

UNIVERZITET U BIHAĆU
TEHNIČKI FAKULTET
BIHAĆ

Auditorne vježbe iz predmeta
VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA I EKSPERTNI SISTEMI

Una Drakulić, MA elektrotehnike
Viši asistent

FUZZY EKSPERTNI SISTEM

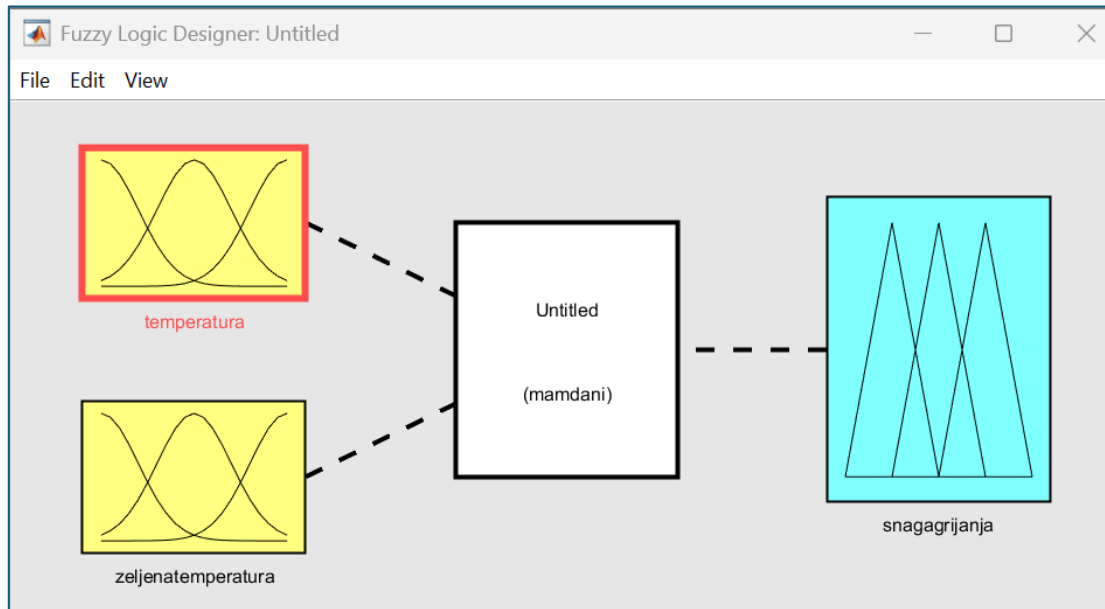
Pametni sistem za regulaciju grijanja prostorije, tj. termalni komfor

a) Opis problema

Cilj sistema je da automatski regulira snaga grijanja u prostoriji kako bi se održala optimalna temperatura.

b) Struktura fuzzy ekspertnog sistema

- Ulazne varijable (očitanja sa senzora)
- Fuzzy skupovi lingvističkih varijabli
- Pravila od znanja eksperta
- Izlazne varijable koje definišu akciju sistema

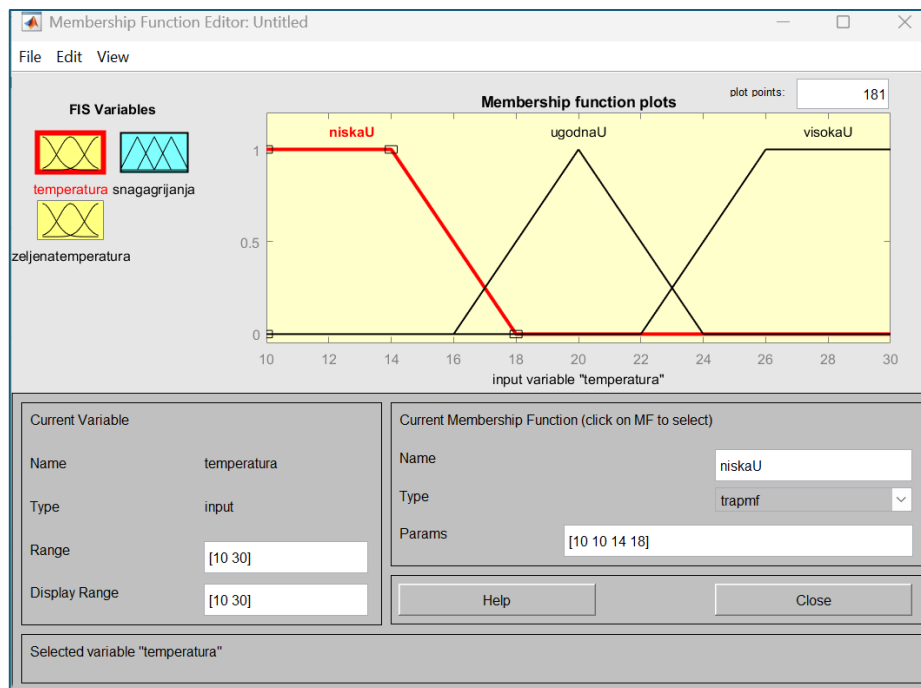


Definisanje ulaznih varijabli:

Ulaz 1: Temperatura prostorije, mjerena

Naziv	Opseg	Lingvistička vrijednost	Tip MF	Parametri
Temperatura	10 – 30 °C	Niska	trapmf	[10 10 14 18]
		Ugodna	trimf	[16 20 24]
		Visoka	trapmf	[22 26 30 30]

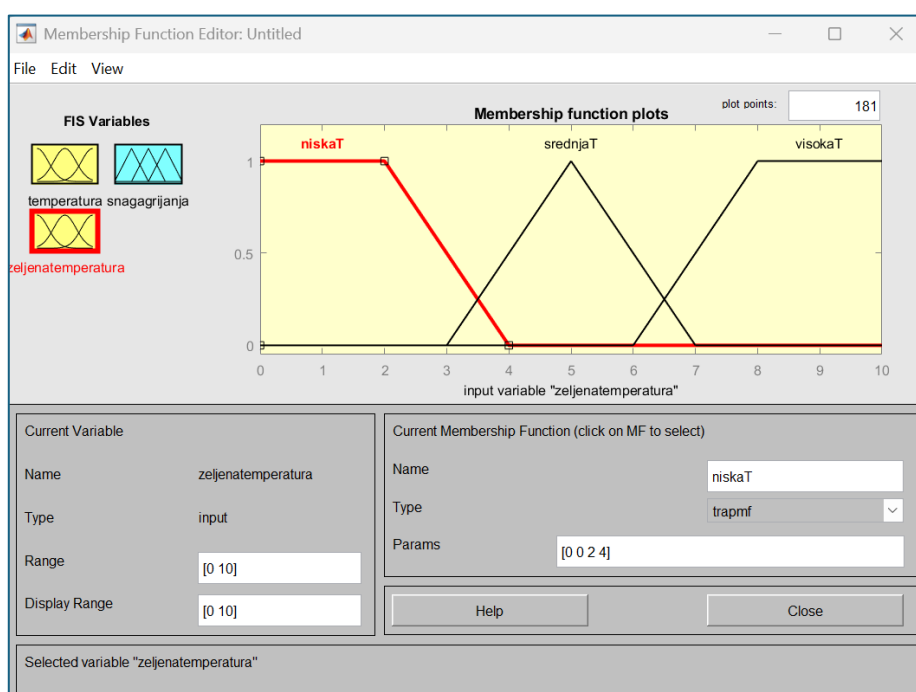
- Ispod 18 °C → hladno
- 20 °C → optimalna sobna temperatura
- Iznad 24 °C → grijanje se gasi



Ulaz 2: Željena temperatura

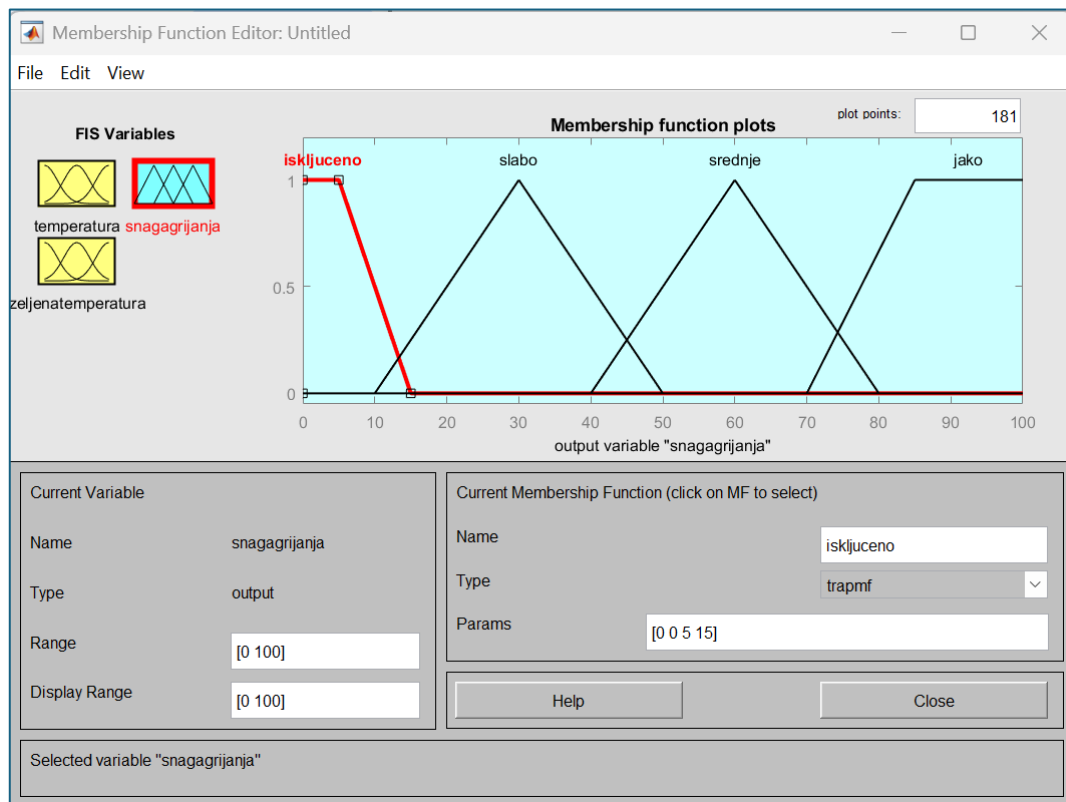
Naziv	Opseg	Lingvistička vrijednost	Tip MF	Parametri
Željena temperatura	0 – 10	Nizak	trapmf	[0 0 2 4]
		Srednji	trimf	[3 5 7]
		Visok	trapmf	[6 8 10 10]

- 0–3 → korisnik štedi energiju
- 4–6 → standardni komfor
- 7–10 → korisnik želi toplije



Izlaz: Snaga grijanja

Naziv	Opseg	Lingvistička vrijednost	Tip MF	Parametri
Snaga grijanja	0 – 100 %	Isključeno	trapmf	[0 0 5 15]
		Slabo	trimf	[10 30 50]
		Srednje	trimf	[40 60 80]
		Jako	trapmf	[70 85 100 100]



Pravila – baza znanja od eksperta

Br.	Temperatura	Komfor	Snaga grijanja
R1	Niska	Nizak	Srednje
R2	Niska	Srednji	Jako
R3	Niska	Visok	Jako
R4	Ugodna	Nizak	Slabo
R5	Ugodna	Srednji	Slabo
R6	Ugodna	Visok	Srednje
R7	Visoka	Bilo koji	Isključeno

Rule Editor: Untitled

File Edit View Options

1. If (temperatura is niskaU) and (zeljenatemperatura is niskaT) then (snagagrijanja is srednje) (1)

2. If (temperatura is niskaU) and (zeljenatemperatura is srednjaT) then (snagagrijanja is jako) (1)

3. If (temperatura is niskaU) and (zeljenatemperatura is visokaT) then (snagagrijanja is jako) (1)

4. If (temperatura is ugodnaU) and (zeljenatemperatura is niskaT) then (snagagrijanja is slabo) (1)

5. If (temperatura is ugodnaU) and (zeljenatemperatura is srednjaT) then (snagagrijanja is slabo) (1)

6. If (temperatura is ugodnaU) and (zeljenatemperatura is visokaT) then (snagagrijanja is srednje) (1)

7. If (temperatura is visokaU) and (zeljenatemperatura is niskaT) then (snagagrijanja is iskluceno) (1)

8. If (temperatura is visokaU) and (zeljenatemperatura is srednjaT) then (snagagrijanja is iskluceno) (1)

9. If (temperatura is visokaU) and (zeljenatemperatura is visokaT) then (snagagrijanja is iskluceno) (1)

If

and

Then

temperatura is

zeljenatemperatura is

snagagrijanja is

niskaU

ugodnaU

visokaU

none

niskaT

srednjaT

visokaT

none

iskluceno

srednje

slabo

jako

none

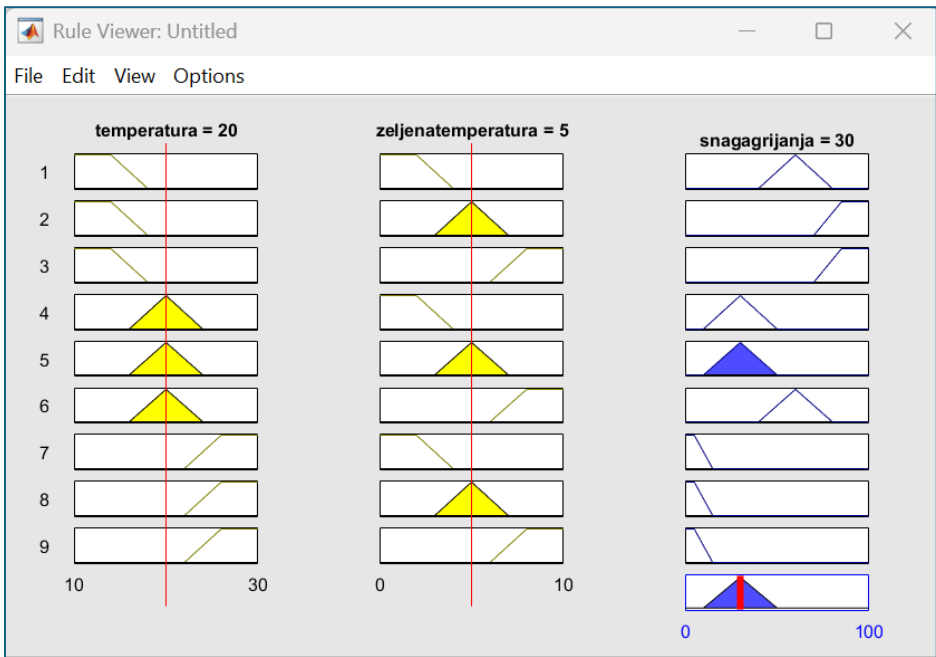
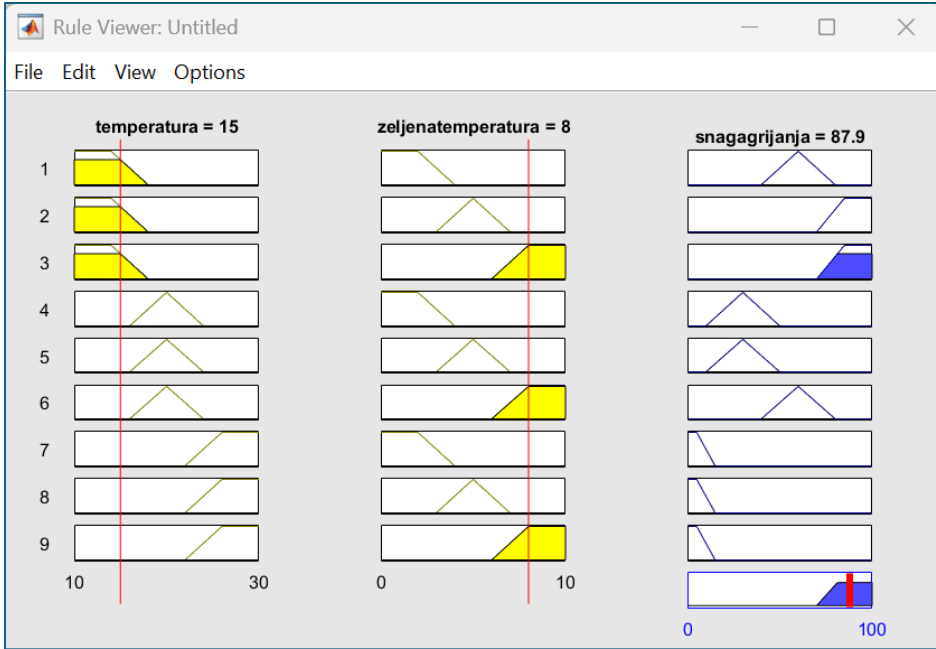
☐ not

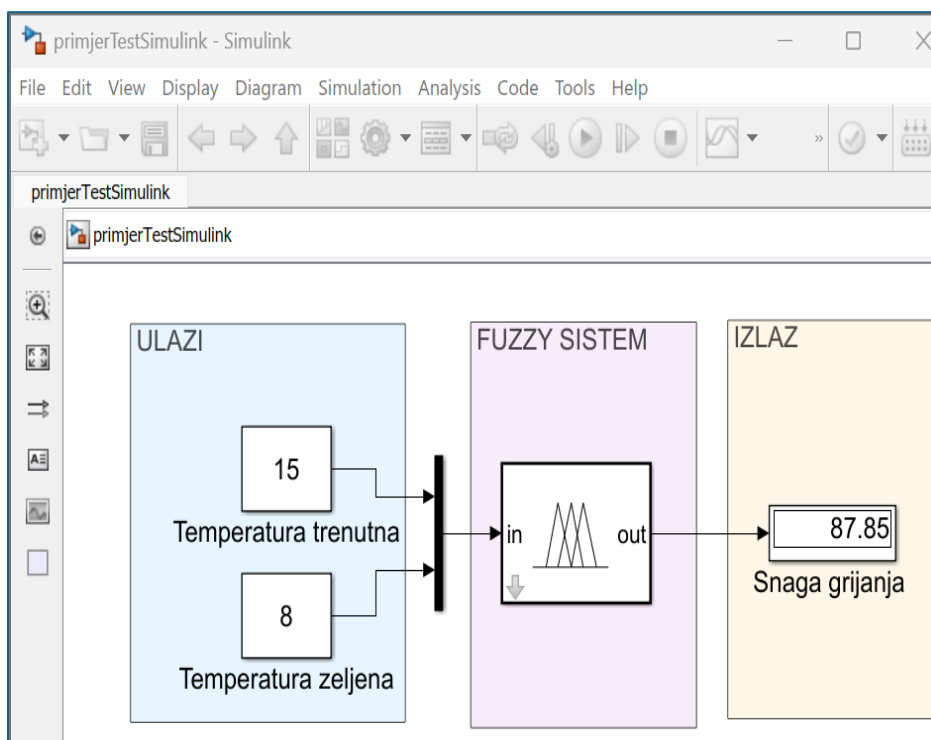
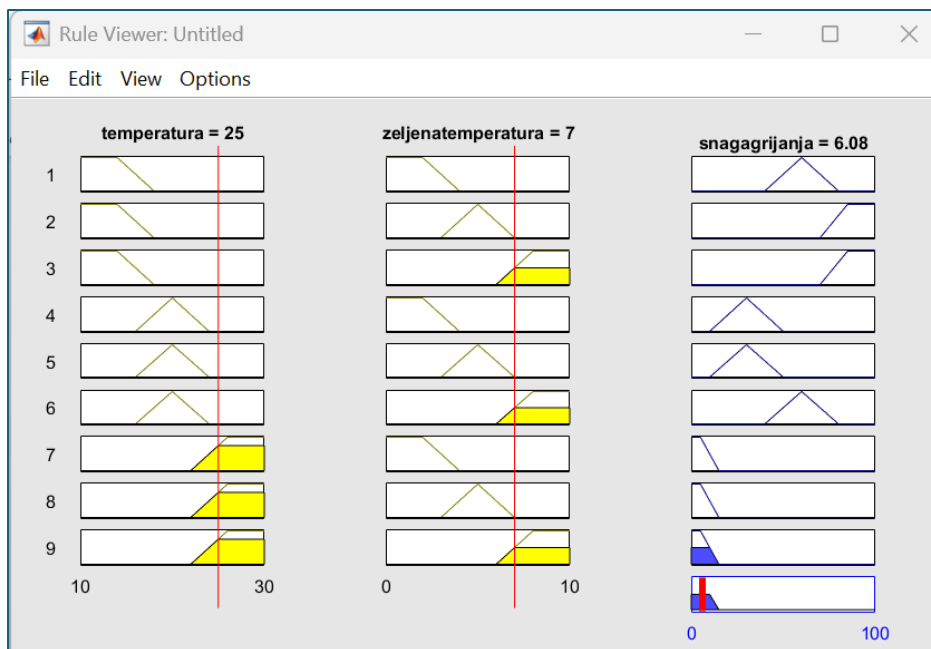
☐ not

☐ not

Ponašanje sistema za provjeru ispravnosti

Temperatura	Komfor	Očekivani izlaz
15 °C	8	≈ 90 %
20 °C	5	≈ 30 %
25 °C	7	≈ 5 %





I za druge vrijednosti testiranja.

DRUGI DIO - NADOGRANJA SISTEMA SA ANFIS = fuzzy sistem + neuronsko učenje

Fuzzy ekspertni sistem	ANFIS
Pravila zadaje čovjek	Pravila uči sistem
Mamdani	Sugeno
Bez učenja	Ima učenje
Nema optimizacije	Optimizira MF parametre

Kod ANFIS-a izlaz je numerička funkcija (Sugeno tip), ne lingvistička varijabla. ANFIS ne može raditi bez podataka. Dataset predstavlja znanje eksperta zapisano u numeričkom obliku.

Primjer: Kreirati i trenirati ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) model za regulaciju izlaznog napona fotonaponskog (PV) panela. ANFIS sistem treba da kombinuje fuzzy logiku i neuronske mreže, što omogućava modeliranje nelinearnih odnosa između ulaza i izlaza PV sistema.

Za ulazne varijable koristi se stvarni meteorološki dataset iz NASA POWER baze za Sarajevo za 2024. godinu.

- **Ulaz 1:** Radijacija (ALLSKY_SFC_SW_DWN) u W/m^2
- **Ulaz 2:** Temperatura zraka (T2M) u $^{\circ}C$

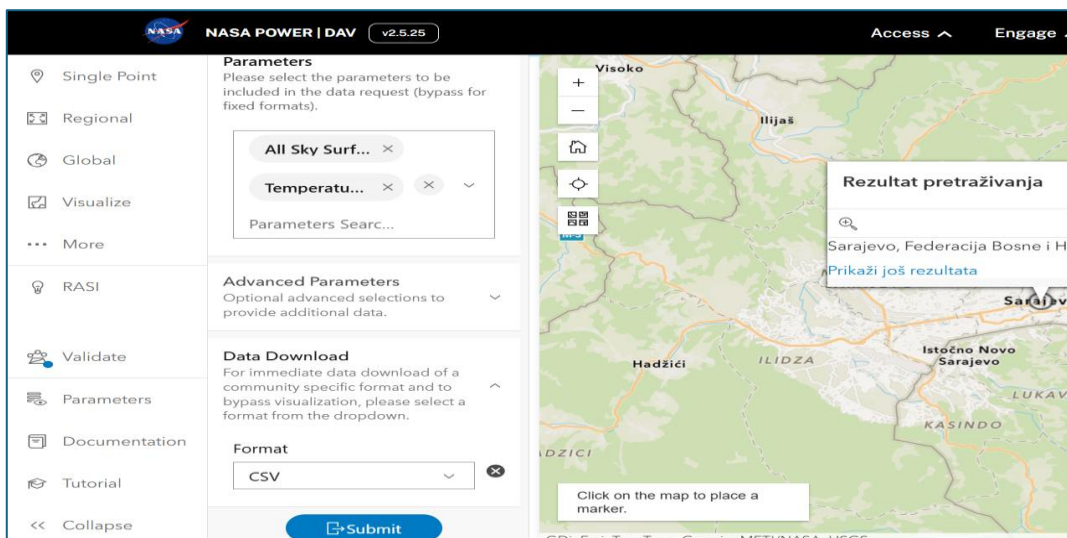
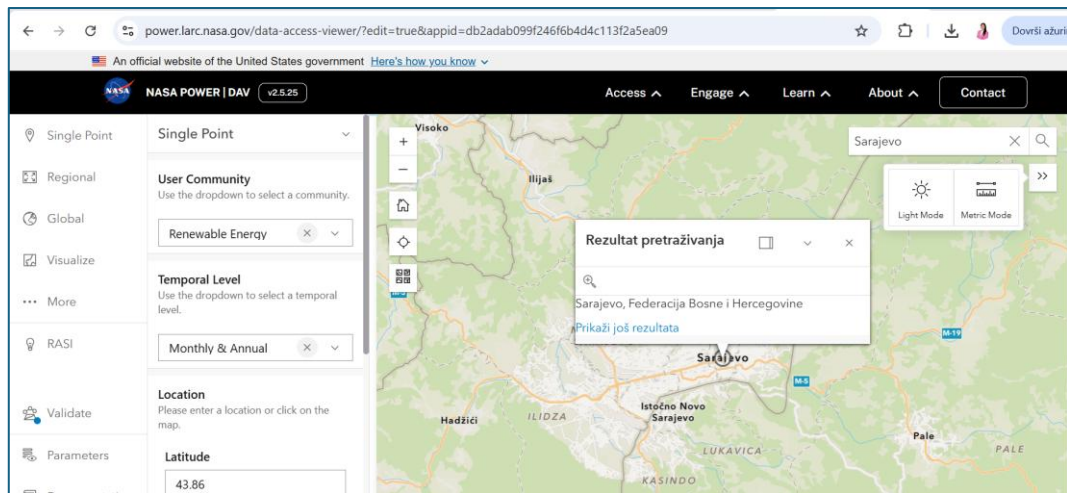
TREBA PREUZETI DATASET SA LINK-A: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/?edit=true&appid=db2adab099f246f6b4d4c113f2a5ea09>

Izlaz sistema simuliran je jednostavnom linearnom formulom koja modelira ponašanje PV panela:

$$V_{out} = 12 + 0.5 \cdot radijacija - 0.05 \cdot (temperatura - 25)$$

Koraci:

- Učitavanje i obrada podataka:**
 - Podaci se učitavaju iz CSV fajla i normaliziraju između 0 i 1 radi stabilnijeg učenja ANFIS sistema.
 - Dataset se sastoji od tri kolone: [Radijacija_norm, Temperatura_norm, Vout_norm].
- Podjela na trening i test podatke:**
 - Za trening koristi se 300 dana, dok se preostalih 66 dana koristi za testiranje modela.
- Kreiranje Sugeno FIS-a:**
 - Koristi se Sugeno tip fuzzy sistema (sugfis).
 - Svaki ulaz ima 3 gaussovske membership funkcije (MF): Niska, Srednja, Visoka.
 - Izlaz ima 9 linearnih MF-ova (jedan po pravilu).
 - Definiraju se fuzzy pravila koja povezuju kombinacije ulaza sa izlaznim MF-ovima.
- Trening ANFIS-a:**
 - ANFIS se trenira koristeći definisani FIS i trening dataset.
 - Broj epoha učenja je 100, što omogućava konvergenciju i smanjenje greške.
- Evaluacija i vizualizacija:**
 - Testiranje ANFIS-a vrši se na neviđenim podacima (dani 301–366).
 - Rezultati su prikazani u subplotovima:
 - Ulaz Radijacija
 - Ulaz Temperatura
 - Stvarni izlaz Vout
 - ANFIS predikcija vs stvarni Vout
 - Trening greška po epochama
- Spremanje modela:**
 - Naučeni ANFIS model se sprema u fajl PV_ANFIS.fis radi kasnije upotrebe ili simulacija.



MATLAB KOD

```

%% PV REGULATOR
clc; clear; close all;

%% --- 1. Učitavanje CSV fajla
filename = 'sarajevo_2024.csv';
data = readtable(filename);

Radijacija = data.ALLSKY_SFC_SW_DWN; % W/m2
Temperatura = data.T2M; % °C

% Simulacija izlaznog napona PV panela
Vout = 12 + 0.5*Radijacija - 0.05*(Temperatura-25);

% Kreiranje dataset matrice za ANFIS: [Ulaz1 Ulaz2 Izlaz]
dataset = [Radijacija Temperatura Vout];

%% --- 2. Podjela na trening i test podatke
trainData = dataset(1:300,:); % dani 1-300
testData = dataset(301:end,:); % dani 301-366

%% --- 3. Kreiranje Sugeno FIS-a ručno
fis0 = sugfis('Name', 'PV_Regulator');

% Ulazi
fis0 = addInput(fis0,[min(Radijacija) max(Radijacija)], 'Name', 'Radijacija');
fis0 = addInput(fis0,[min(Temperatura) max(Temperatura)], 'Name', 'Temperatura');

```

```

% Izlaz
fis0 = addOutput(fis0,[min(Vout) max(Vout)], 'Name', 'Vout');

% Membership funkcije za ulaz Radijacija
fis0 = addMF(fis0, 'Radijacija', 'gaussmf', [1 mean(Radijacija)], 'Name', 'Niska');
fis0 = addMF(fis0, 'Radijacija', 'gaussmf', [1 mean(Radijacija)+2], 'Name', 'Visoka');

% Membership funkcije za ulaz Temperatura
fis0 = addMF(fis0, 'Temperatura', 'gaussmf', [1 mean(Temperatura)-5], 'Name', 'Niska');
fis0 = addMF(fis0, 'Temperatura', 'gaussmf', [1 mean(Temperatura)+5], 'Name', 'Visoka');

% Membership funkcije za izlaz (Sugeno linear) - 4 MF, 1 po pravilu
fis0 = addMF(fis0, 'Vout', 'linear', [0 0 0], 'Name', 'VoutMF1');
fis0 = addMF(fis0, 'Vout', 'linear', [0 0 0], 'Name', 'VoutMF2');
fis0 = addMF(fis0, 'Vout', 'linear', [0 0 0], 'Name', 'VoutMF3');
fis0 = addMF(fis0, 'Vout', 'linear', [0 0 0], 'Name', 'VoutMF4');

% Pravila [Ulaz1 Ulaz2 Izlaz Weight AND/OR]
ruleList = [
    1 1 1 1 1; % Niska radijacija & Niska temp -> VoutMF1
    1 2 2 1 1; % Niska radijacija & Visoka temp -> VoutMF2
    2 1 3 1 1; % Visoka radijacija & Niska temp -> VoutMF3
    2 2 4 1 1; % Visoka radijacija & Visoka temp -> VoutMF4
];
fis0 = addRule(fis0, ruleList);

%% --- 4. Trening ANFIS-a
numEpochs = 50;
[anfisFIS, trainError] = anfis(trainData, fis0, numEpochs);

%% --- 5. Evaluacija na test podacima
predicted = evalfis(testData(:,1:2), anfisFIS);

%% --- 6. Plot rezultata i greške

figure('Name', 'ANFIS PV Regulator', 'Position', [100 100 1000 700]);

% Ulaz Radijacija
subplot(3,2,1);
plot(trainData(:,1), 'b', 'LineWidth', 1.5); grid on;
xlabel('Dani'); ylabel('Radijacija');
title('Ulaz 1: Radijacija');

% Ulaz Temperatura
subplot(3,2,2);
plot(trainData(:,2), 'r', 'LineWidth', 1.5); grid on;
xlabel('Dani'); ylabel('Temperatura');
title('Ulaz 2: Temperatura');

% Izlaz Vout (stvarni)
subplot(3,2,3);
plot(trainData(:,3), 'k', 'LineWidth', 1.5); grid on;
xlabel('Dani'); ylabel('Vout');
title('Izlaz: Vout (stvarni)');

% Predikcija ANFIS
subplot(3,2,4);
plot(testData(:,3), 'k', 'LineWidth', 1.5); hold on;
plot(predicted, 'r--', 'LineWidth', 1.5); grid on;
xlabel('Dani'); ylabel('Vout');
title('ANFIS vs Stvarni Vout');
legend('Stvarni', 'ANFIS');

% Trening greška

```

```

subplot(3,2,[5 6]);
plot(trainError,'LineWidth',2); grid on;
xlabel('Epoch'); ylabel('Greška');
title('ANFIS trening greška');

%% --- 7. Spremanje naučenog modela
writefis(anfisFIS,'PV_ANFIS.fis');

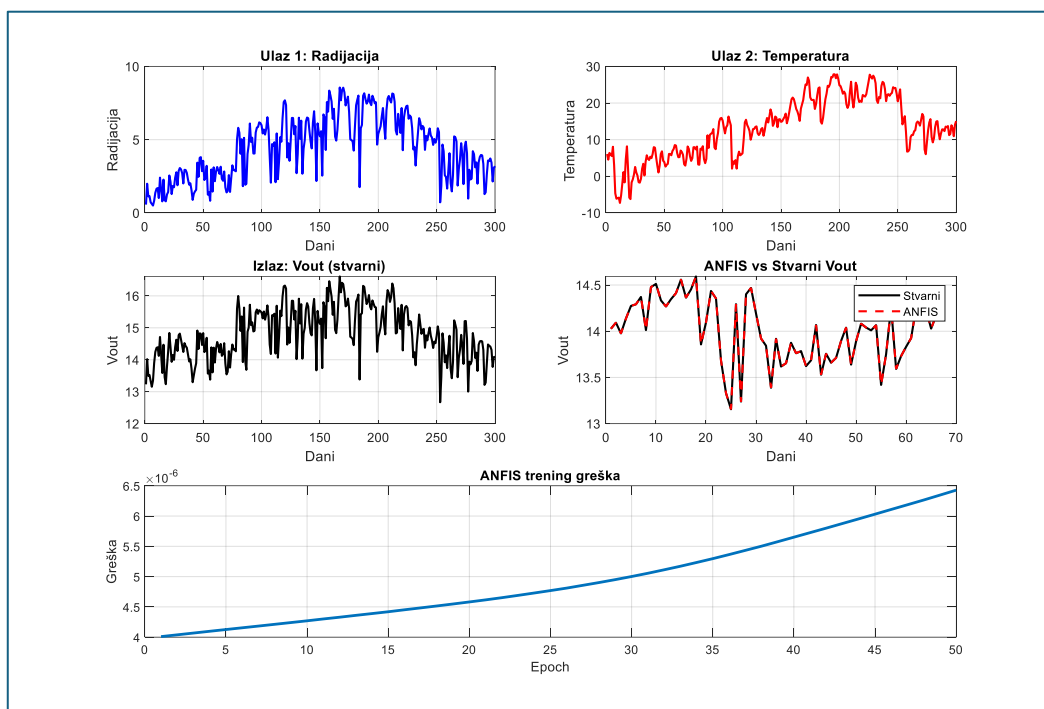
disp('ANFIS model je uspješno treniran i spremljen kao PV_ANFIS.fis');

```

```

ANFIS info:
Number of nodes: 21
Number of linear parameters: 12
Number of nonlinear parameters: 8
Total number of parameters: 20
Number of training data pairs: 300
Number of checking data pairs: 0
Number of fuzzy rules: 4

```



Po dobivenom odzivu dobije se 5 plotova koji prikazuju sljedeće:

1. Ulaz 1 – Radijacija: grafički prikaz dnevnih vrijednosti sunčeve radijacije za trening podatke. Omogućava vizualizaciju fluktuacija ulazne varijable tijekom godine.
2. Ulaz 2 – Temperatura: grafički prikaz dnevnih vrijednosti temperature zraka za trening podatke. Pokazuje sezonske i dnevne promjene koje utječu na PV sistem.
3. Izlaz – Stvarni Vout: grafički prikaz simuliranog izlaznog napona PV panela za trening podatke. Prikazuje stvarno ponašanje sistema prema modelu.
4. ANFIS predikcija vs stvarni Vout: usporedni graf za test podatke (dani 301–366) gdje se crnom linijom prikazuje stvarni izlaz, a crvenom isprekidanom linijom ANFIS predikcija. Omogućava vizualnu provjeru koliko dobro ANFIS model prati stvarni izlaz.
5. Trening greška: grafički prikaz greške (MSE) po epoha tijekom učenja ANFIS-a. Pokazuje konvergenciju učenja i kvalitetu modela.

Pregled ručno kreiranog Sugeno fis modela

