

---

---

# Zastosowanie technik rozmytych do oceny jakości sygnału PPG

—

Tomasz Hawro  
Jan Słowik  
Karolina Antonik

—

---

---

# Problem do rozwiązania

- Problem

Sygnały PPG pochodzące z urządzenia Empatica E4 są wątpliwej jakości

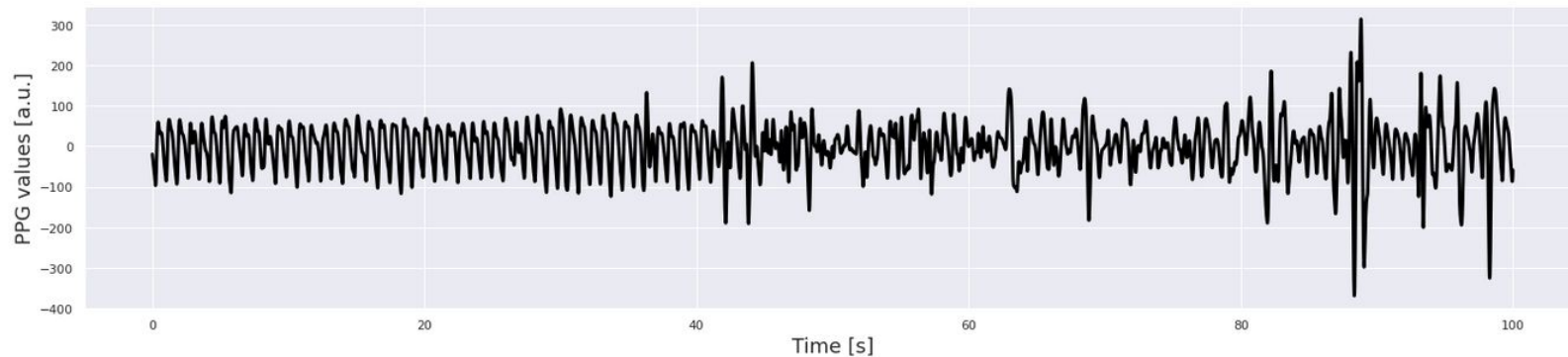
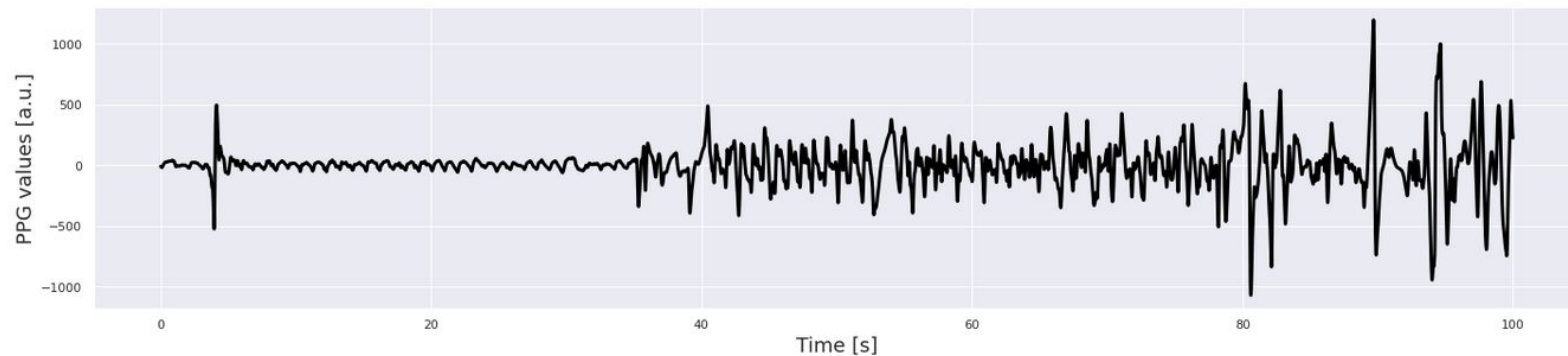
- Rozwiązanie

**Automatyczne narzędzie oceniające jakość sygnału PPG**

- Zysk

Odfiltrowane sygnały o dobrej jakości są odpowiednim inputem do modeli AI

# Przykładowe sygnały PPG



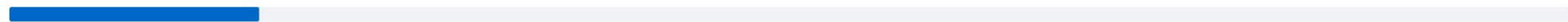
# Kroki do osiągnięcia celu

1. Stworzenie narzędzia do adnotacji danych
2. Adnotacja ok. tysiąca 10-sekundowych fragmentów sygnałów pod kątem jakości
3. Analiza sygnałów w celu znalezienia cech, które mogłyby świadczyć o jakości
4. Stworzenie zbioru danych składającego się z cech sygnałów (input) i etykiet jakości (target)
5. Wyznaczenie reguł służących do wyuczenia modelu **Mamdani**
6. Wyuczenie modelu **Mamdani**

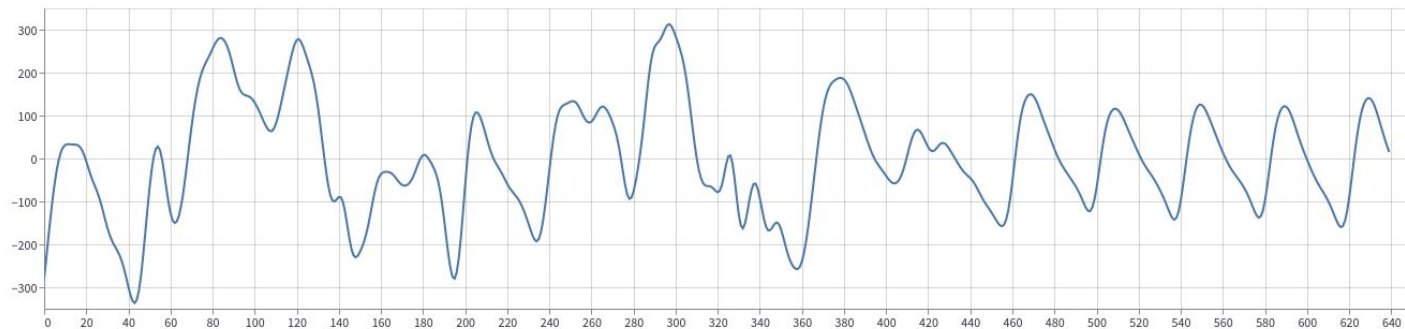
# Narzędzie do adnotacji danych

## Fuzzy Annotator!

You are Tomek



BVP signal (57 sample)



### Label

— bvp ☐

☐ Good

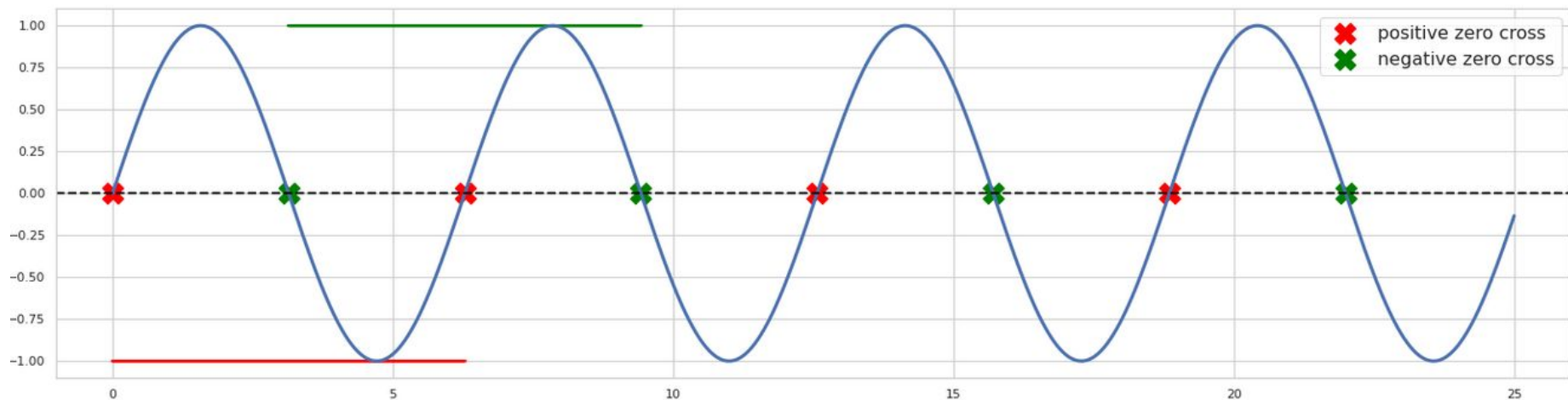
☐ Medium

☐ Poor

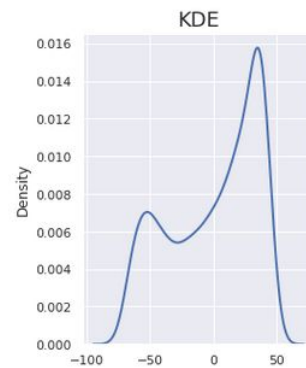
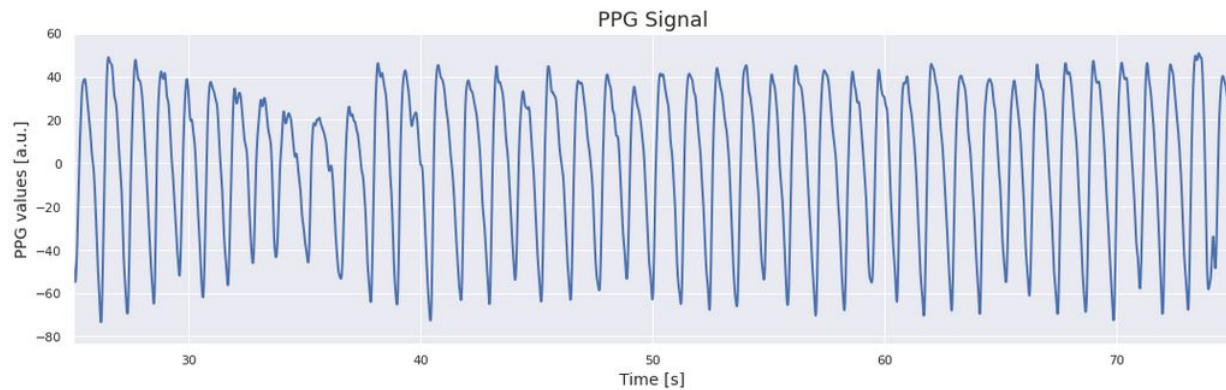
# Cechy świadczące o jakości

- **std** - odchylenie standardowe sygnału
- **skew** - skośność dystrybucji wartości sygnału
- **kurtosis** - kurtoza dystrybucji wartości sygnału
- **entropy** - entropia sygnału
- **pos\_zc\_int\_mean** - średnia interwałów przecięć przez zero z minusa na plus
- **pos\_zc\_int\_std** - odchylenie standardowe interwałów przecięć przez zero z minusa na plus
- **neg\_zc\_int\_mean** - średnia interwałów przecięć przez zero z plusa na minus
- **neg\_zc\_int\_std** - odchylenie standardowe interwałów przecięć przez zero z plusa na minus

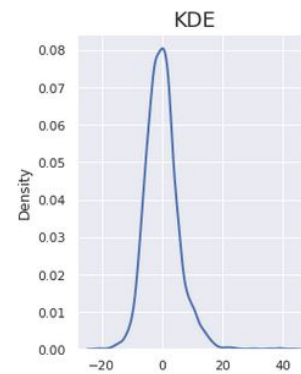
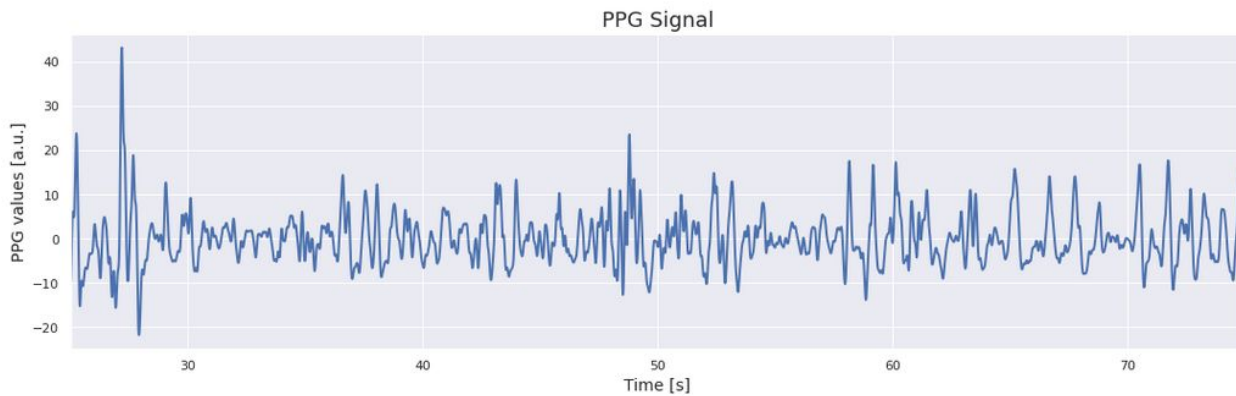
# Przecięcia przez zero



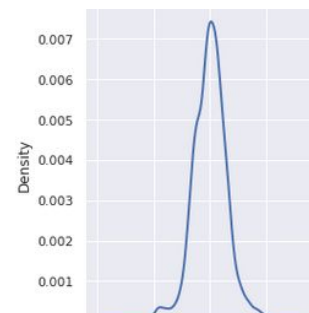
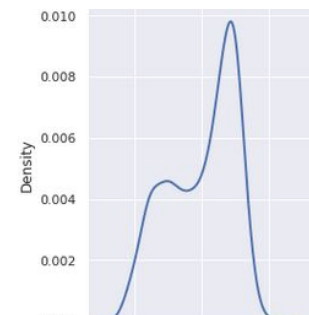
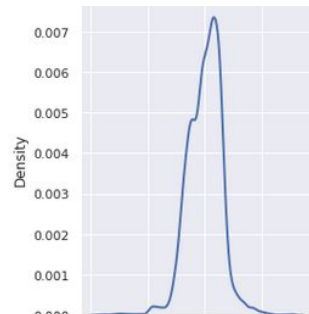
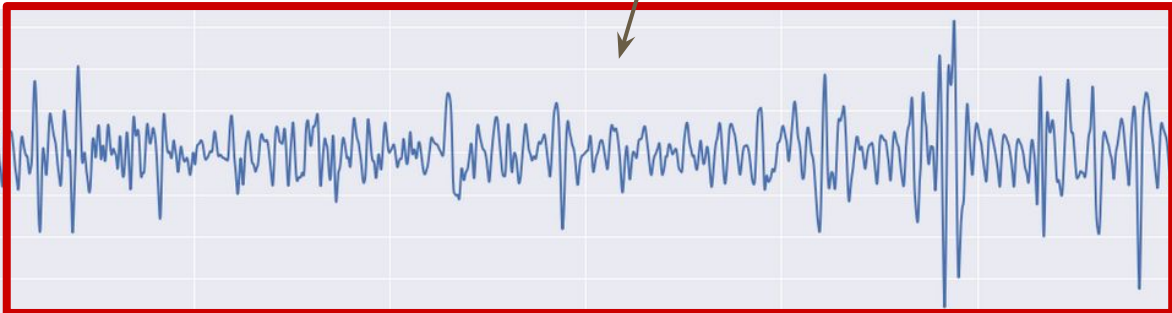
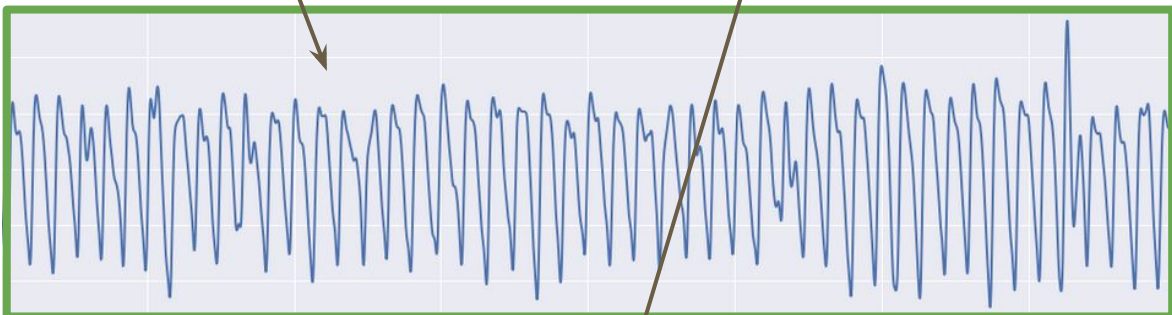
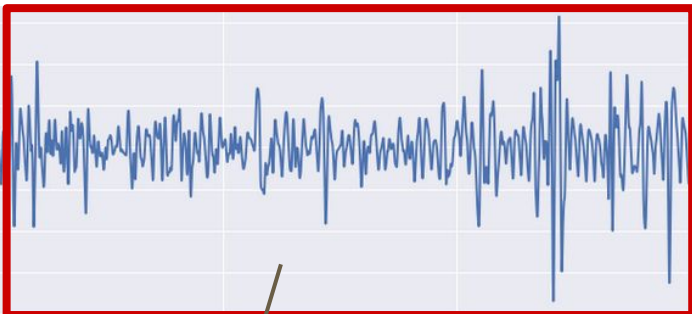
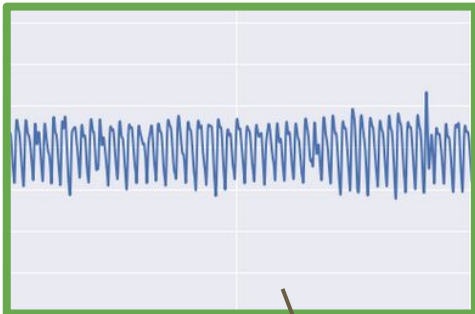
	std	skew	kurtosis	entropy	pos_zc_int_mean	pos_zc_int_std	neg_zc_int_mean	neg_zc_int_std
0	35.0	-0.47	-1.12	-0.43	1.16	0.09	1.16	0.09



	std	skew	kurtosis	entropy	pos_zc_int_mean	pos_zc_int_std	neg_zc_int_mean	neg_zc_int_std
0	5.58	1.01	4.65	-1.08	0.56	0.3	0.56	0.28







<b>std</b>	60.42
<b>skew</b>	-0.40
<b>kurtosis</b>	2.99
<b>entropy</b>	-0.98
<b>pos_zc_int_mean</b>	0.68
<b>pos_zc_int_std</b>	0.22
<b>neg_zc_int_mean</b>	0.68
<b>neg_zc_int_std</b>	0.22

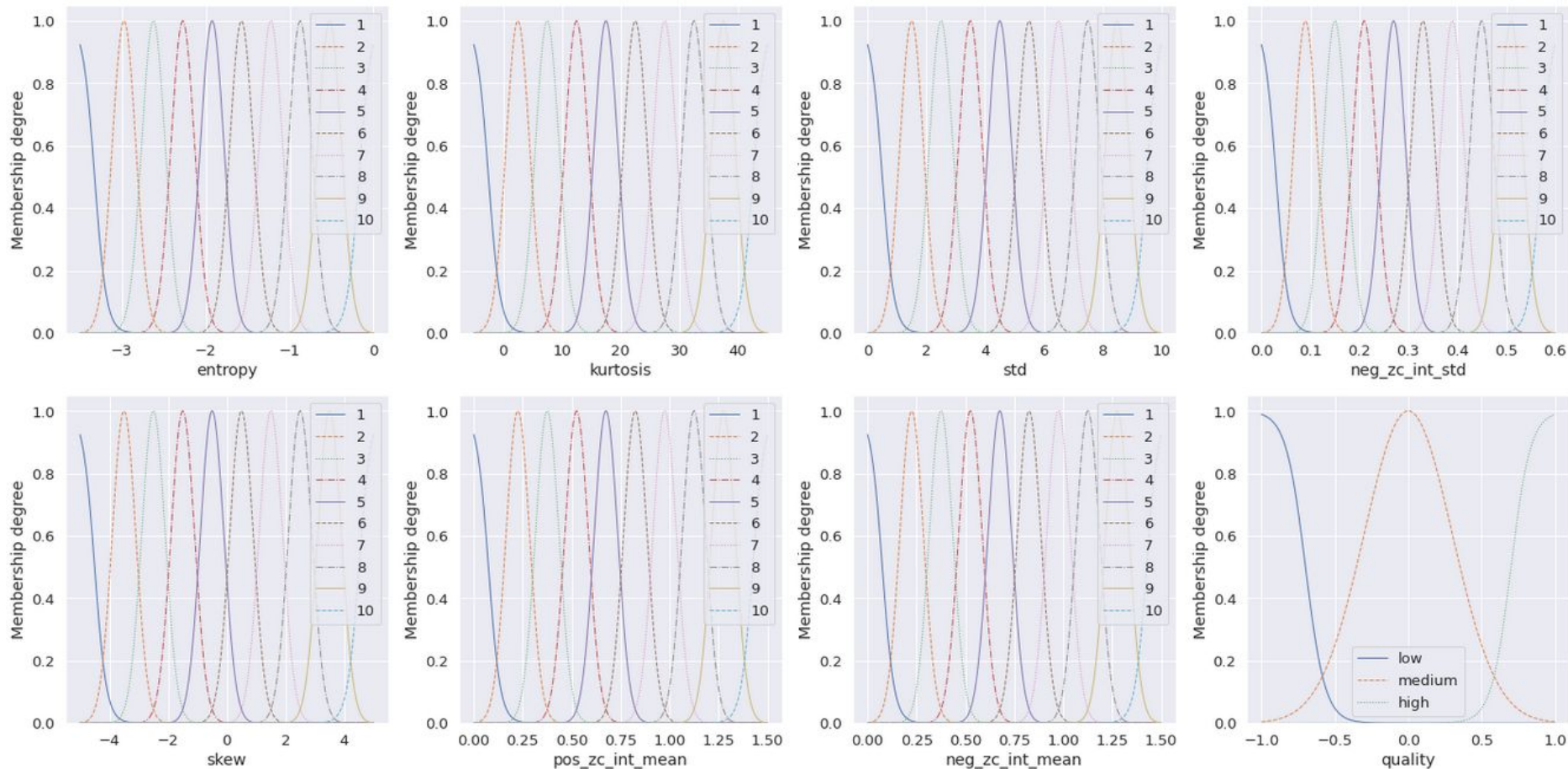
<b>std</b>	50.88
<b>skew</b>	-0.42
<b>kurtosis</b>	-0.97
<b>entropy</b>	-0.46
<b>pos_zc_int_mean</b>	0.78
<b>pos_zc_int_std</b>	0.12
<b>neg_zc_int_mean</b>	0.78
<b>neg_zc_int_std</b>	0.12

<b>std</b>	66.01
<b>skew</b>	-0.38
<b>kurtosis</b>	3.53
<b>entropy</b>	-1.15
<b>pos_zc_int_mean</b>	0.63
<b>pos_zc_int_std</b>	0.24
<b>neg_zc_int_mean</b>	0.63
<b>neg_zc_int_std</b>	0.24

# Zbiór danych

	std	skew	kurtosis	entropy	pos_zc_int_mean	pos_zc_int_std	neg_zc_int_mean	neg_zc_int_std	label
count	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000	1049.000000
mean	71.398569	-0.005707	2.155045	-0.966497	0.670913	0.213404	0.670496	0.216351	-0.342231
std	80.771093	0.887452	5.050068	0.531913	0.259973	0.167205	0.259651	0.156003	0.865000
min	0.498119	-6.278308	-1.453442	-3.427461	0.171845	0.007440	0.170886	0.010155	-1.000000
25%	10.505289	-0.421837	-0.758180	-1.205916	0.472673	0.092818	0.465444	0.100608	-1.000000
50%	47.408679	-0.108233	0.222546	-0.785828	0.667757	0.200875	0.666049	0.198341	-1.000000
75%	100.776425	0.247694	2.904381	-0.557921	0.843835	0.295669	0.838565	0.305581	1.000000
max	754.943358	4.913352	42.376044	-0.325507	2.190898	2.684132	2.170234	1.801960	1.000000

# Stworzenie rozmytego zbioru



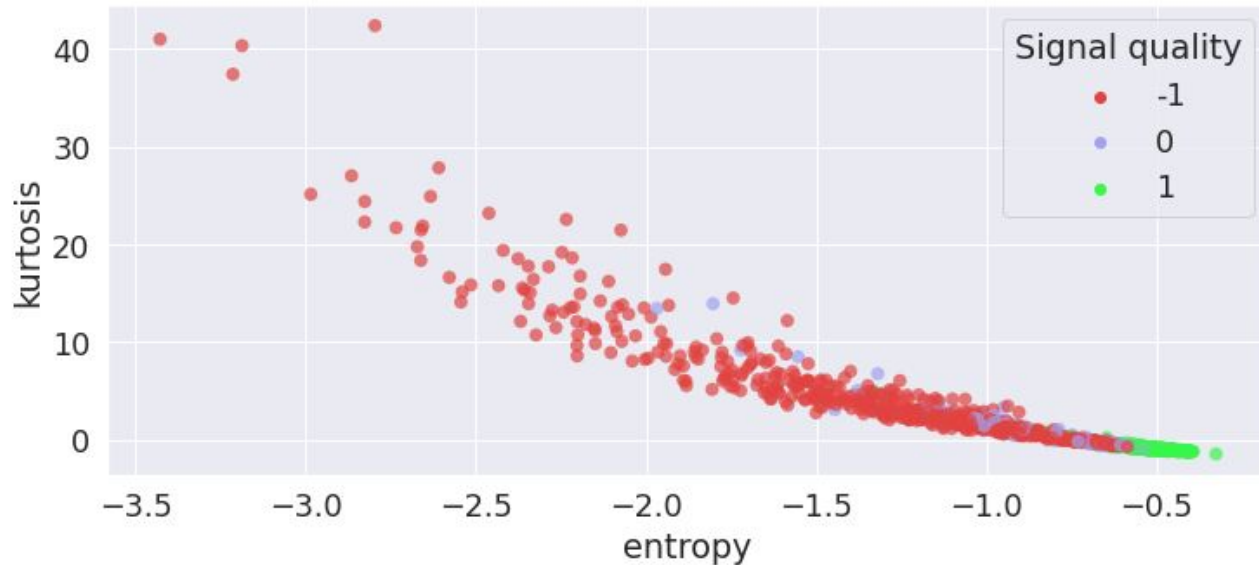
# Reguły

1. IF (entropy IS 10) AND (kurtosis IS 1) THEN (quality IS high)
2. IF (kurtosis IS 5) OR (kurtosis IS 6) OR (kurtosis IS 7) OR (kurtosis IS 8) OR (kurtosis IS 8) OR (kurtosis IS 10) THEN (quality IS low)
3. IF (skew IS 3) AND (NOT (pos\_zc\_int\_mean IS 1)) THEN (quality IS high)
4. IF (entropy IS 7) AND (kurtosis IS 1) THEN (quality IS medium)
5. IF (entropy IS 8) AND (neg\_zc\_int\_std IS 1) THEN (quality IS high)
6. IF (entropy IS 7) AND (neg\_zc\_int\_std IS 2) THEN (quality IS medium)
7. IF (pos\_zc\_int\_mean IS 1) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 1) THEN (quality IS low)
8. IF (pos\_zc\_int\_mean IS 1) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 1) THEN (quality IS low)
9. IF (pos\_zc\_int\_mean IS 2) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 2) THEN (quality IS low)
10. IF (pos\_zc\_int\_mean IS 3) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 3) THEN (quality IS low)
11. IF (pos\_zc\_int\_mean IS 8) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 8) THEN (quality IS high)

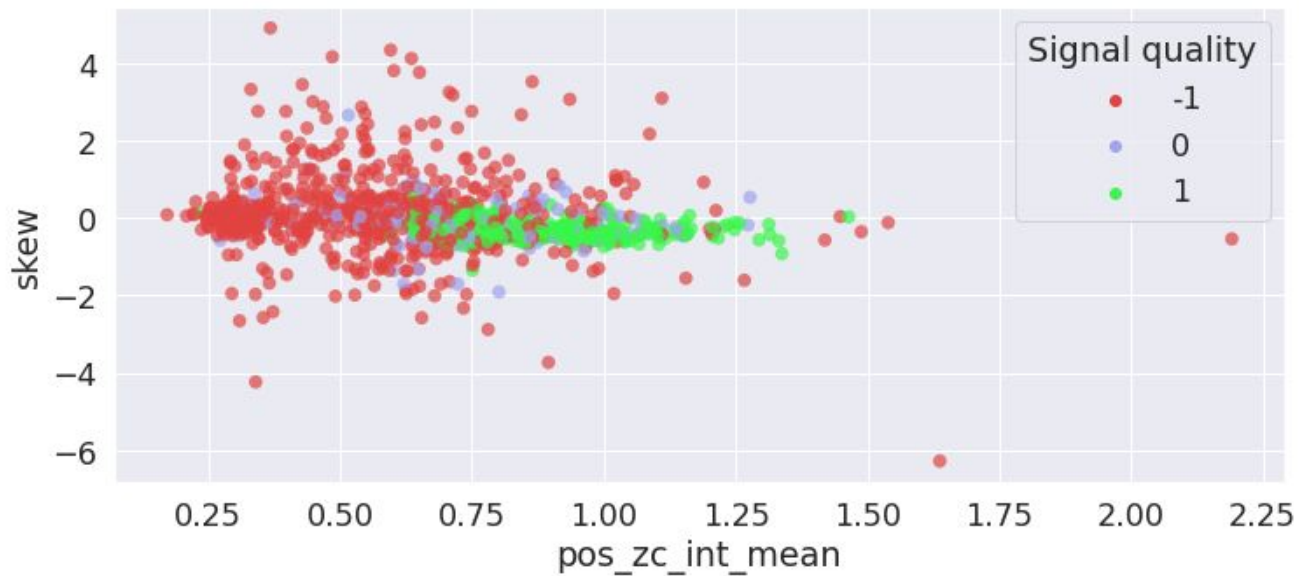
IF (entropy IS 10) AND (kurtosis IS 1) THEN (quality IS high)

IF (kurtosis IS 5) OR (kurtosis IS 6) OR (kurtosis IS 7) OR (kurtosis IS 8) OR (kurtosis IS 9) OR (kurtosis IS 10) THEN (quality IS low)

IF (entropy IS 7) AND (kurtosis IS 1) THEN (quality IS medium)



IF (**skew IS 3**) AND (**NOT (pos\_zc\_int\_mean IS 1)**) THEN (**quality IS high**)

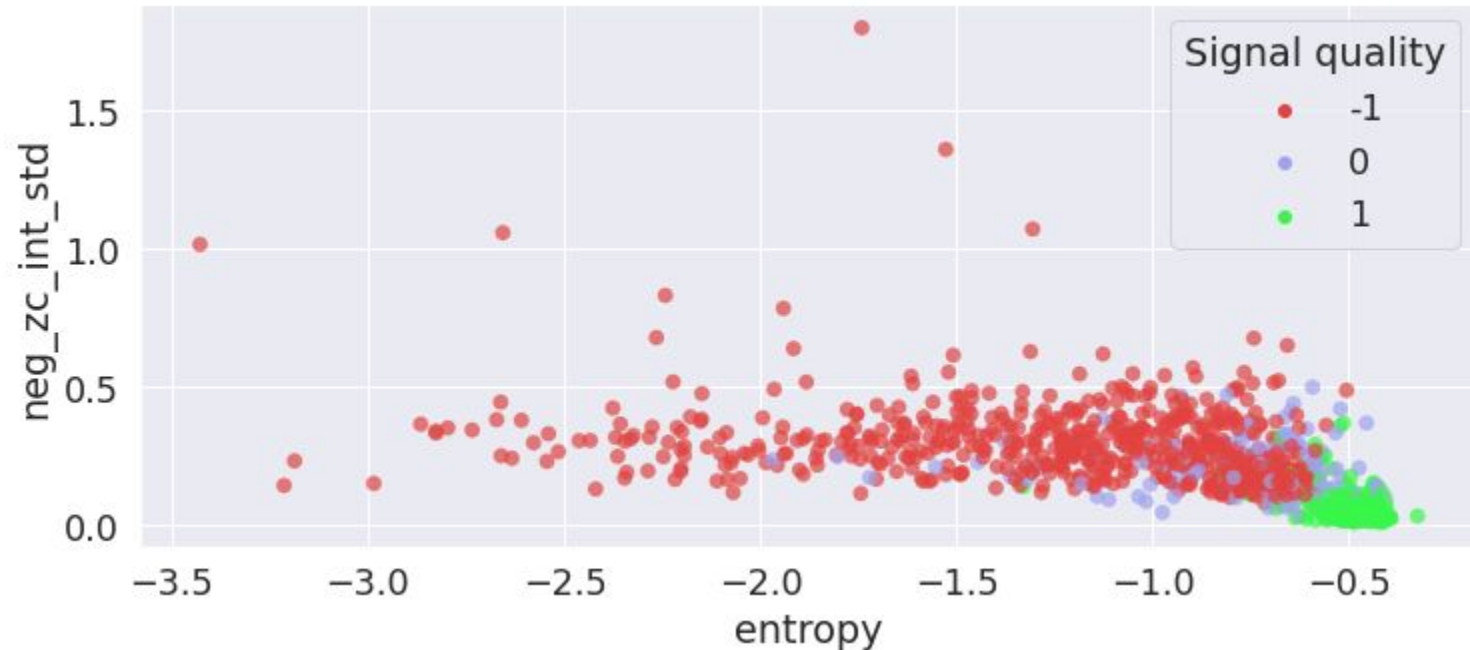




IF (entropy IS 8) AND (neg\_zc\_int\_std IS 2) THEN (quality IS medium)

IF (entropy IS 9) AND (neg\_zc\_int\_std IS 1) THEN (quality IS high)

IF (entropy IS 10) AND (neg\_zc\_int\_std IS 1) THEN (quality IS high)

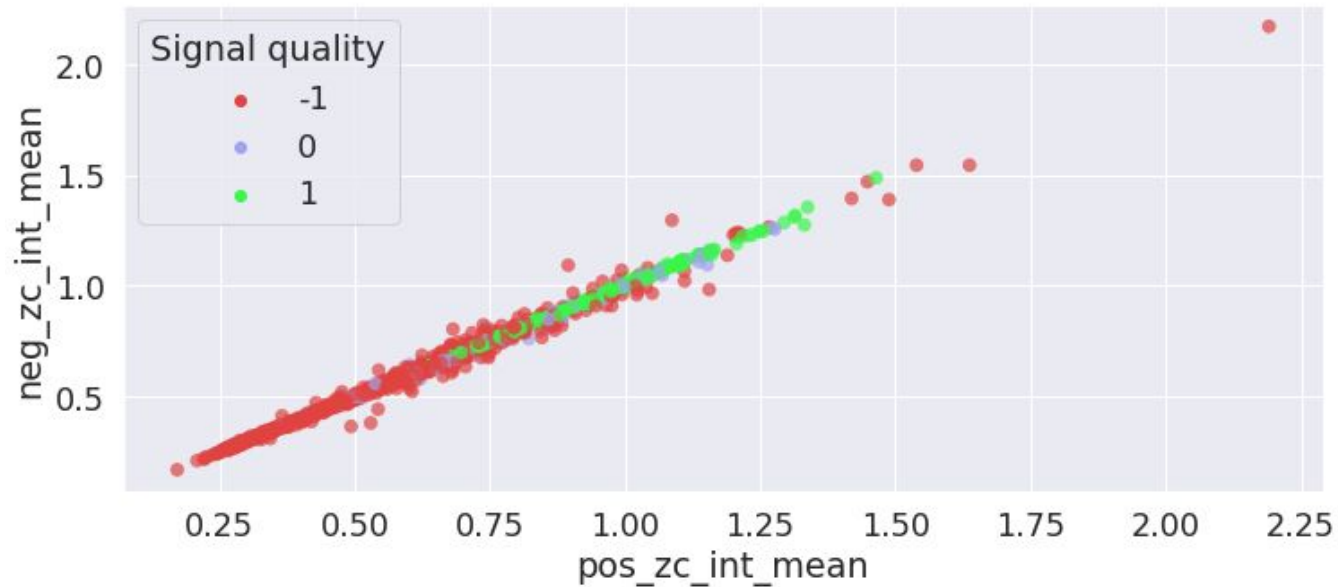


IF (pos\_zc\_int\_mean IS 1) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 1) THEN (quality IS low)

IF (pos\_zc\_int\_mean IS 2) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 2) THEN (quality IS low)

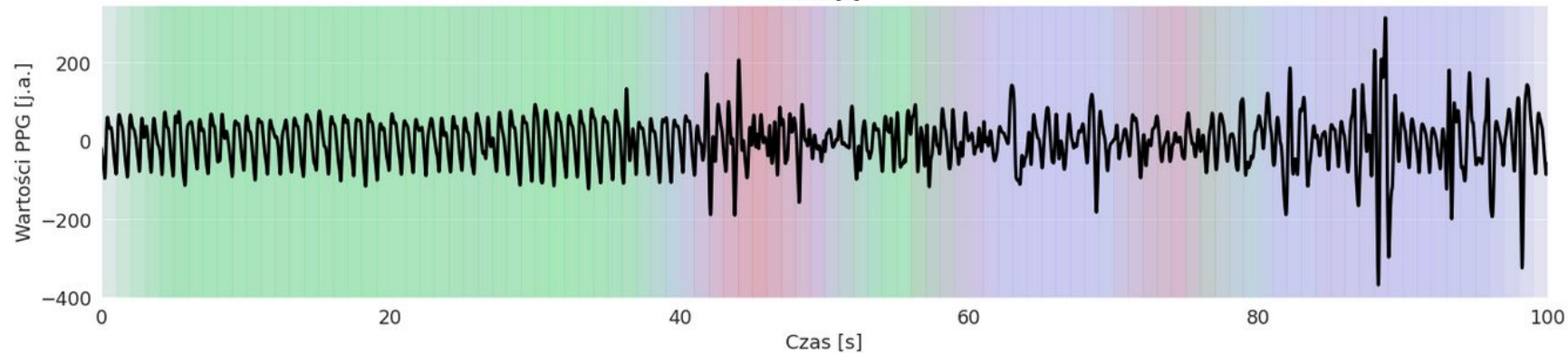
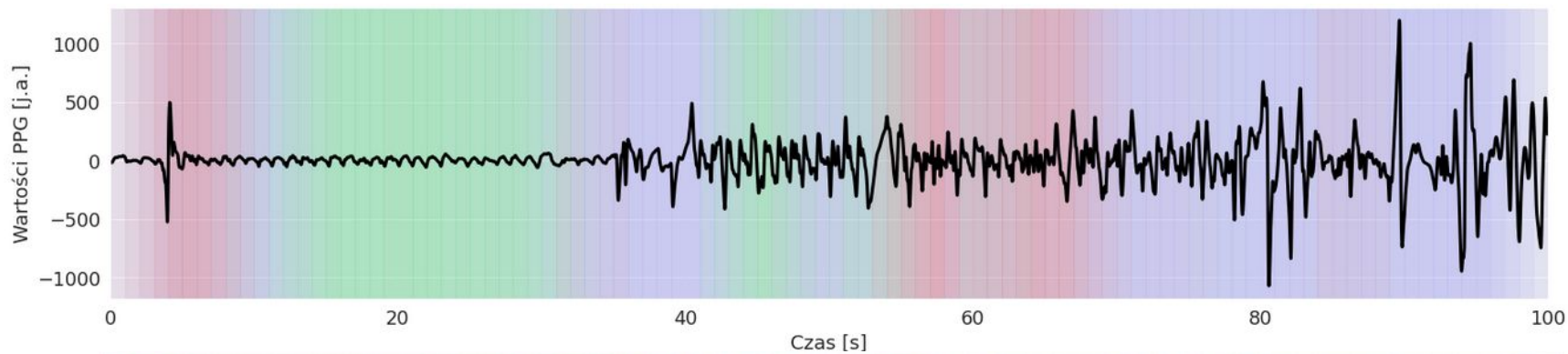
IF (pos\_zc\_int\_mean IS 3) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 3) THEN (quality IS low)

IF (pos\_zc\_int\_mean IS 8) AND (neg\_zc\_int\_mean IS 8) THEN (quality IS high)





# Wyniki



# Zalety stosowania technik rozmytych

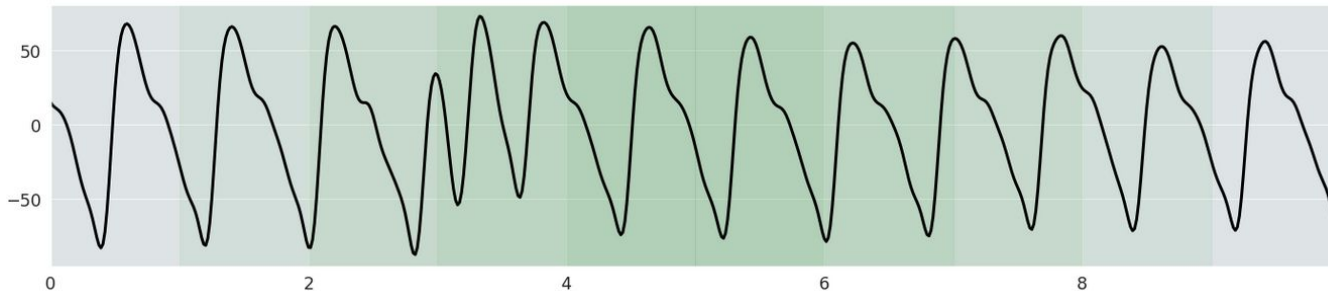
- Proste podejście oparte o reguły
- Otrzymana jakość sygnału jest ciągła z przedziału  $[-1, 1]$ . Klasyczne metody uczenia maszynowego (np. drzewo decyzyjne) zwracają jakość ze zbioru  $\{-1, 0, 1\}$

# Wady stosowania technik rozmytych

- Dużo pracy przy wyznaczaniu odpowiednich reguł
- Dłuższy czas inferencji
  - RandomForest: 150 ms  $\pm$  4.45 ms
  - Fuzzy: 2.92 s  $\pm$  98.3 ms

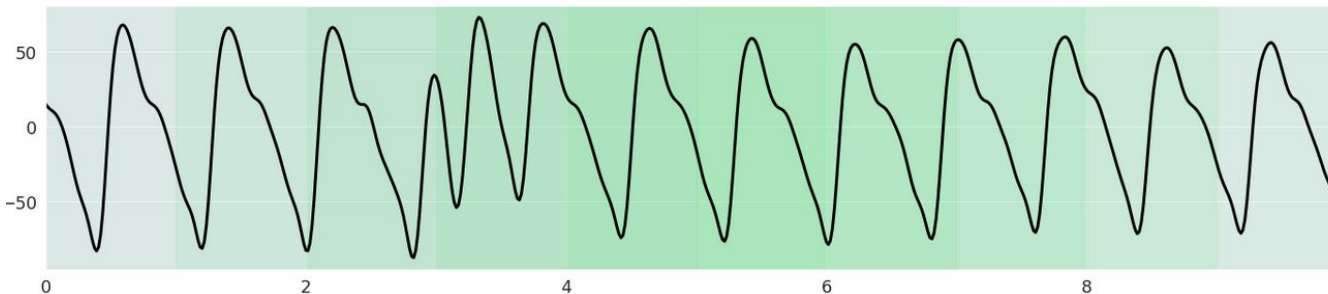
# Inferencja RandomForest vs Mamdani

## RandomForest



start	end	label
0	5	1.0
1	6	1.0
2	7	1.0
3	8	1.0
4	9	1.0
5	9	1.0

## Mamdani

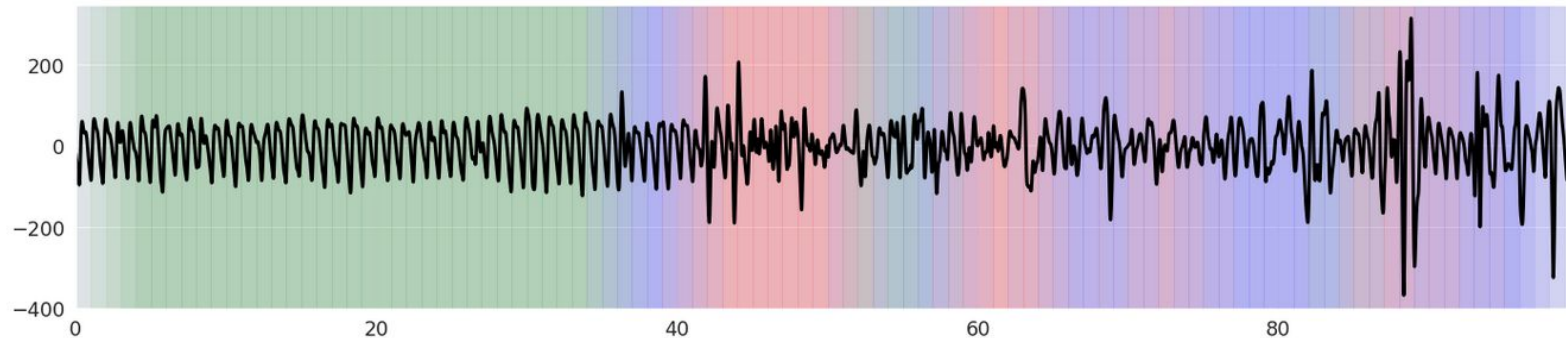


start	end	label
0	5	0.658495
1	6	0.682337
2	7	0.674330
3	8	0.676506
4	9	0.816360
5	9	0.816332

start	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
end	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	91	92	93	94	95	96	97	98	99	99
label	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0

3 rows × 96 columns

## RandomForest



start	0.0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.0	...	86.0	87.0	88.0	89.0	90.0	91.0	92.0	93.00	94.0	95.0
end	5.0	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.0	...	91.0	92.0	93.0	94.0	95.0	96.0	97.0	98.00	99.0	99.0
label	0.7	0.68	0.66	0.67	0.74	0.74	0.77	0.78	0.69	0.7	...	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.08	0.0	0.0

3 rows × 96 columns

## Mamdani

