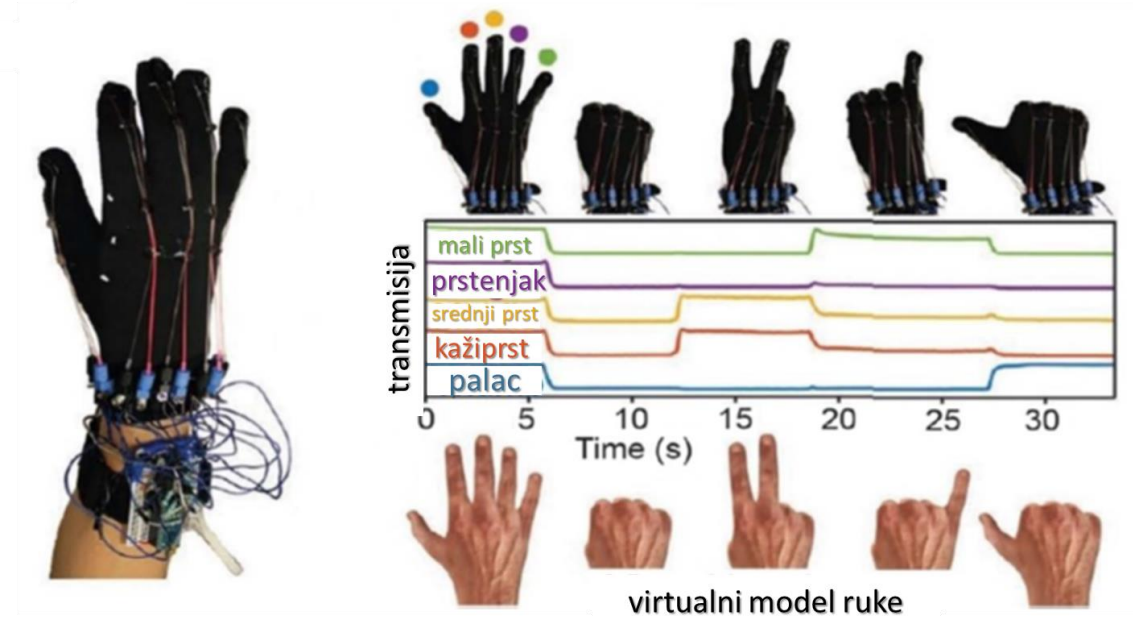
### Interaktivno igranje

- senzori umjesto komandi u igranju
- promjena otpora u senzoru njegovim savijanjem



### Kontroliranje virtualnog 3D modela ruke

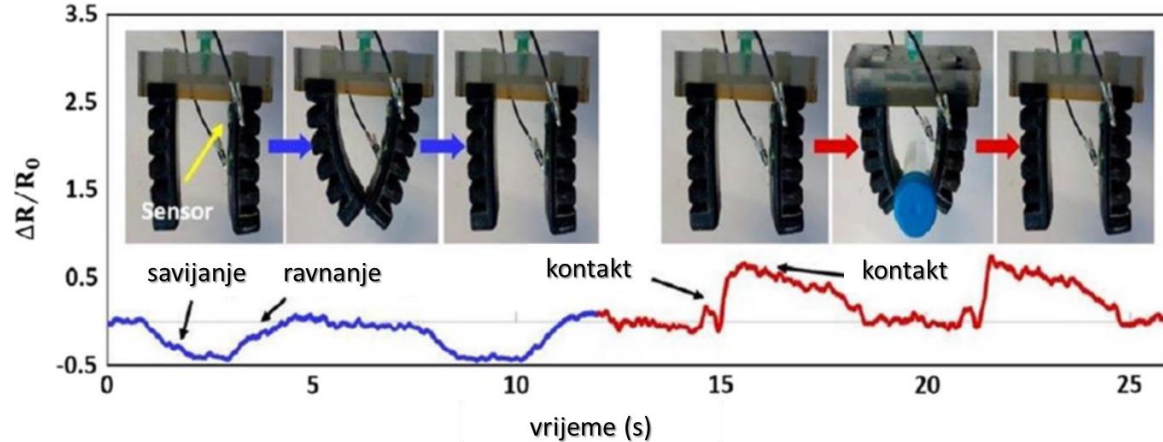
- integrirani sustav čini pametnu rukavicu



## Meka robotika i neuromehanika

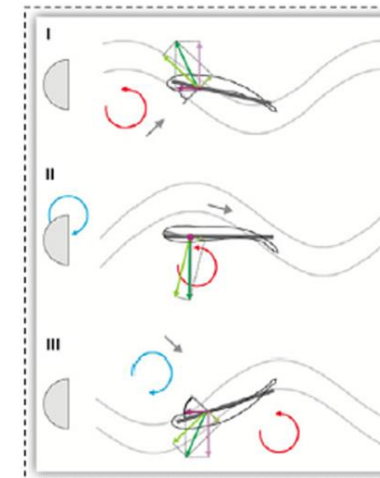
- moguće interakcije s nestrukturiranim okruženjem
- meki robotički modeli koji imitiraju sustave pokreta prisutne u prirodi
- komparativno istraživanje biomehanike

### Praćenje aktivnosti mekane robotike - senzor s mikropukotinama



### Senzorsko praćenje bio-inspiriranih robota

vijugavi pokreti u ribama i plivajućim robotima



meki fizički robot inspiriran oblikom ribe

### *Tehnološki napredak rastezljivih senzora*

- ? proizvodni postupci fleksibilnih materijala
- ? strukturno inženjerstvo

### *Parametri u dizajnu i izvedbi senzora mehaničkih promjena*

- ? poboljšanje osjetljivosti, rastezljivosti
- ?  $\neq$ /linearan odgovor
- ? optimalno vrijeme odziva i oporavka

### *Primjena mehaničkih senzora*

- ? ekonomski i socijalni doprinos – kućni treninzi
- ? doprinos zdravstvu – pametni kirurški instrumenti
- ? razvoj novih disciplina – veterinarska senzorska njega

UVOD

FLEKSIBILNI MATERIJALI

NAPREDNE TEHNOLOGIJE

AKTUALNA PITANJA

FLEKSIBILNI  
MATERIJALI

KAPACITIVNI  
SENZORI

OPTIČKI SENZORI

FLEKSIBILNI  
SENZORI

SENZORI OTPORA

BIOMEDICINSKO  
INŽENJERSTVO

**Hvala na pažnji**

KARBONIZACIJA

BIOMEHANIKA

LINEARNOST

ZDRAVSTVO

IGRE I VIRTUALNA  
STVARNOST

SPORT

OSJETLJIVOST

MEKA ROBOTIKA I  
NEUROMEHANIKA