

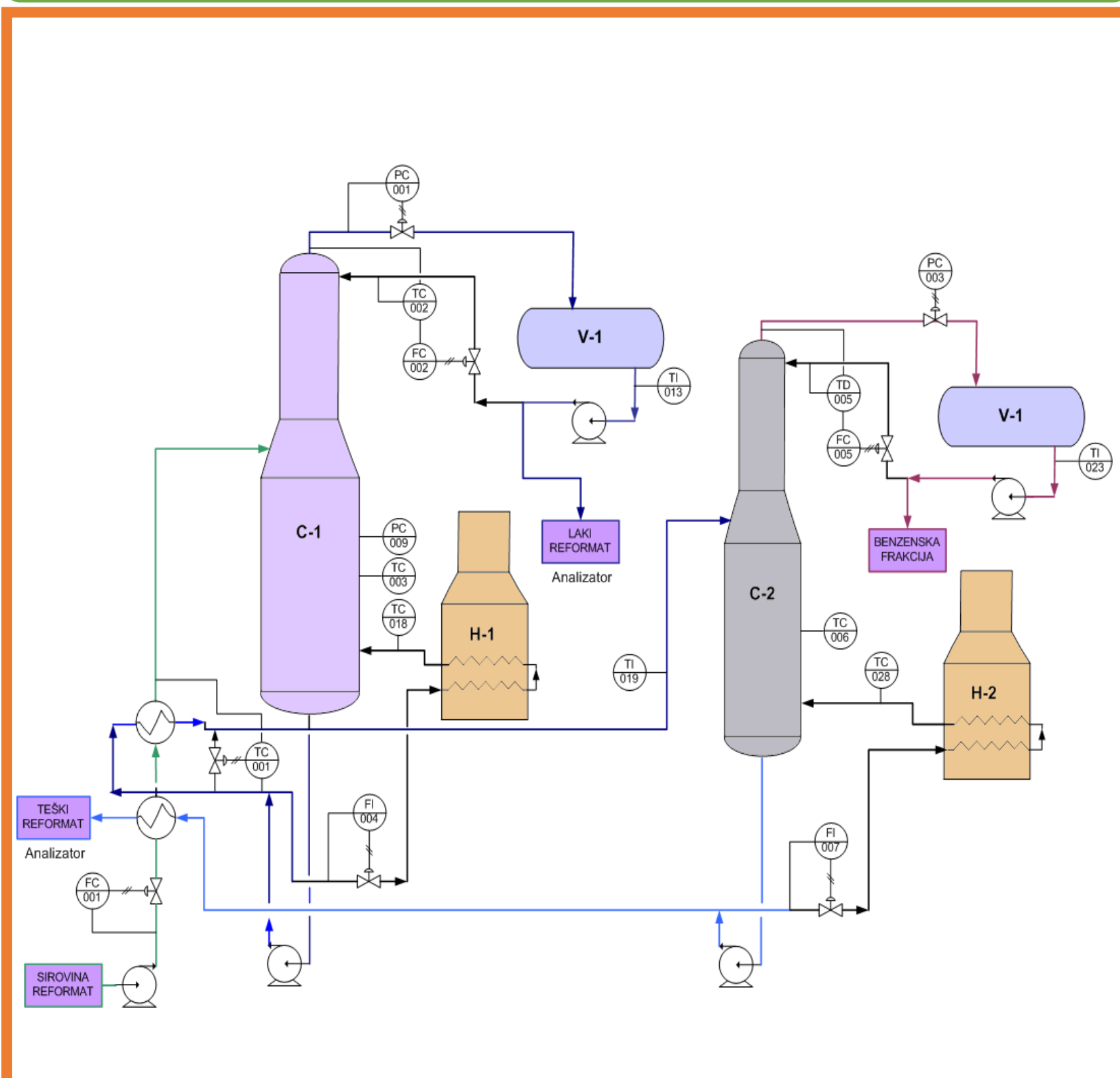
Željka Ujević Andrijić, Nikola Rimac, Ines Martić
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

RAZVOJ SOFTVERSKIH SENZORA PRIMJENOM METODA STROJNOG UČENJA

Sažetak

U procesu katalitičkog reforminga u rafinerijskim postrojenjima dosta je bitno kontinuirano mjerenje sadržaja benzena u produktu procesa katalitičkog reforminga zbog ekoloških i tehničkih zahtjeva. Vođenje ovog procesa ovisi o laboratorijskim analizama koje su dugotrajne, a troškovi primjene i održavanja *on-line* analizatora mogu biti iznimno visoki. Iz tih razloga u ovome radu je prikazan razvoj modela softverskih senzora za kontinuirano praćenje sadržaja benzena u rafinerijskom procesu frakcionacije reformata. U radu su razvijeni modeli softverskih senzora primjenom neuronskih mreža i metodom potpornih vektora.

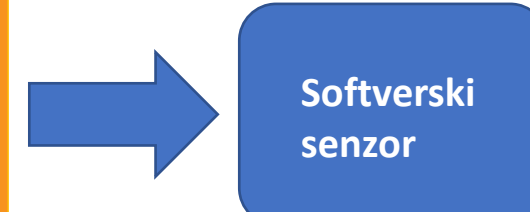
Postrojenje za frakcionaciju reformata



Ulazne i izlazne veličine modela softverskih senzora

Ulazne veličine

- Temperatura na vrhu kolone C1 (TC002)
- Temperatura dna kolone C1 (TC001)
- Temperatura na sredini C1 kolone (TC003)
- Tlak na sredini C1 (PC009)
- Refluks iz V-1 (FC002)
- Protok ulaznog reformata u C-1 (FC001)
- Temperatura izlaza iz V-1 (TI013)
- Protok lakog reformata (FC003)

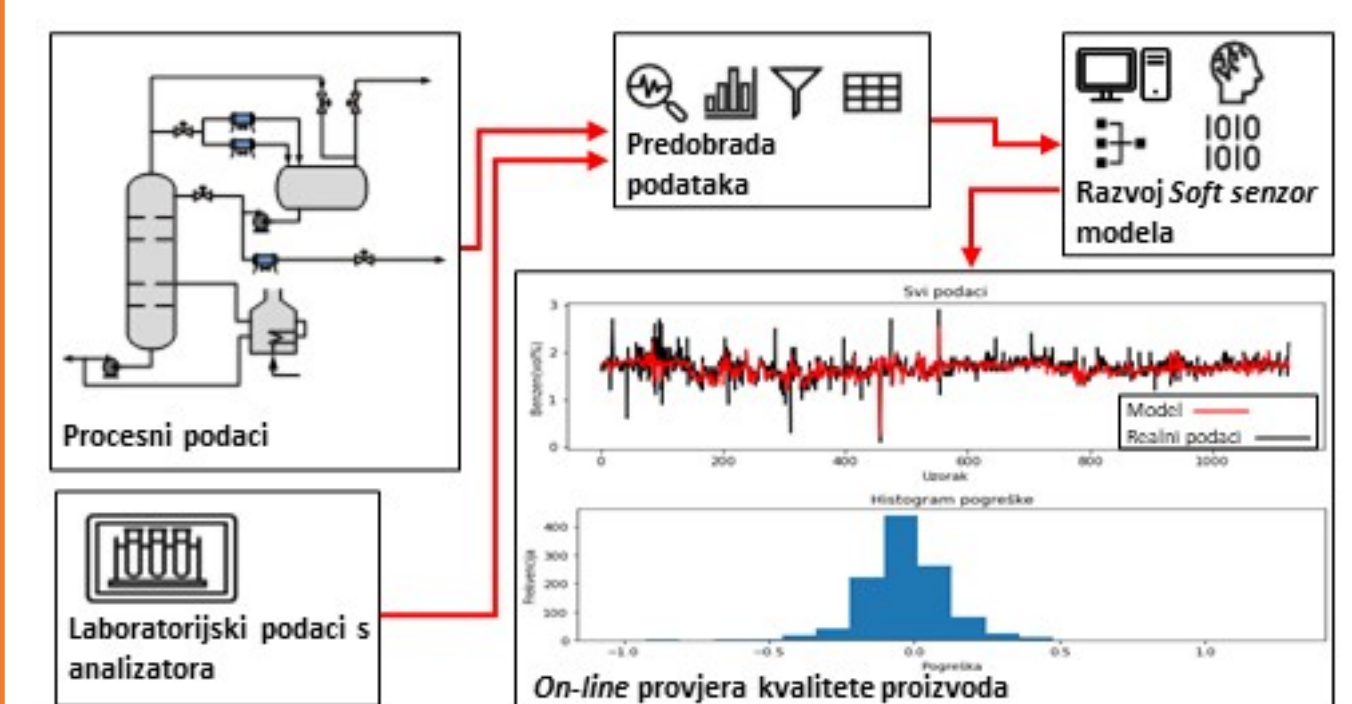


Izlazna veličina

- Sadržaj benzena (vol%) u lakom reformatu

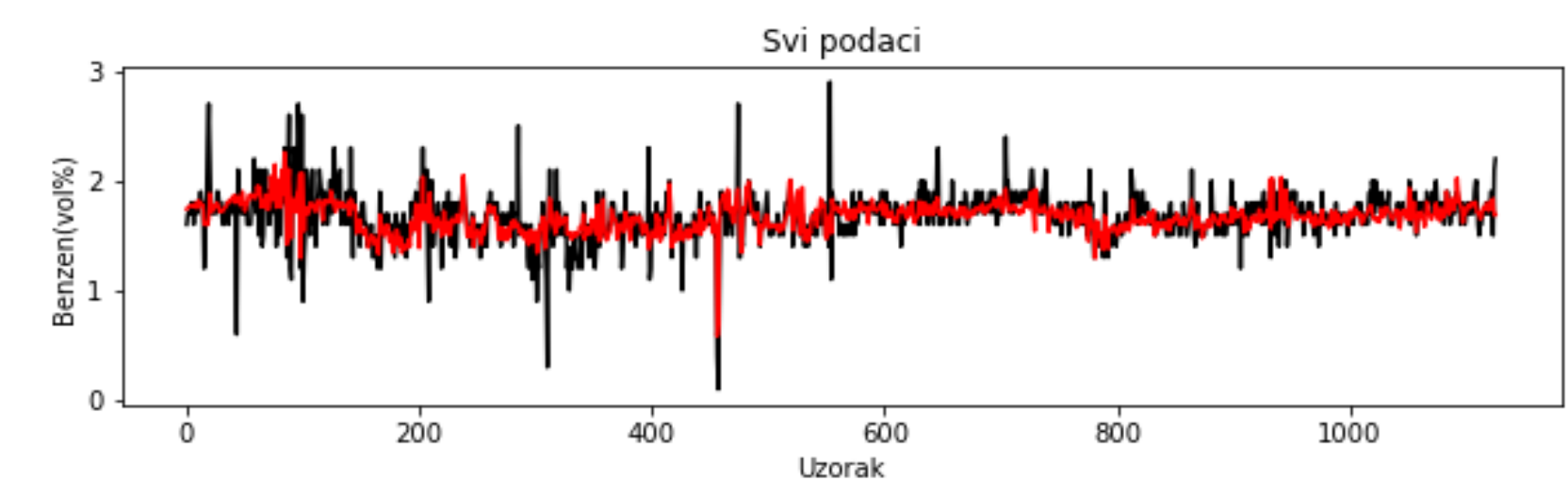
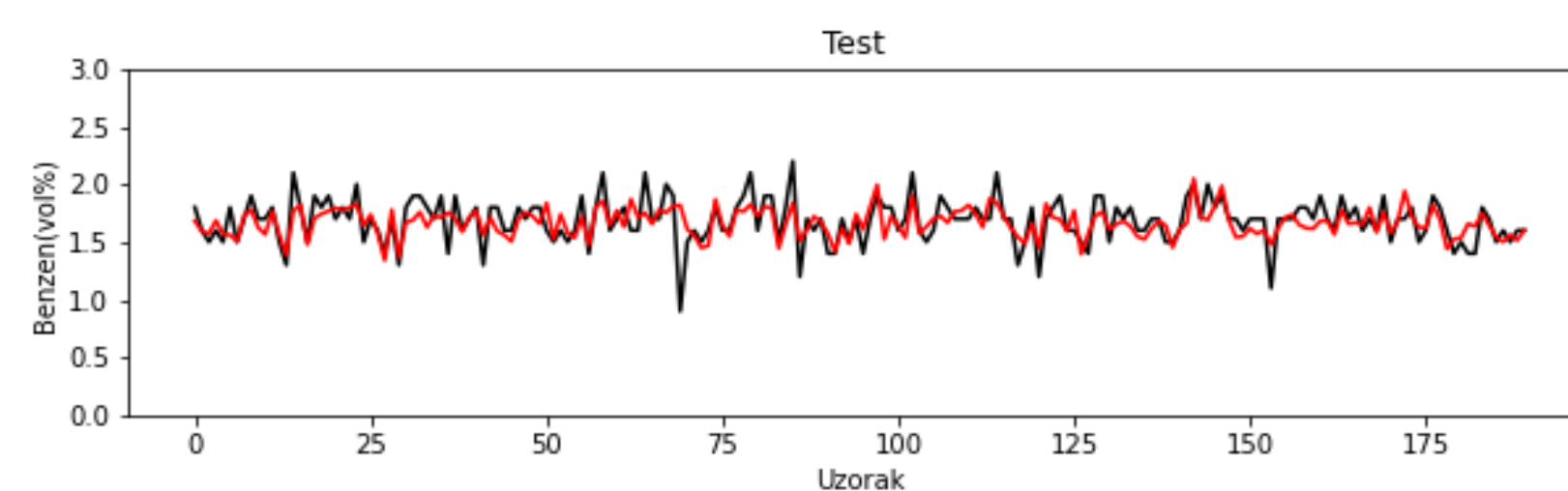
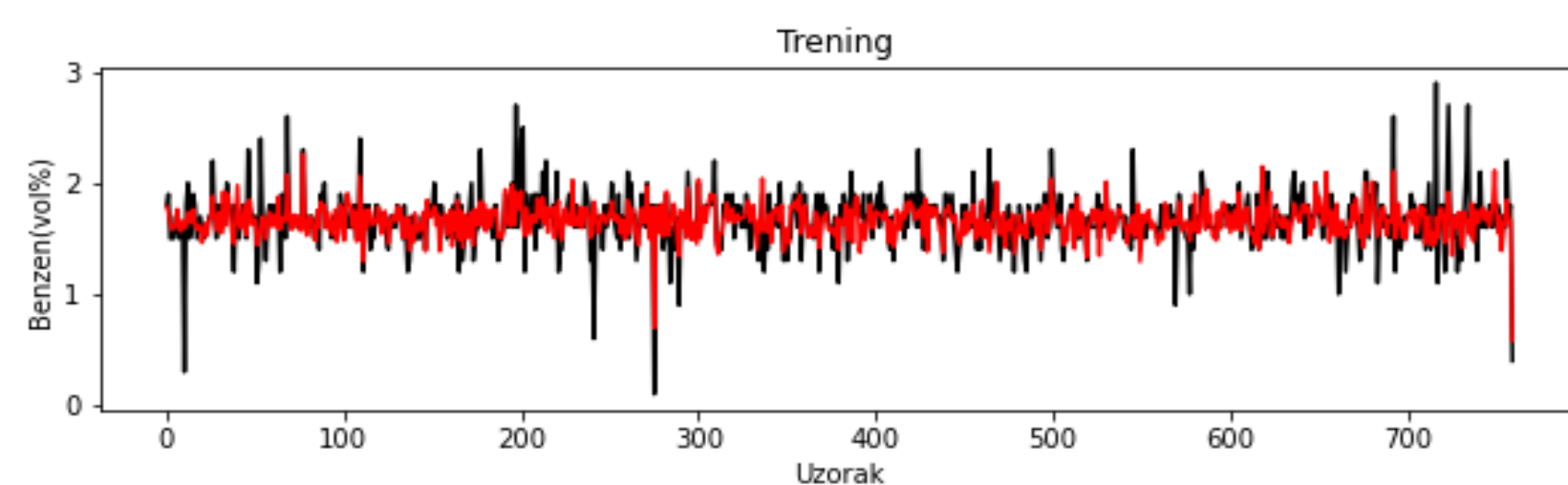
Korelacije između ulaznih varijabli i izlazne varijable određene su pomoću Pearsonovog koeficijenta korelacije te je u konačnici odabrano 8 ulaznih varijabli koje najviše utječu na izlaznu.

Razvoj modela softverskih senzora



Iz rafinerijske baze podataka prikupljeni su podaci ulaznih varijabli i izlazne varijable za procjenu sadržaja benzena u lakom reformatu u trajanju od 7 i pol mjeseci. Nakon prikupljanja podataka, uslijedila je **predobrada podataka**. Predobrada podataka je obuhvatila **usklađivanje** mjerenja ulaznih varijabli sa izlaznom varijablom kako bi se dobio jednak broj uzoraka, uklanjanje podataka koji su predstavljali početak procesa (*start up*) do postizanja stabilnog stanja, detekciju i uklanjanje **ekstremnih vrijednosti** te određivanje **korelacija** između ulaznih varijabli i izlazne varijable.

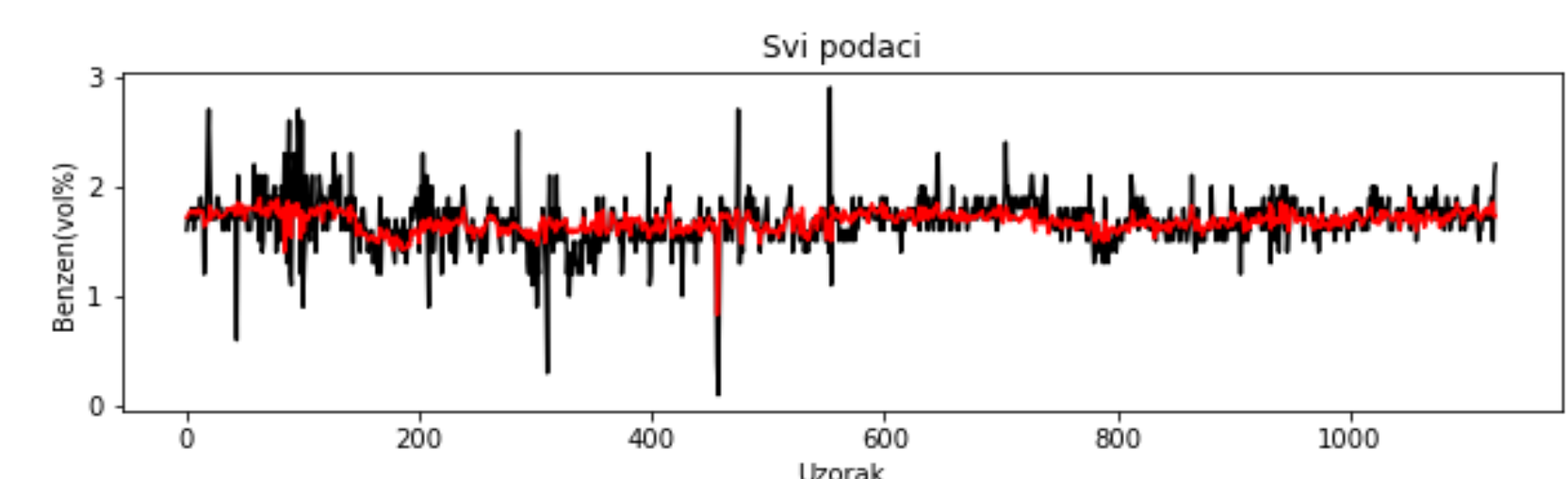
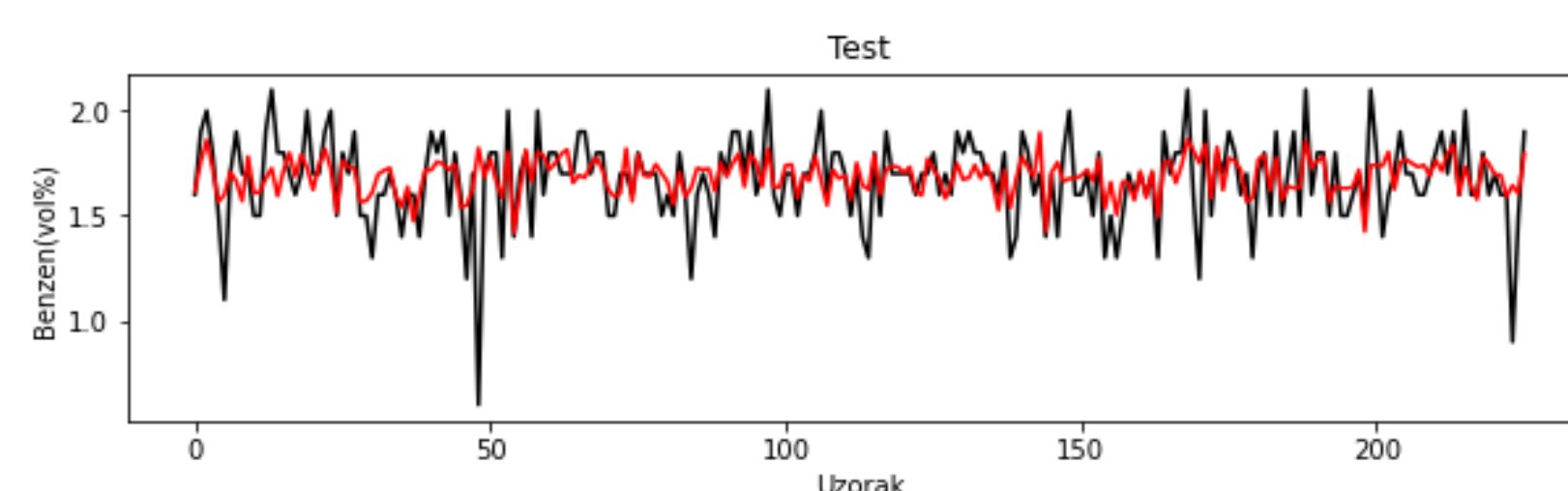
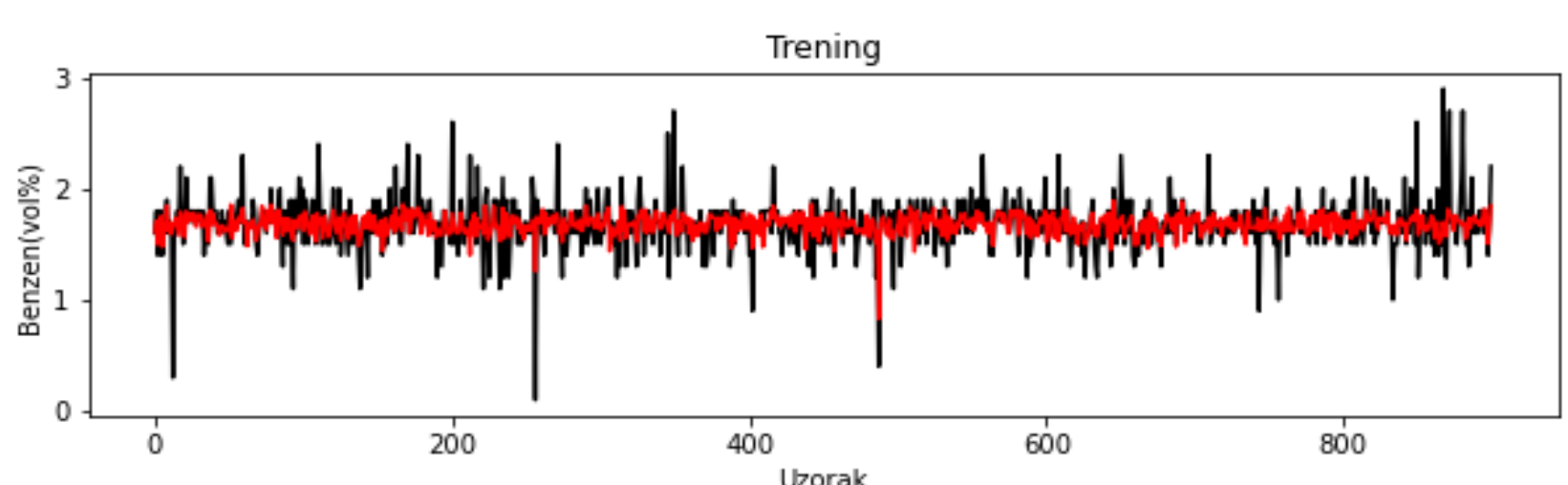
Rezultati modela neuronske mreže



Korelacija – svi podaci	0.638
Korelacija – test podaci	0.622
Korelacija – trening podaci	0.647
MSE test	0.461
MSE trening	0.656

Modeli neuronskih mreža razvijali su se u programskom jeziku Python i njegovoj distribuciji **Anaconda Navigator**. Za pisanje koda korišteno je **open-source** integrirano razvojno okruženje otvorenog koda **Spyder**. Preliminarno je razvijeno preko 1000 neuronskih mreža čija se struktura razlikovala s obzirom na broj skrivenih slojeva, broj neurona u skrivenim slojevima, način validacije te korištene aktivacijske funkcije. U konačnici je odabrana najbolja neuronska mreža s obzirom na koeficijent korelacije na trening, test skupu i cjelokupnim podacima te s obzirom na vrijednost minimalne kvadratne pogreške (**MSE**) kao i analizom grafičkih prikaza slaganja podataka. Kao najbolji model neuronske mreže odabrana je mreža s 2 skrivena sloja i ručnom validacijom.

Rezultati modela potpornih vektora



Korelacija – svi podaci	0.573
Korelacija – test podaci	0.521
Korelacija – trening podaci	0.587
MSE test	0.037
MSE trening	0.031

Modeli potpornih vektora također su razvijeni u Pythonu. Najbolji parametri pretraživani su preko **GridSearchCV** algoritma gdje je konfigurirana mreža parametara: parametar **C** je varirao od 0.1 do 10000, a parametri **gamma** i **epsilon** od 0.0001 do 1. Zatim su parametri uneseni ručno za svaku kombinaciju koja se validirala **kfold** metodom te su ručno validirani. Iz statističkih i grafičkih rezultata zaključeno je da je bolji model onaj dobiven ručnom validacijom zbog manje pogreške i veće korelacije te je i usklađenost između trening, test i cjelokupne korelacije bolja. Za taj model napravljena je dodatno analiza reziduala modela.

Zaključak

Primjena softverskog senzora za kontinuirano mjerenje količine benzena u katalitičkom reformatu uvelike bi olakšala i poboljšala vođenje procesa budući da su trenutne analize pomoću procesnog analizatora u laboratoriju dosta rijetke (samo 3 puta dnevno). Oba razvijena modela softverskih senzora su dala zadovoljavajuće rezultate sa sličnim vrijednostima koeficijenta korelacije i pogreške izlaznih podataka modela sa izlaznim podacima procesa te se oba modela mogu primijeniti u rafinerijskom informacijskom sustavu. Na temelju primjene razvijenih softverskih senzora moguće je očekivati poboljšanje vođenja procesa i konačne kvalitete proizvoda, a time i značajne uštede u proizvodnji kao i zadovoljenje strogih propisa zaštite okoliša.