

Uspostavni istraživački projekt

Molekularno krojenje istezljivih i zacjeljivih
vodljivih polimera za nosivu elektroniku

Molecular Tailoring of **Stretchable** and **Healable**
Conductive **Polymers** for Wearable Electronics

SHaPes

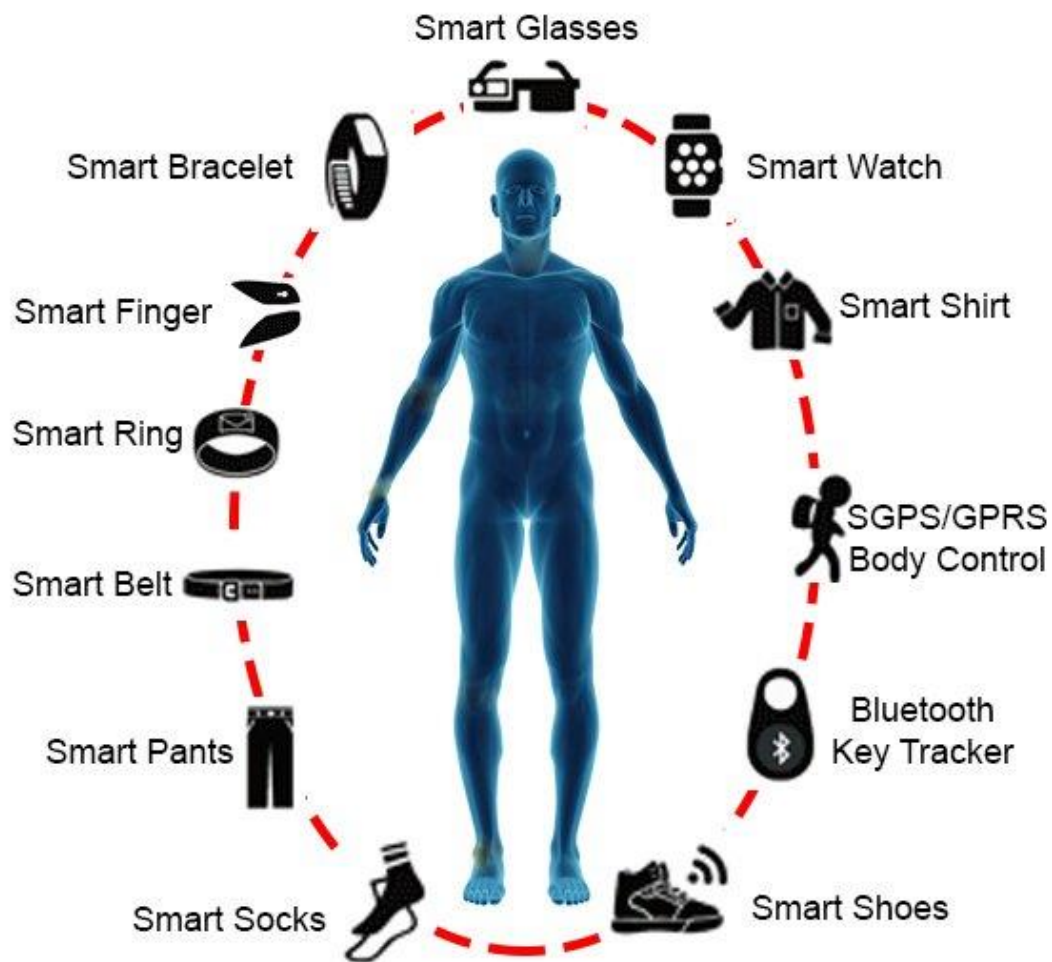


UIP-2019-04-8304

1. 2. 2020. – 31. 1. 2025.

AMACIZ kolokvij, 14. 7. 2021.

NOSIVA ELEKTRONIKA



Primjena u
rekreativne i
sportske svrhe

E-KOŽA (*E-SKIM*)

- istezljiva, fleksibilna elektronika koja može oponašati svojstva ljudske kože, mogućnost kretanja zajedno s ljudskim tijelom
- nosivost zbog male veličine elektroničkih komponenti
- potencijalna primjena u protetici, umjetnoj inteligenciji, sustavima za robotiku, biosenzorima za praćenje osobnog zdravlja
- interaktivni sustav koji istovremeno može osjetiti signale iz tijela i reagirati na okoliš
- (mehanički) fleksibilna, dobra mehanička stabilnost zbog naprezanja i deformacija koja mogu nastati tijekom kretanja kože
- ljudska koža je i samozacjeljujuća → ideja o samozacjeljujućim materijalima u području organske elektronike

E-KOŽA (E-SKIN)



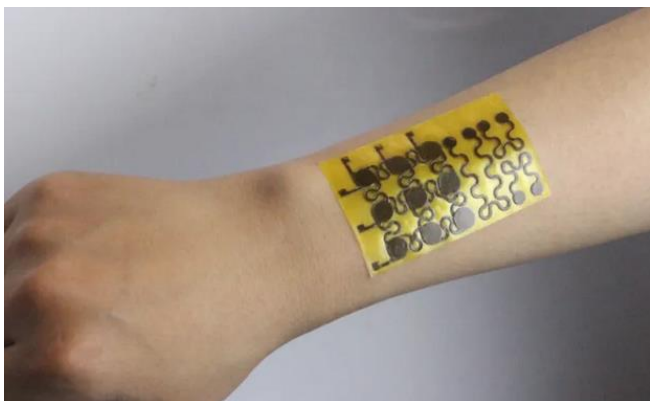
<https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/sweat-powered-biofuel-cell-wearables/>



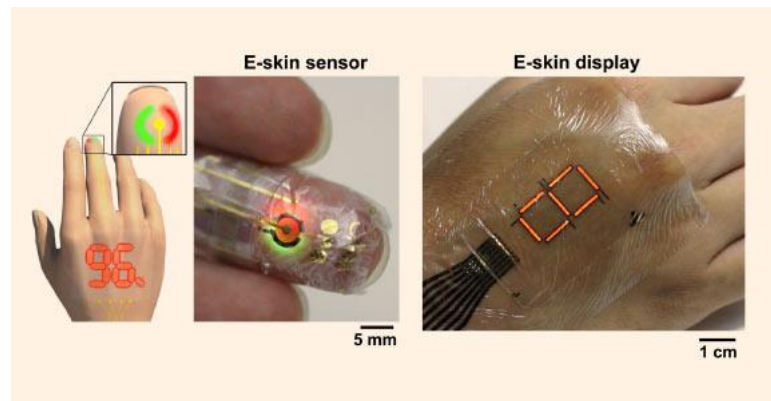
<https://www.scientificamerican.com/article/the-inside-story-on-wearable-electronics/>



<https://www.delltechnologies.com/en-us/perspectives/flexible-sensors-are-redefining-wearables/>



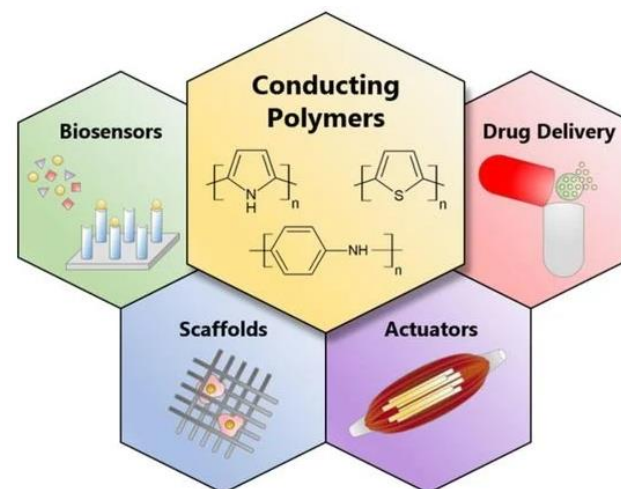
<https://www.theverge.com/2018/2/9/16994944/electronic-skin-recyclable-environment-self-heal>



<http://www.sci-news.com/technologies/ultraflexible-e-skin-03791.html>

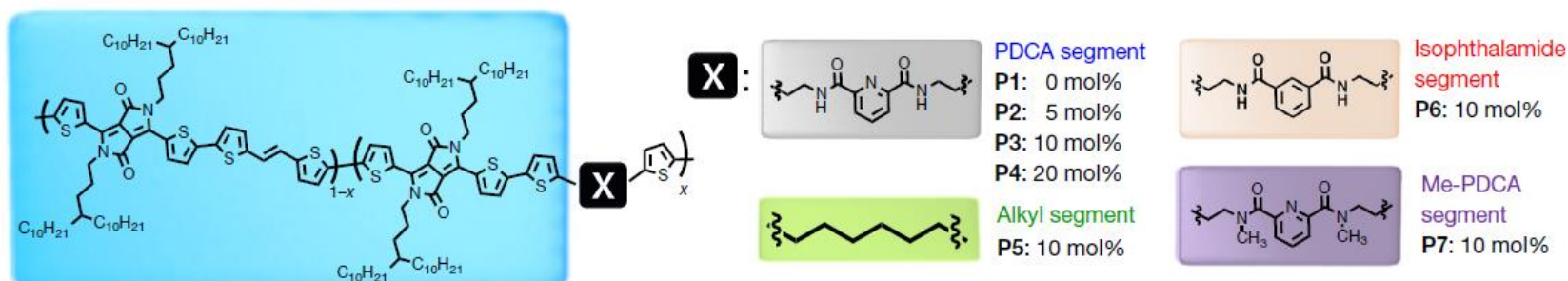
E-KOŽA (*E-SKIM*)

- nosač istežljive elektronike mora biti istežljiv poput elastomera
- ugradnja vodljive komponente (uglikove nanocijevi, grafen, metalni oksidi) u elastomerni materijal
- ograničenje → nakon nekoliko ciklusa istežanja vodljivost se smanjuje
- vodljivi polimeri (*conductive polymers, CP*) idealan su materijal zbog svoje električne provodnosti i stabilnosti
- nedostatak → nisu istežljivi



ISTEZLJIVI VODLJIVI POLIMERI

- povećanje istezljivosti – uvođenje kemijskih skupina kako bi se potaklo dinamičko nekovalentno umrežavanje vodikovim vezama
- 1. pristup – ugradnja fleksibilnih polimernih segmenata unutar glavnog lanca vodljivog polimera (2,6-piridin dikarboksamid (PDCA) korišten za uvođenje vodikovih veza u tiofenski konjugirani polimerni lanac)

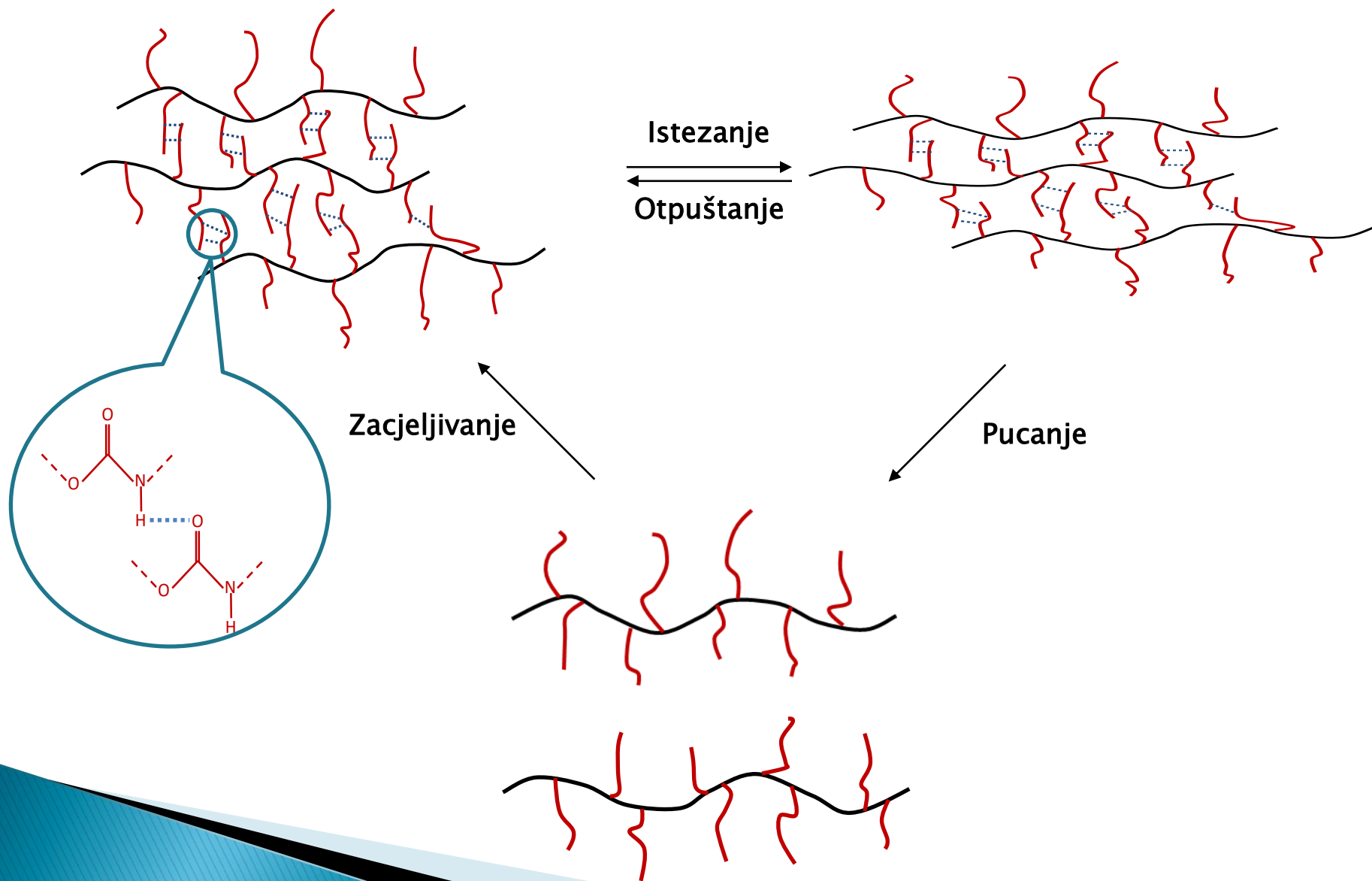


- nedostatak – prekidanje konjugiranih veza može negativno utjecati na električna svojstva vodljivih polimera

ISTEZLJIVI VODLJIVI POLIMERI

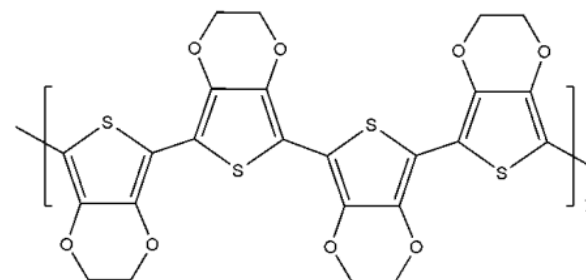
- 2. pristup umrežavanja
- glavni polimerni lanac u potpunosti konjugiran
- bočni lanci sadrže vodikove veze koje omogućuju nekovalentno umrežavanje vodljivih polimera i daju fleksibilnost glavnom lancu
- vodikove veze imaju sposobnosti samozacjeljivanja
- nakon prestanka naprezanja, veze se mogu obnoviti kako bi se vratila početna mehanička svojstva i samozacjeljivanje

ISTEZLJIVI VODLJIVI POLIMERI



PROJEKTI PRIJEDLOG

- **SHaPes** – zasniva se na razvoju intrinzično istezljivog i samozacjeljivog materijala
- molekularni dizajn konjugiranih polimera na osnovi cijepljenog (graft) polimera koji se sastoje od poli(3,4-etilendioksitiofen) (PEDOT) vodljivog polimera kao glavnog polimernog lanca i različitih bočnih lanaca
- Prvi put da se PEDOT koristi u istraživanju istezljivih vodljivih polimera
- predstavnik tiofenskih vodljivih polimera
- polimerizacija EDOT monomera
- visoka stabilnost
- mala širina zabranjene zone



PROJEKTNI PRIJEDLOG – CILJEVI

CILJ 1

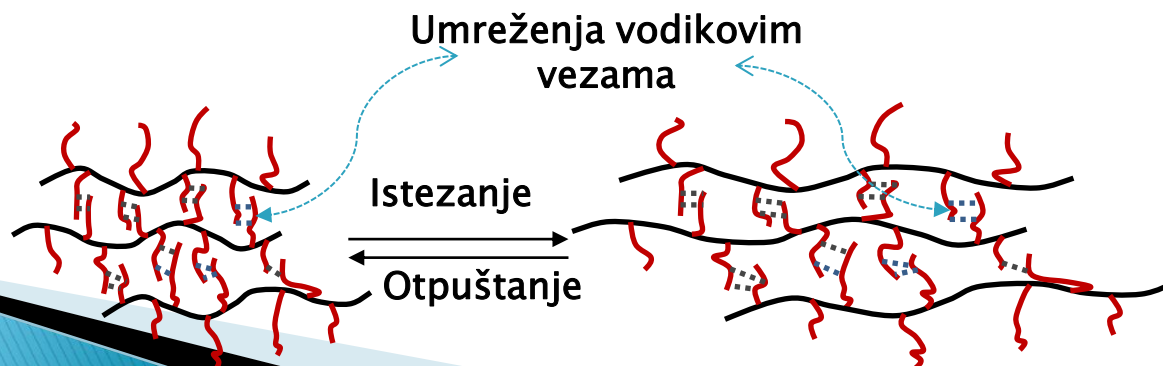
sintetizirati intrinzično istezljive i zacjeljive vodljive polimere pomoću radikalske polimerizacije uz prijenos atoma (ATRP)

Glavni lanac:

- poli(3,4-etilendioksitiofen) (PEDOT)

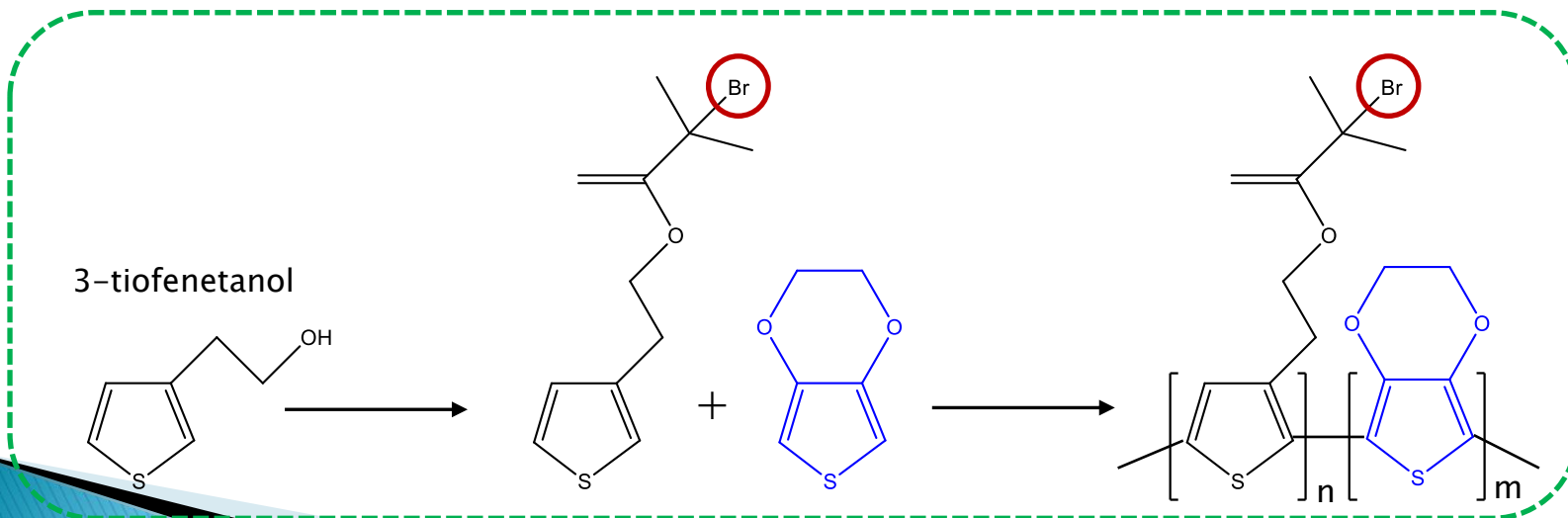
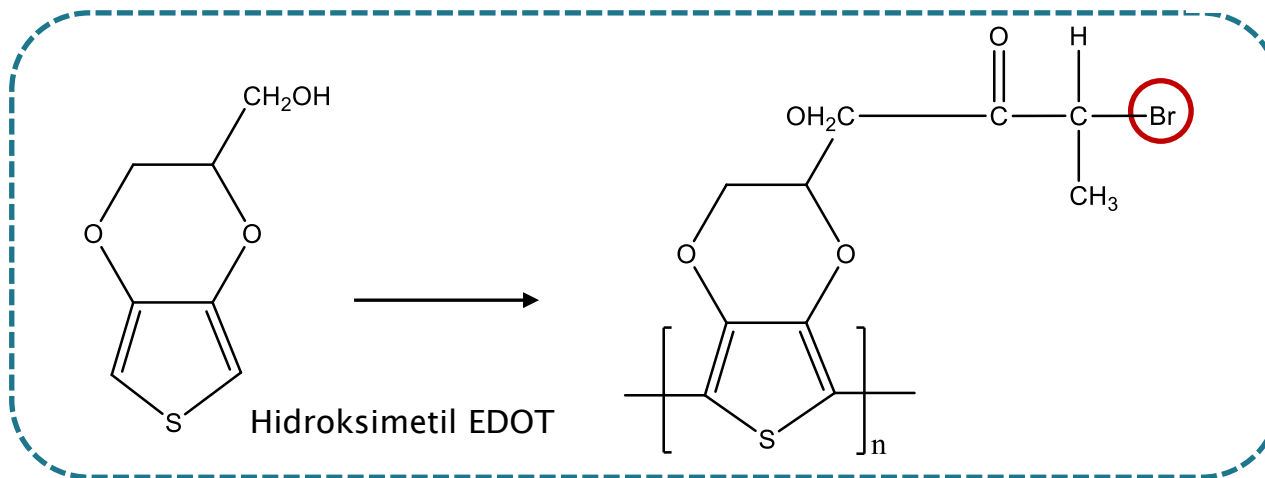
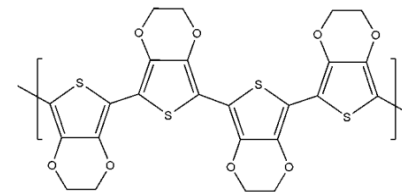
Bočni lanci:

- poli(akril-uretan) (PAU) → PEDOT-*g*-PAU
- polietilen glikol (PEG) → PEDOT-*g*-PEG
- polikaprolakton (PCL) → PEDOT-*g*-PCL

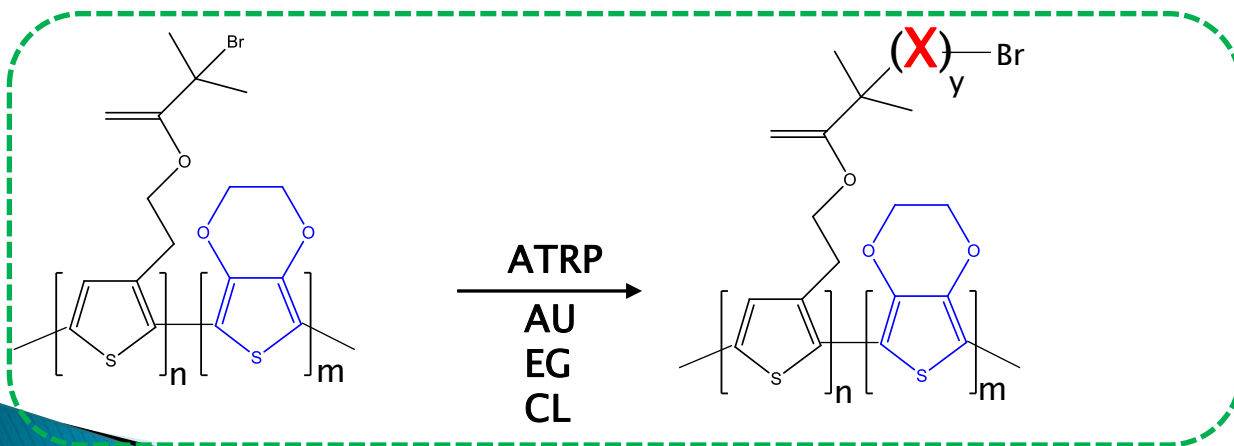
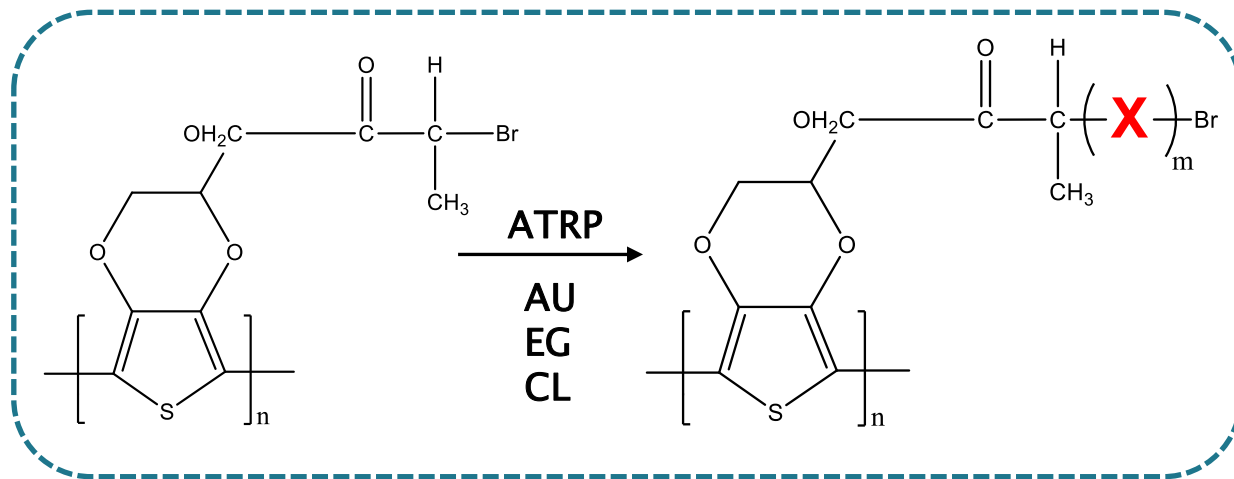


Radikalna polimerizacija uz prijenos atoma (ATRP)

ATRP makroinicijator

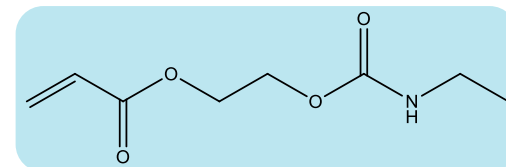


Radikalaska polimerizacija uz prijenos atoma (ATRP)

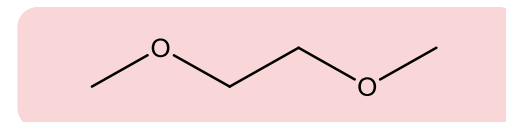


PEDOT-*g*-PAU
 PEDOT-*g*-PEG
 PEDOT-*g*-PCL

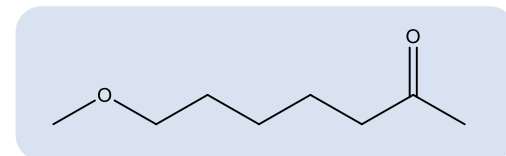
X:



PAU



PEG



PCL

Različita vremena
polimerizacije

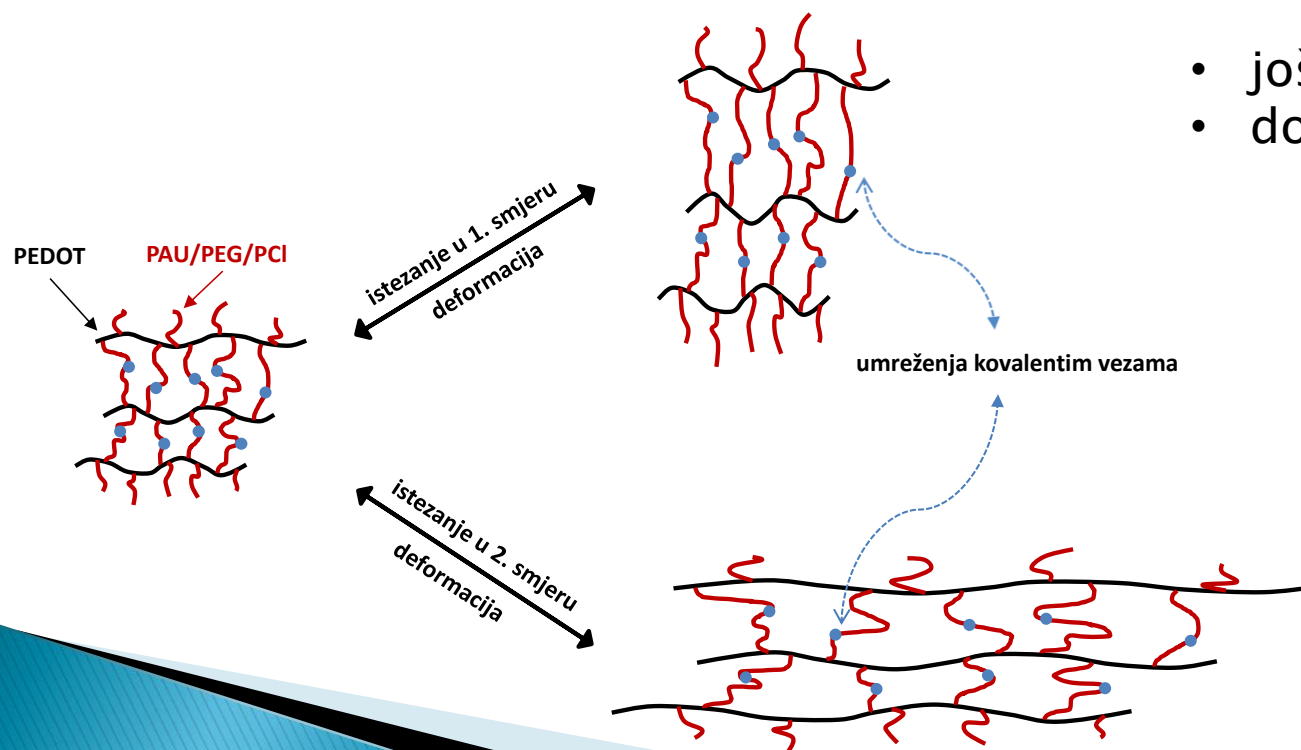
↓
različita duljina bočnih
grana

PROJEKTNI PRIJEDLOG – CILJEVI

CILJ 2

pripremiti kovalentno umreženi intrinzično istežljivi graft polimer UV umrežavanjem X-PEDOT-g-PAU, X-PEDOT-g-PEG i X-PEDOT-g-PCI

- ugradnja UV reaktivnih skupina u bočne lance (fotoinicijatori)



- još veće istežanje
- do sad nije postignuto

PROJEKTNI PRIJEDLOG – CILJEVI

CILJ 3

analizirati i karakterizirati sintetizirane PEDOT graft polimere za uspostavljanje odnosa struktura–svojstva određivanjem strukture, morfologije i elektrokemijskih svojstava

- ^1H NMR, FTIR – uspješnost sinteze
- GPC – prosječna molekulske masa i indeks polidisperznosti
- TGA, DSC – toplinska svojstva dobivenih graft polimera
- SEM, AFM – morfologija površine
- Mehanička kidalica – mehanička svojstva: Youngov modul i istežanje
- Elektrokemijska svojstva – električna provodnost, u neistegnutom i istegnutom stanju
- Učinak dopiranja na provodnost – dopiranje različitim oksidansima
- Zacjeljivanje – pritiskanje polimernih traka, promatranje spoja SEM, kvalitativna analiza

PROJEKTNI PRIJEDLOG – CILJEVI

CILJ 4

inkjet ispisati sintetizirane PEDOT graft polimere na elastične podloge (polidimetilsiloksan (PDMS) i poliuretan (PU)) kako bi se proizveo materijal spreman za integraciju senzora



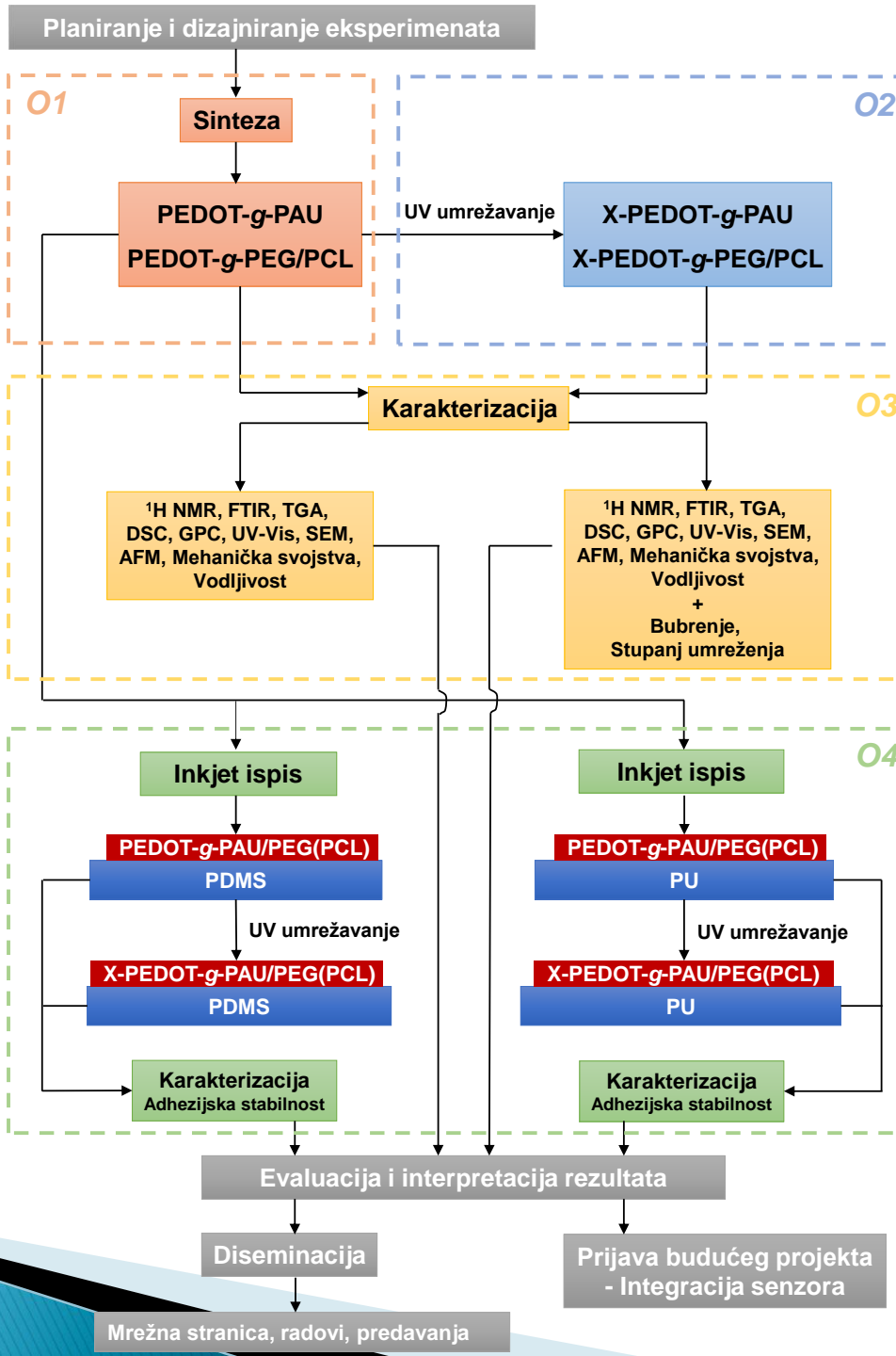
FujiFilm Dimatix DMP-2850

PROJEKTNI PRIJEDLOG – CILJEVI

CILJ 4

inkjet ispisati sintetizirane PEDOT graft polimere na elastične podloge (polidimetilsiloksan (PDMS) i poliuretan (PU)) kako bi se proizveo materijal spreman za integraciju senzora

- Priprema sintetiziranih graft polimera kao tinta – nanošenje na površinu supstrata ispisom, različita debljina
- Stabilnost i adhezija ispisanog sloja – test natapanja, ultrazvučni test (različita vremena)
- Stabilnost ispisanog sloja – SEM i optički mikroskop (ispitivanje degradacije ili delaminacija ispisanih polimera)
- Vodljivost i mehanička svojstva prilikom višestrukog istežanje
- Kovalentno umreženi uzorci – UV umrežavanje nakon ispisa na podloge



DISEMINACIJA

Recenzirane publikacije

- Do kraja projekta 10 radova u recenziranim časopisima Q1 / Q2 / Q3
- Ukupno 12 do 15

Prezentacije na konferencijama

- 4 domaće
- 8 međunarodnih

Javne prezentacije

- 1. prezentacija – predstavljanje glavne ideje, hipoteze i ciljeva
- 2. prezentacija – rezultati i postignuća, mogućnosti za buduća istraživanja i razvoj

Radionice

- 1. radionica – molekularni dizajn istezljivih i zacjeljivih materijala
- 2. radionica – inkjet ispis sintetiziranih materijala na podloge

Web stranica

<https://www.fkit.unizg.hr/SHaPes>

FINANCIRANJE

Ukupna vrijednost projekta: 1.969.600,00 kn

Troškovi materijala: 426.100,00 kn

Kemikalije za sintezu, otapala, laboratorijski plinovi, sitan laboratorijski pribor (stakleno posuđe, filteri, pipete itd.), potrošni predmeti kao što su TGA i DSC posudice, ispisne glave i spremnici za *inkjet* pisač, vanjske analize (¹H NMR)

Troškovi opreme: 459.500,00 kn

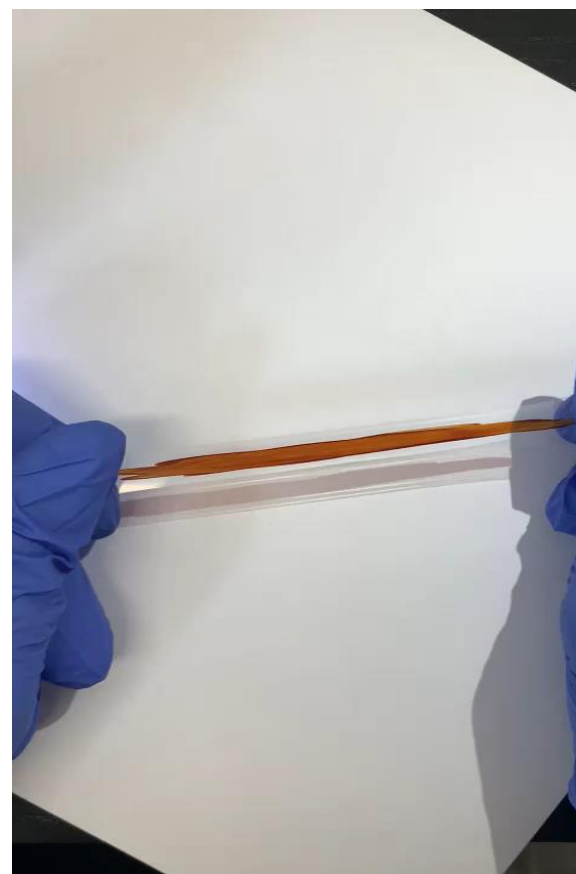
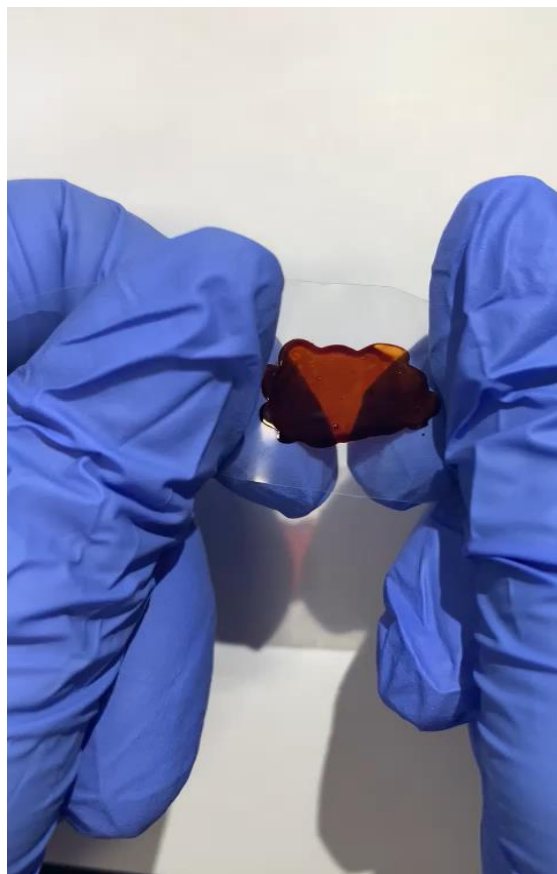
Inkjet pisač Fuji Dimatix DMP-2850 (536.000,00 kn – FKIT sufinanciranje 150.000,00 kn), reaktori, miješalice, servis opreme

Troškovi osoblja: 879.000,00 kn

Plaće doktoranda (48 mjeseci) i postdoktoranda (18 mjeseci)

Troškovi obuke, diseminacije i suradnje: 205.000,00 kn

Sudjelovanje članova projekta na znanstvenim konferencijama u Hrvatskoj i inozemstvu, troškovi objavljivanja članka *open access*, usavršavanje doktoranda u inozemstvu



$\varepsilon = \sim 500 \%$

ISTRAŽIVAČKA GRUPA



Dr. sc. Denis Sačer
postdoktorand



Roko Blažić
mag. ing. cheming.
istraživač



Marin Božičević
mag. ing. cheming.
doktorand



Lucija Fiket
mag. ing. cheming.
doktorand

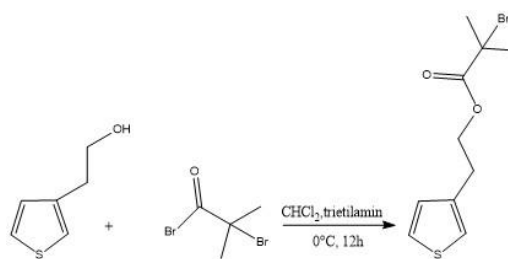


Patricia Žagar
bacc. cheming.
istraživač

Konzultanti

Prof. dr. sc. Jadranka Travaš–Sejdić
UoA, Auckland, Novi Zeland

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec
FKIT



HVALA NA PAŽNJI!

