

Споредба на цените на НУРХ во период  
2018-2024, нивно предвидување и  
паметно менаџирање на батериски  
систем

Изработил: Столе Јовановски – 221112

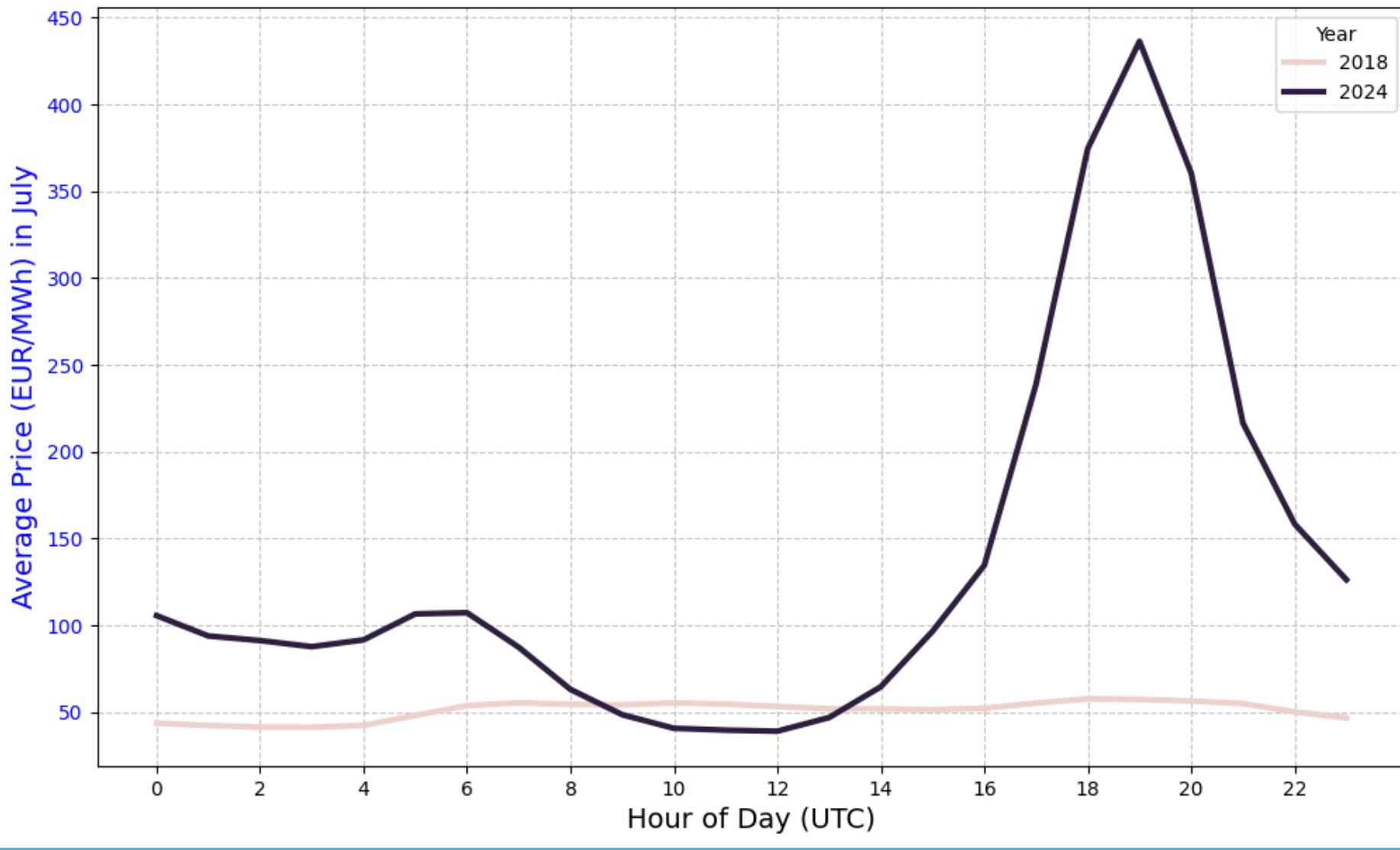
Ментор: проф. д-р Александра Дединец

# Зошто е важно паметното управување со енергетските системи?

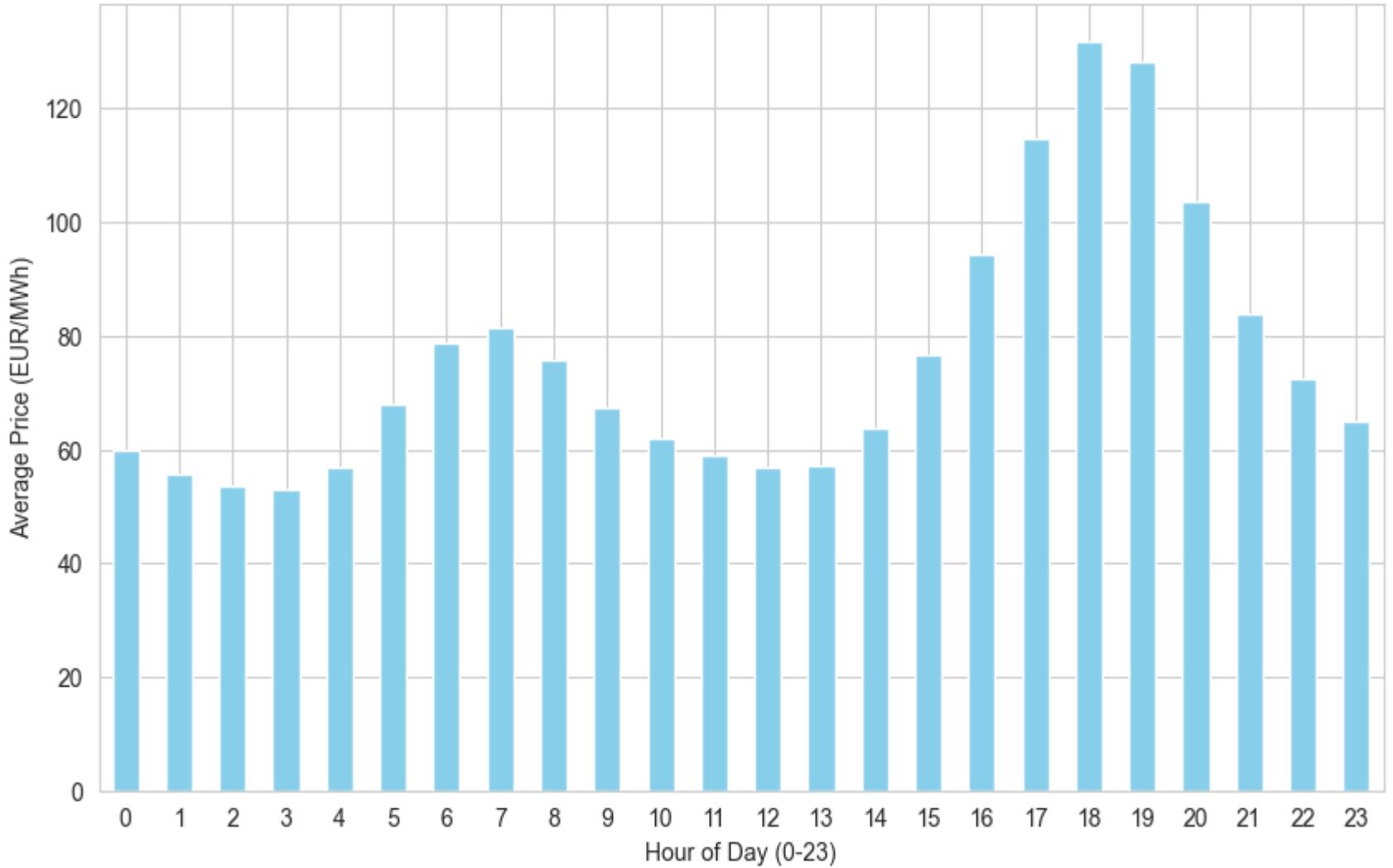
1. Новите технологии обезбедуваат нови извори на електрична енергија
2. Сепак овие нови обновливи извори на енергија (ОИЕ) знаат да бидат нестабилни, непредвидливи во нивното производство.
3. Идејата за овој проект е како да се намали неизвесноста при производство, купување или користење на ел. енергија од вакви извори.
4. Да се знае кои се очекувањата и како да се прилагодиме на новите времиња.

Производство на ел. енергија со помош на соларни панели:

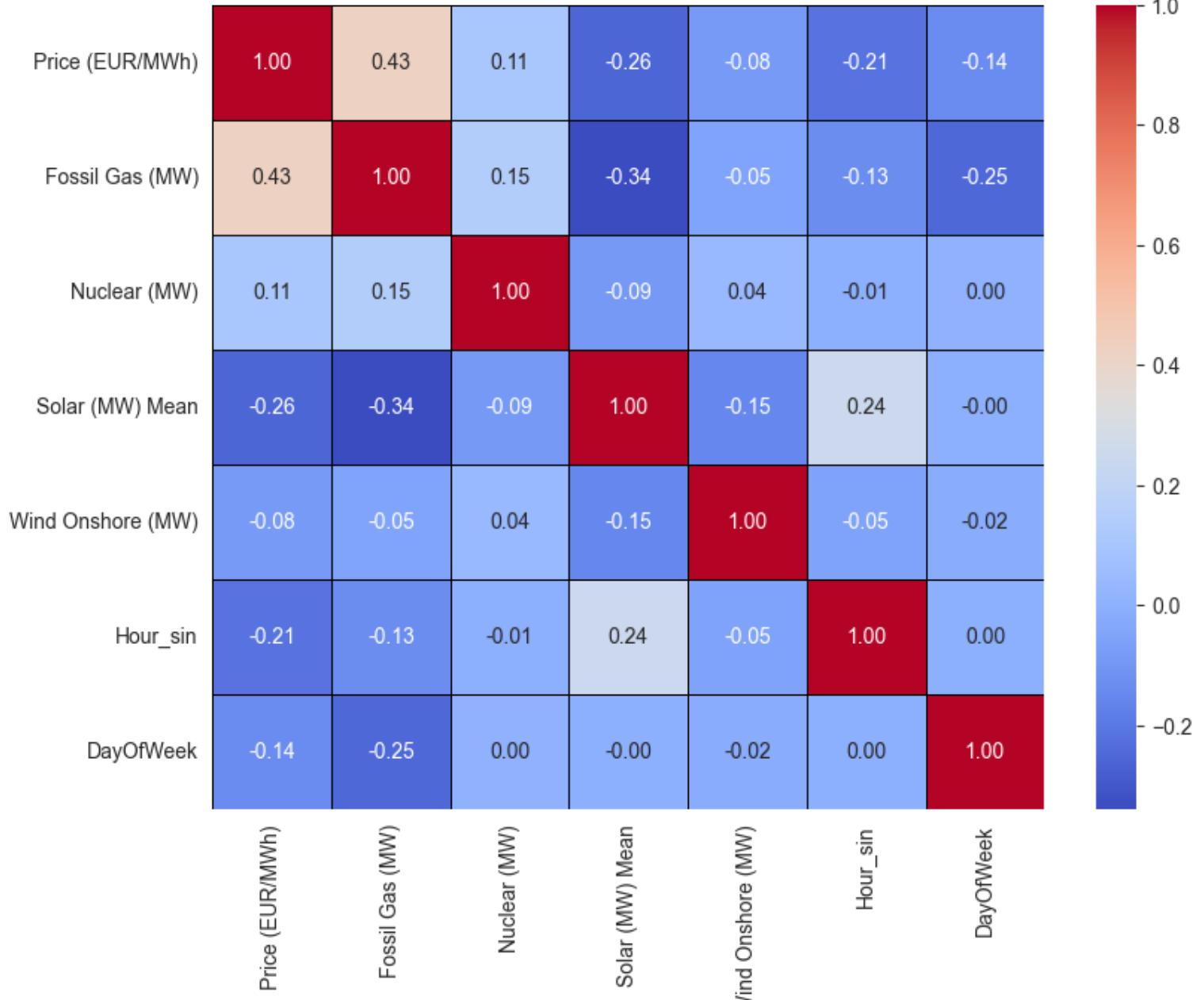
Година	Број на часови	Просечно производство	Максимално производство
2018	0	NaN	NaN
2024	8760	649.01	3330.58



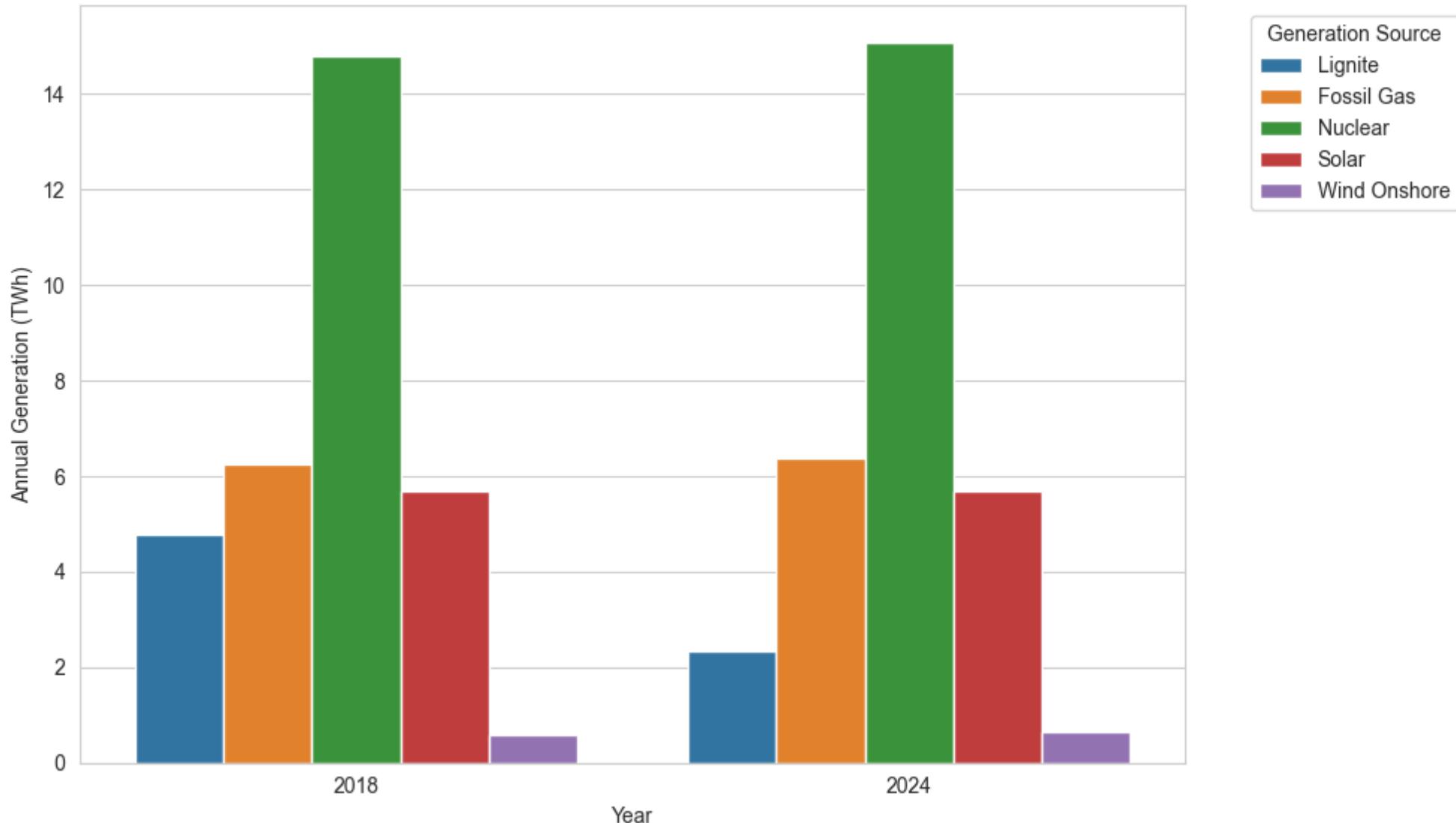
Average Hourly Price Profile (2018 & 2024)



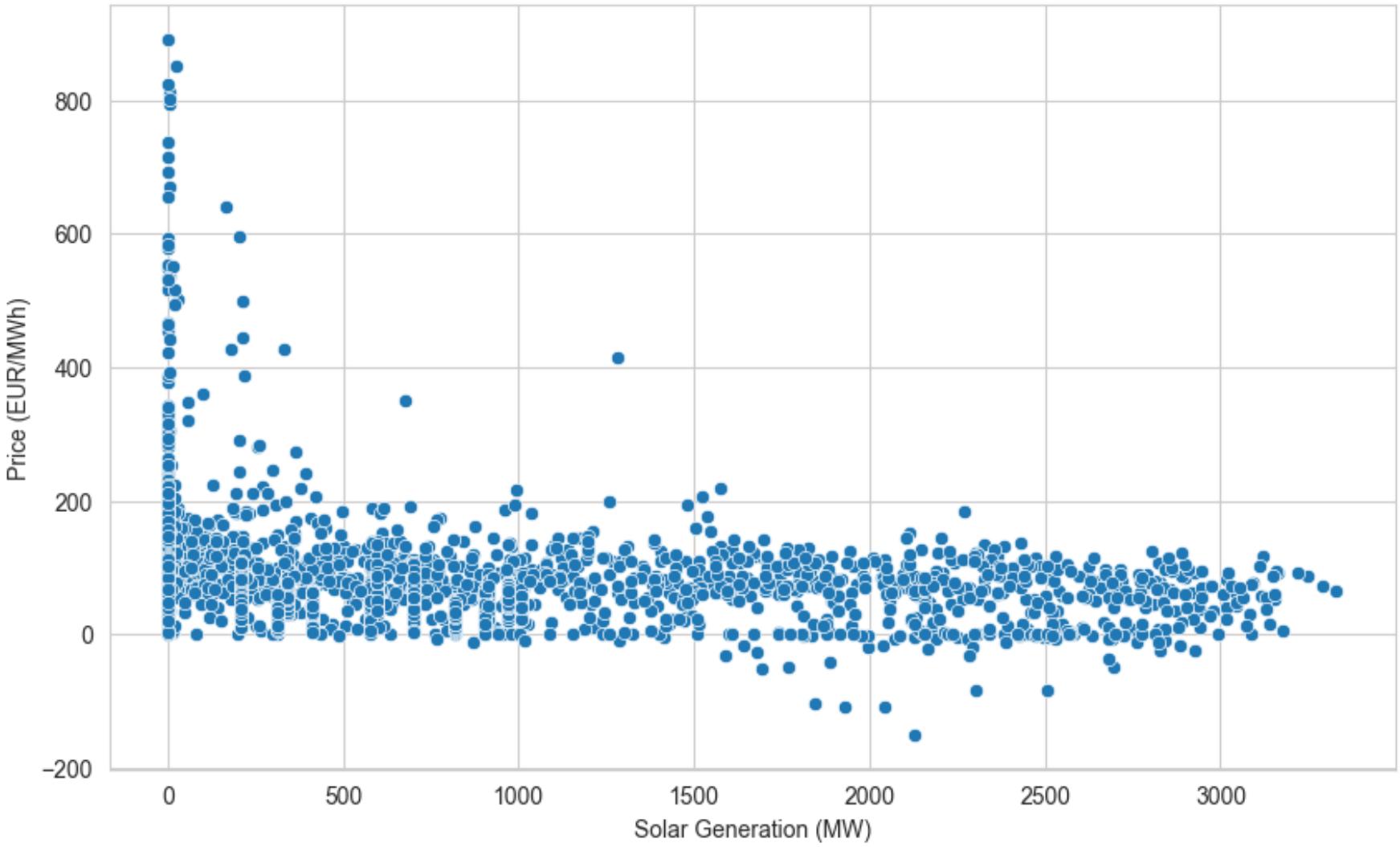
Correlation Heatmap: Price vs. Key Features



Annual Electricity Generation Mix Comparison (TWh)



Price vs. Solar Generation (Sample)



G11	X	✓	fx	A	B	C	D
1	Actual Generation per Production Type - Generation						
2	Aggregated Generation per Type [16.1.B&C]						
3	01/01/2025 00:00 - 01/01/2026 00:00 (UTC)						
4	MTU	BZN HU	C	D	E	F	G
5	MTU	Without Sequence					
6		Day-ahead (EUR/MWh)					
7	31/12/2024 23:00:00 - 31/12/2024 23:15:00	147.25					
8	31/12/2024 23:15:00 - 31/12/2024 23:30:00	147.25					
9	31/12/2024 23:30:00 - 31/12/2024 23:45:00	147.25					
10	31/12/2024 23:45:00 - 01/01/2025 00:00:00	147.25					
11	01/01/2025 00:00:00 - 01/01/2025 00:15:00	126.12					
12	01/01/2025 00:15:00 - 01/01/2025 00:30:00	126.12					
13	01/01/2025 00:30:00 - 01/01/2025 00:45:00	126.12					
14	01/01/2025 00:45:00 - 01/01/2025 01:00:00	126.12					
15	01/01/2025 01:00:00 - 01/01/2025 01:15:00	116.50					
16	01/01/2025 01:15:00 - 01/01/2025 01:30:00	116.50					
17	01/01/2025 01:30:00 - 01/01/2025 01:45:00	116.50					
18	01/01/2025 01:45:00 - 01/01/2025 02:00:00	116.50					
19	01/01/2025 02:00:00 - 01/01/2025 02:15:00	71.49					
20	01/01/2025 02:15:00 - 01/01/2025 02:30:00	71.49					
21	01/01/2025 02:30:00 - 01/01/2025 02:45:00	71.49					
22	01/01/2025 02:45:00 - 01/01/2025 03:00:00	71.49					
23	01/01/2025 03:00:00 - 01/01/2025 03:15:00	68.66					
24	01/01/2025 03:15:00 - 01/01/2025 03:30:00	68.66					
25	01/01/2025 03:30:00 - 01/01/2025 03:45:00	68.66					
26	01/01/2025 03:45:00 - 01/01/2025 04:00:00	68.66					
27	01/01/2025 04:00:00 - 01/01/2025 04:15:00	41.58					
28	01/01/2025 04:15:00 - 01/01/2025 04:30:00	41.58					
29	01/01/2025 04:30:00 - 01/01/2025 04:45:00	41.58					
30	01/01/2025 04:45:00 - 01/01/2025 05:00:00	41.58					
31	01/01/2025 05:00:00 - 01/01/2025 05:15:00	32.45					
32	01/01/2025 05:15:00 - 01/01/2025 05:30:00	32.45					
33	01/01/2025 05:30:00 - 01/01/2025 05:45:00	32.45					
34	01/01/2025 05:45:00 - 01/01/2025 06:00:00	32.45					
35	01/01/2025 06:00:00 - 01/01/2025 06:15:00	32.45					
36	01/01/2025 06:15:00 - 01/01/2025 06:30:00	30.46					
37	01/01/2025 06:30:00 - 01/01/2025 06:45:00	30.46					
38	01/01/2025 06:45:00 - 01/01/2025 07:00:00	30.46					
39	01/01/2025 07:00:00 - 01/01/2025 07:15:00	30.46					
40	01/01/2025 07:15:00 - 01/01/2025 07:30:00	26.83					
41	01/01/2025 07:30:00 - 01/01/2025 07:45:00	26.83					
42	01/01/2025 07:45:00 - 01/01/2025 08:00:00	26.83					
43	01/01/2025 08:00:00 - 01/01/2025 08:15:00	44.72					
44	01/01/2025 08:15:00 - 01/01/2025 08:30:00	44.72					
45	01/01/2025 08:30:00 - 01/01/2025 08:45:00	44.72					
46	01/01/2025 08:45:00 - 01/01/2025 09:00:00	44.72					
47	01/01/2025 09:00:00 - 01/01/2025 09:15:00	181.24					
48	01/01/2025 09:15:00 - 01/01/2025 09:30:00	181.24					
49	01/01/2025 09:30:00 - 01/01/2025 09:45:00	181.24					
50	01/01/2025 09:45:00 - 01/01/2025 10:00:00	181.24					
	01/01/2025 10:00:00 - 01/01/2025 10:15:00	181.24					
	01/01/2025 10:15:00 - 01/01/2025 10:30:00	181.24					
	01/01/2025 10:30:00 - 01/01/2025 10:45:00	181.24					
	01/01/2025 10:45:00 - 01/01/2025 11:00:00	181.24					
	01/01/2025 11:00:00 - 01/01/2025 11:15:00	181.24					
	01/01/2025 11:15:00 - 01/01/2025 11:30:00	181.24					
	01/01/2025 11:30:00 - 01/01/2025 11:45:00	181.24					
	01/01/2025 11:45:00 - 01/01/2025 12:00:00	181.24					
	01/01/2025 12:00:00 - 01/01/2025 12:15:00	181.24					
	01/01/2025 12:15:00 - 01/01/2025 12:30:00	181.24					
	01/01/2025 12:30:00 - 01/01/2025 12:45:00	181.24					
	01/01/2025 12:45:00 - 01/01/2025 13:00:00	181.24					
	01/01/2025 13:00:00 - 01/01/2025 13:15:00	181.24					
	01/01/2025 13:15:00 - 01/01/2025 13:30:00	181.24					
	01/01/2025 13:30:00 - 01/01/2025 13:45:00	181.24					
	01/01/2025 13:45:00 - 01/01/2025 14:00:00	181.24					
	01/01/2025 14:00:00 - 01/01/2025 14:15:00	181.24					
	01/01/2025 14:15:00 - 01/01/2025 14:30:00	181.24					
	01/01/2025 14:30:00 - 01/01/2025 14:45:00	181.24					
	01/01/2025 14:45:00 - 01/01/2025 15:00:00	181.24					
	01/01/2025 15:00:00 - 01/01/2025 15:15:00	181.24					
	01/01/2025 15:15:00 - 01/01/2025 15:30:00	181.24					
	01/01/2025 15:30:00 - 01/01/2025 15:45:00	181.24					
	01/01/2025 15:45:00 - 01/01/2025 16:00:00	181.24					
	01/01/2025 16:00:00 - 01/01/2025 16:15:00	181.24					
	01/01/2025 16:15:00 - 01/01/2025 16:30:00	181.24					
	01/01/2025 16:30:00 - 01/01/2025 16:45:00	181.24					
	01/01/2025 16:45:00 - 01/01/2025 17:00:00	181.24					
	01/01/2025 17:00:00 - 01/01/2025 17:15:00	181.24					
	01/01/2025 17:15:00 - 01/01/2025 17:30:00	181.24					
	01/01/2025 17:30:00 - 01/01/2025 17:45:00	181.24					
	01/01/2025 17:45:00 - 01/01/2025 18:00:00	181.24					
	01/01/2025 18:00:00 - 01/01/2025 18:15:00	181.24					
	01/01/2025 18:15:00 - 01/01/2025 18:30:00	181.24					
	01/01/2025 18:30:00 - 01/01/2025 18:45:00	181.24					
	01/01/2025 18:45:00 - 01/01/2025 19:00:00	181.24					
	01/01/2025 19:00:00 - 01/01/2025 19:15:00	181.24					
	01/01/2025 19:15:00 - 01/01/2025 19:30:00	181.24					
	01/01/2025 19:30:00 - 01/01/2025 19:45:00	181.24					
	01/01/2025 19:45:00 - 01/01/2025 20:00:00	181.24					
	01/01/2025 20:00:00 - 01/01/2025 20:15:00	181.24					
	01/01/2025 20:15:00 - 01/01/2025 20:30:00	181.24					
	01/01/2025 20:30:00 - 01/01/2025 20:45:00	181.24					
	01/01/2025 20:45:00 - 01/01/2025 20:59:59	181.24					
	01/01/2025 20:59:59 - 01/01/2025 21:00:00	181.24					
	01/01/2025 21:00:00 - 01/01/2025 21:15:00	181.24					
	01/01/2025 21:15:00 - 01/01/2025 21:30:00	181.24					
	01/01/2025 21:30:00 - 01/01/2025 21:45:00	181.24					
	01/01/2025 21:45:00 - 01/01/2025 21:59:59	181.24					
	01/01/2025 21:59:59 - 01/01/2025 22:00:00	181.24					
	01/01/2025 22:00:00 - 01/01/2025 22:15:00	181.24					
	01/01/2025 22:15:00 - 01/01/2025 22:30:00	181.24					
	01/01/2025 22:30:00 - 01/01/2025 22:45:00	181.24					
	01/01/2025 22:45:00 - 01/01/2025 22:59:59	181.24					
	01/01/2025 22:59:59 - 01/01/2025 23:00:00	181.24					
	01/01/2025 23:00:00 - 01/01/2025 23:15:00	181.24					
	01/01/2025 23:15:00 - 01/01/2025 23:30:00	181.24					
	01/01/2025 23:30:00 - 01/01/2025 23:45:00	181.24					
	01/01/2025 23:45:00 - 01/01/2025 23:59:59	181.24					
	01/01/2025 23:59:59 - 01/01/2025 24:00:00	181.24					
	01/01/2025 24:00:00 - 01/01/2025 24:15:00	181.24					
	01/01/2025 24:15:00 - 01/01/2025 24:30:00	181.24					
	01/01/2025 24:30:00 - 01/01/2025 24:45:00	181.24					
	01/01/2025 24:45:00 - 01/01/2025 24:59:59	181.24					
	01/01/2025 24:59:59 - 01/01/2025 25:00:00	181.24					
	01/01/2025 25:00:00 - 01/01/2025 25:15:00	181.24					
	01/01/2025 25:15:00 - 01/01/2025 25:30:00	181.24					
	01/01/2025 25:30:00 - 01/01/2025 25:45:00	181.24					
	01/01/2025 25:45:00 - 01/01/2025 25:59:59	181.24					
	01/01/2025 25:59:59 - 01/01/2025 26:00:00	181.24					
	01/01/2025 26:00:00 - 01/01/2025 26:15:00	181.24					
	01/01/2025 26:15:00 - 01/01/2025 26:30:00	181.24					
	01/01/2025 26:30:00 - 01/01/2025 26:45:00	181.24					
	01/01/2025 26:45:00 - 01/01/2025 26:59:59	181.24					
	01/01/2025 26:59:59 - 01/01/2025 27:00:00	181.24					
	01/01/2025 27:00:00 - 01/01/2025 27:15:00	181.24					
	01/01/2025 27:15:00 - 01/01/2025 27:30:00	181.24					
	01/01/2025						

# Приказ на MLPRegressor невронска мрежа

Зошто MLPRegressor ?

1. Моделирање на нелинеарни врски
2. Способност за обработка на многу карактеристики (High Dimensionality)
3. Флексибилност на архитектурата

```
X = df_train[features].values
y = df_train[target].values

# Резервна опција за чистење на NaN (за робустност)
X[np.isnan(X)] = np.nanmean(X)
y[np.isnan(y)] = np.nanmean(y)

scaler_X = MinMaxScaler()
scaler_y = MinMaxScaler()
X_scaled = scaler_X.fit_transform(X)
y_scaled = scaler_y.fit_transform(y.reshape(-1, 1))

# Поделба на податоци
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y_scaled, test_size=0.2, random_state=42)

# 4.3. Дефинирање и тренирање на моделот (MLP Tuning)
# Зголемување на бројот на итерации и невроните за да се искористат новите лаг карактеристики
mlp_model = MLPRegressor(
    hidden_layer_sizes=(150, 100, 50), # Поголема мрежа
    activation='relu',
    solver='adam',
    max_iter=1000, # Повеќе итерации
    random_state=42,
    verbose=False,
    early_stopping=True,
    n_iter_no_change=30 # Подолга толеранција за подобра тренирање
)

print("Тренирајќе на MLP модел...")
mlp_model.fit(X_train, y_train.ravel())
print("MLP моделот е трениран.")

# 4.4. Евалуација на моделот
y_pred_scaled = mlp_model.predict(X_test)

# Враќање на предвидувањата во оригинална скала
y_pred = scaler_y.inverse_transform(y_pred_scaled.reshape(-1, 1))
y_test_original = scaler_y.inverse_transform(y_test)

# Евалуациски метрики
rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_test_original, y_pred))
mae = mean_absolute_error(y_test_original, y_pred)
r2 = r2_score(y_test_original, y_pred)
```

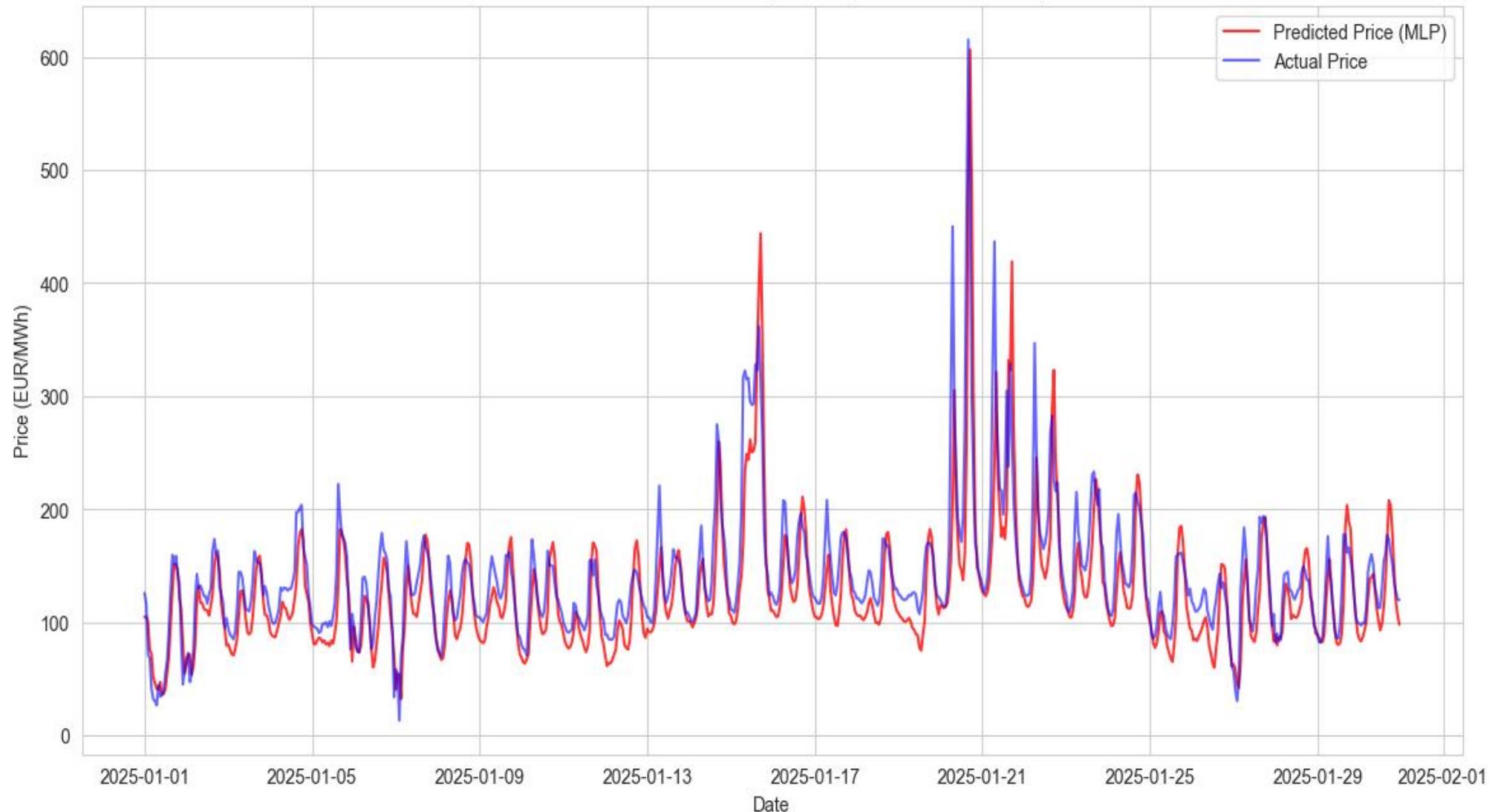
# Евалуација на предвидувањата за 2025 (за достапните актуелни цени)

RMSE: 29.92 EUR/MWh

MAE: 20.30 EUR/MWh

R2: 0.7603

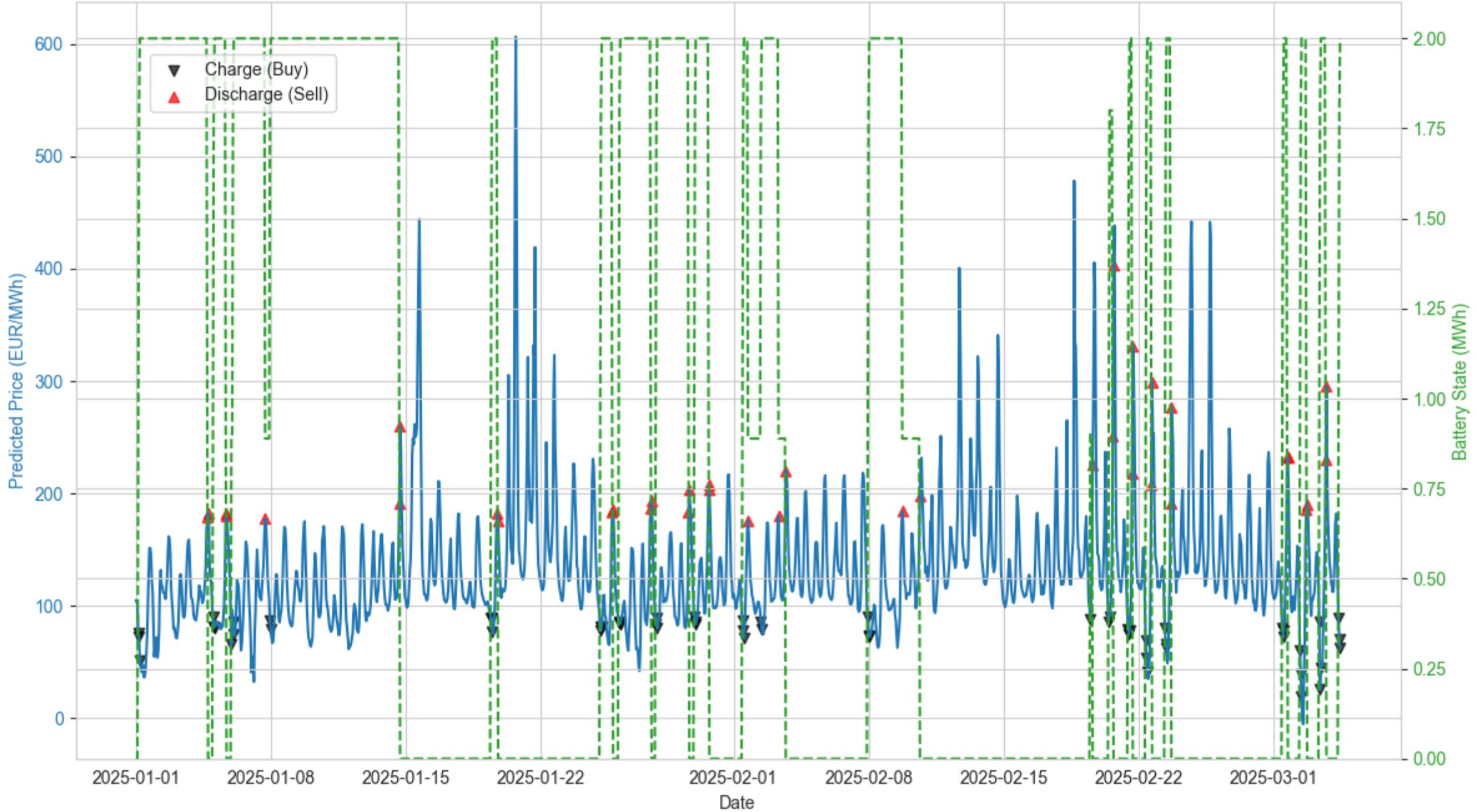
Predicted vs. Actual Electricity Prices (First Month of 2025)



- Параметри на батеријата: 2 MWh / 1 MW
- Ефикасност на полнење: 0.9
- Ефикасност на празнење: 0.9
- Ова ни значи дека при секој 1 мегават струја што ја полниме/празниме батеријата имаме загуба од 10%
- Затоа при правење на математиката треба да вклучиме дека треба да купиме малце над 2MW струја (околу 2.2MW) за да ја наполниме батеријата до максимум.
- Нашата батерија ќе ја полниме со ел. енергија само кога цената на струјата на берза ќе падне под 15 перцентил, а ќе ја празниме (трошиме) кога цената ќе го достигне 85 перцентил
- Вкупен приход од трговија (за симулирани 1500 часа, нешто над 2 месеци): 10,397.74 EUR
- Проекција на годишен приход: 60,722.77 EUR

Што доколку сакаме да имплементираме батериски систем за нашите потреби?

### Battery Arbitrage Simulation: 2MWh / 1MW (2025 Forecast)



Благодарам на вниманието