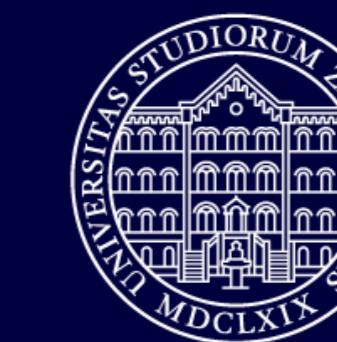


# Modeliranje dekarboniziranoga višeenergijskoga industrijskoga postrojenja kao pružatelja usluga fleksibilnosti u uvjetima cjenovne nesigurnosti



Matija Kostelac, mag. ing. el. techn. inf.

mentor: izv. prof. dr. sc. Tomislav Capuder  
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

## 1. Uvod

Industrijska postrojenja će biti bitni sudionici u tranziciji prema niskougljičnim tehnologijama:

- 25% potrošnje finalne energije u EU
- Energetski intenzivna postrojenja
- Trošak energije čini značajni udio u cijeni proizvoda
- Smatraju se višeenergijskim sustavima
- Lokalna proizvodnja električne i toplinske energije
- Komplicirani sustavi sastavljeni od raznih proizvodnih procesa i uređaja za snabdijevanje energetskih potreba
- Postojeća razina automatizacije

Takva postrojenja su pokazala značajan potencijal za:

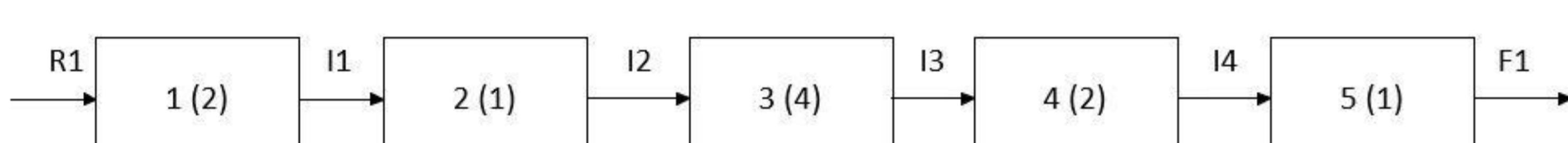
- Programe odziva potrošnje
- Samostalno natjecanje na energetskim tržištima
- Značajno smanjenje štetnih emisija
- Integraciju vodikovih tehnologija i obnovljivih izvora energije

## 2. Opis problema i metodologija

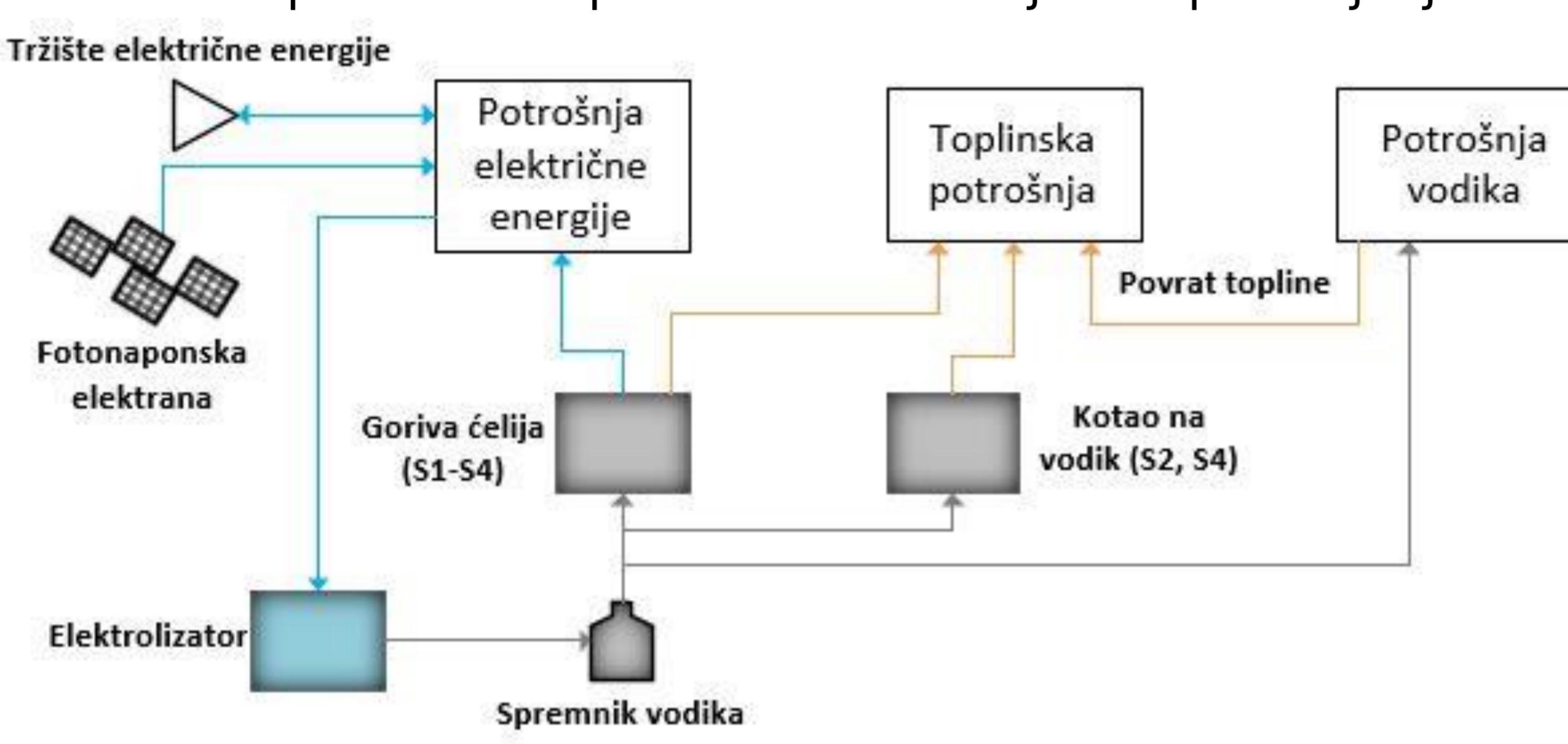
Model se sastoji od dva dijela:

1. Optimizacija rada proizvodnih procesa u kojima se od sirovih materijala dolazi do finalnog produkta. Rad ovih procesa predstavlja sektore potrošnje. (Slika 1)
2. Optimizacija uređaja za proizvodnju električne i toplinske energije, vodika, rada obnovljivih izvora energije i tržišta električne energije. (Slika 2)

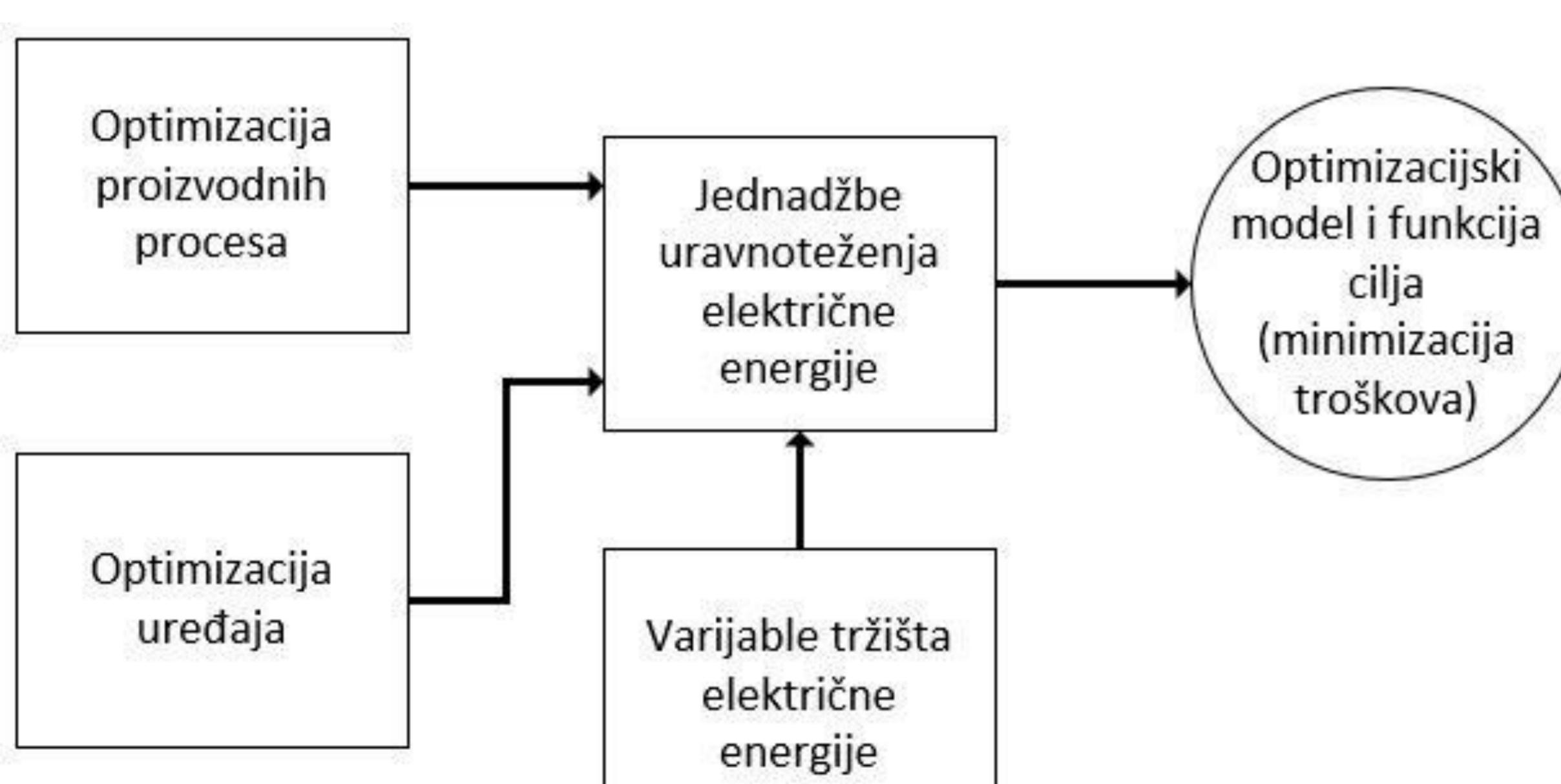
Optimacijski model spada u vrstu mješovitog cjelobrojnog linearног programiranja. (Slika 3)



Slika 1. Lanac proizvodnih procesa u industrijskom postrojenju



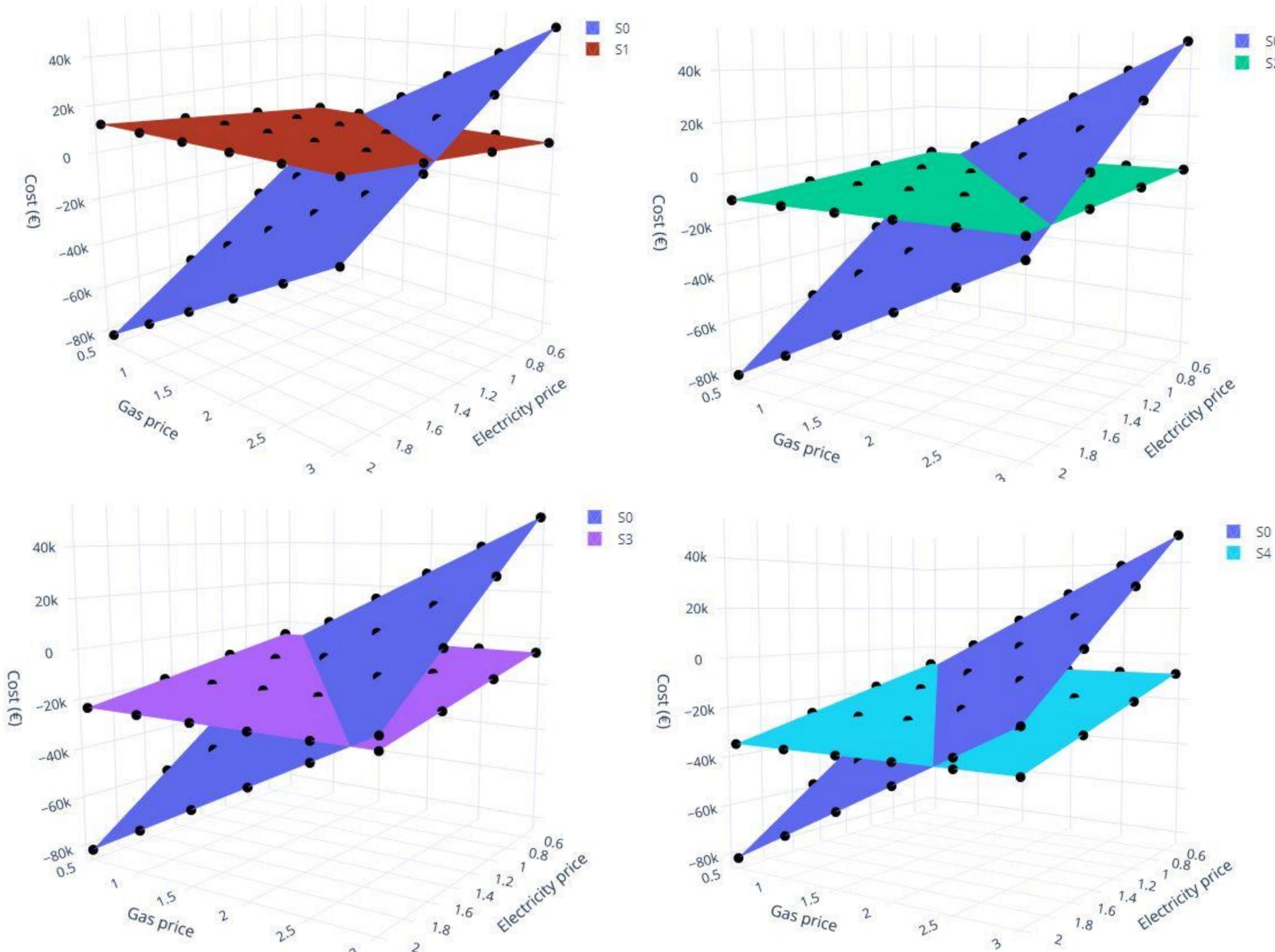
Slika 2. Uređaji za zadovoljavanje energetskih potreba postrojenja



Slika 3. Shema optimizacijskog modela

## 3. Ekonomска analiza

Pet slučajeva su međusobno uspoređeni. S0 predstavlja klasično postrojenje pogonjeno prirodnim plinom, dok S1-4 koriste vodikove tehnologije. Razlika između S1 i S2 je kotač na vodik i goriva ćelija prilagođena za toplinsku tj. električnu proizvodnju. S3 i S4 su rasporedom isti kao S1 i S2, te se razlikuju u tome što koriste efikasniji elektrolizator (komercijalno nedostupan). Analiza je provedena za razne kombinacije cijena električne energije i plina, koji predstavljaju prošle i buduće cijene.



## 4. Analiza emisija stakleničkih plinova

Uspoređuju se S0 i S1 u dvije analize:

1. Normalni pogon za jedan set cijena.
2. Normalni pogon sa penaliziranim izvozom električne energije (potiče se bolje lokalno iskorištavanje električne energije).

Promatraju se 2 vrste emisija:

1. Direktne – nastale lokalno izgaranjem prirodnog plina
2. Indirektne – nastale proizvodnjom električne energije iz uvoza

Scenarij	Uvoz EE	Izvoz EE	Uvoz plina	CO2
S0	209,12	498,72	280,91	136.217,4
S1	636,8	503,57	0	84.693,8
S0 (pen.)	89,75	379,35	374,39	121.808,4
S1p (pen.)	133,23	0	0	17.719,23

## 5. Zaključak

Iz istraživanja su dovedeni iduci zaključci o implementaciji vodika:

- Ovisno o budućem kretanju cijena, mogu se mjeriti s tradicionalno jeftinim opcijama.
- Pružaju puno veću fleksibilnost te su puno manje osjetljive na promjenu cijena na tržištu.
- Potpuno su uklonjene direktnе emisije i uvelike smanjenje indirektne emisije.
- Mogu potpuno iskoristiti lokalnu proizvodnju električne energije.

## Zahvale

Djelomično financirano od strane Hrvatske zaklade za znanost i HEP Operatora distribucijskog sustava unutar projekta IMAGINE (PAR-2018) i od strane Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj projektom USBSE (KK.01.1.1.07)

## Kontakt



Matija Kostelac, mag. ing. el. techn. inf.  
matija.kostelac@fer.hr