

Dimenzioniranje i optimiranje vođenja centraliziranih toplinskih sustava na satnoj razini uzimajući u obzir toplinsku obnovu zgrada

Analiza slučaja za grad Zagreb

Matija Pavičević, Tomislav Novosel, Tomislav Pukšec, Neven Duić

Sadržaj

- Uvod
- Metode
- Optimizacijski model
- Scenarijska analiza
- Rezultati
- Zaključak

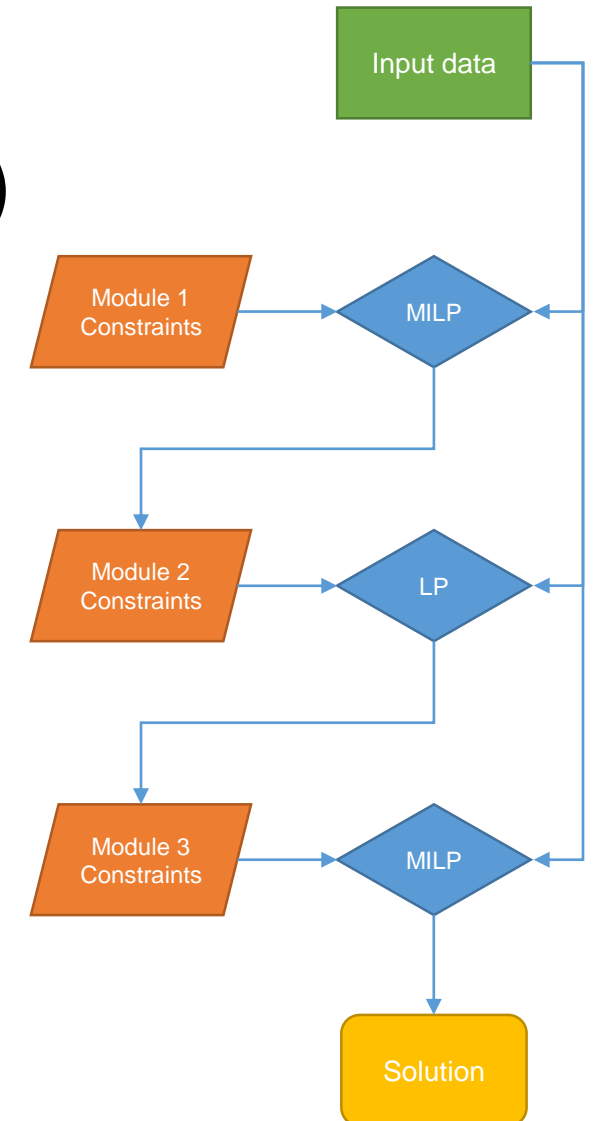
Uvod

- Nepredvidive cijene fosilnih goriva
- Ovisnost o uvozu energije
- Klimatske promjene
- EU strategije 2020, 2030 2050
- Integracija OIE:
 - Sunce, vjetar
 - Biogoriva i održiva biomasa
- Energetske uštede
- Cilj rada: Demonstracija alata za dugoročno planiranje i vođenje CTS-a s mogućnosti uzimanja u obzir obnovu toplinski neučinkovitih zgrada



Metode

- MILP (Kontinuirana, binarna i cjelobrojna optimizacija)
- Superstruktura (3 modula)
- **Modul 1**: MILP
 - Vremenski korak: 4, 8, 12 ili 24 h
 - Pojednostavljenje: sumiranjem / uprosječivanjem
 - Zanemarivanje: OIE intermitencija / vođenje
- **Modul 2**: LP
 - Vremenski korak; kvartalno / 1h
 - Cilj: finalne dimenzije pojedinih tehnologija
- **Modul 3**: MILP (vođenje)
 - Vremenski korak: polugodišnje / 1h



Metode

- Vođenje i upravljanje postrojenja - paljenje/gašenje (cijelobrojni problem)
- Rad postrojenja pri tehničkom minimumu (0 ili min-max) (binarni problem)
- Toplinski spremnik (punjenje, pražnjenje, dugoročna pohrana)

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Jedinica	$DEM \leq HOB_{min} + HP_{min}$	$DEM < HOB_{max} + HP_{max}$	$DEM < HOB_{max} + HP_{max} + ST$	$DEM > HOB + ST + HP$
ST	-	-	ON/OFF	ON
HOB	OFF	ON	ON	ON
TES	DISCHARGE	CHARGE	CHARGE	DISCHARGE
HP	ON/OFF	ON/OFF	ON/OFF	ON

Optimizacijski model

- Namijenjen za planiranje i optimiranje konfiguracije novih CTS
- Optimira veličinu i proizvodne kapacitete dostupnih tehnologija te smanjenje toplinskog opterećenja zbog toplinske obnove zgrada
- Funkcija cilja:
 - Investicija
 - Fiksni i varijabilni troškovi pogona i održavanja
 - Varijabilne učinkovitosti

$$\begin{aligned} \min C_{tot} = & (I_{HOB} + I_{HP} + I_{EH} + I_{ST} + I_{TES} + I_{BER}) \cdot \frac{1}{(1+d)^n} + c_{f_{HOB}} \cdot P_{HOB} + c_{f_{HP}} \cdot P_{HP} + c_{f_{EH}} \cdot P_{EH} + c_{f_{ST}} \\ & \cdot A_{ST} + c_{f_{TES}} \cdot V_{TES} + \sum_t \left(\frac{\dot{Q}_{HP_t}}{COP_t} + \frac{\dot{Q}_{EH_t}}{\eta_{EH}} \right) \cdot c_{EL_t} + c_{bio} \cdot \sum_t \frac{\dot{Q}_{HOB_t}}{\eta_{HOB}} \\ & + \left(\varepsilon_{EL} \cdot \sum_t \left(\frac{\dot{Q}_{HP_t}}{COP_t} + \frac{\dot{Q}_{EH_t}}{\eta_{EH}} \right) + \frac{\sum_t \dot{Q}_{HOB_t} \cdot \varepsilon_{HOB}}{\eta_{HOB}} \right) \cdot c_{CO_2} \end{aligned}$$

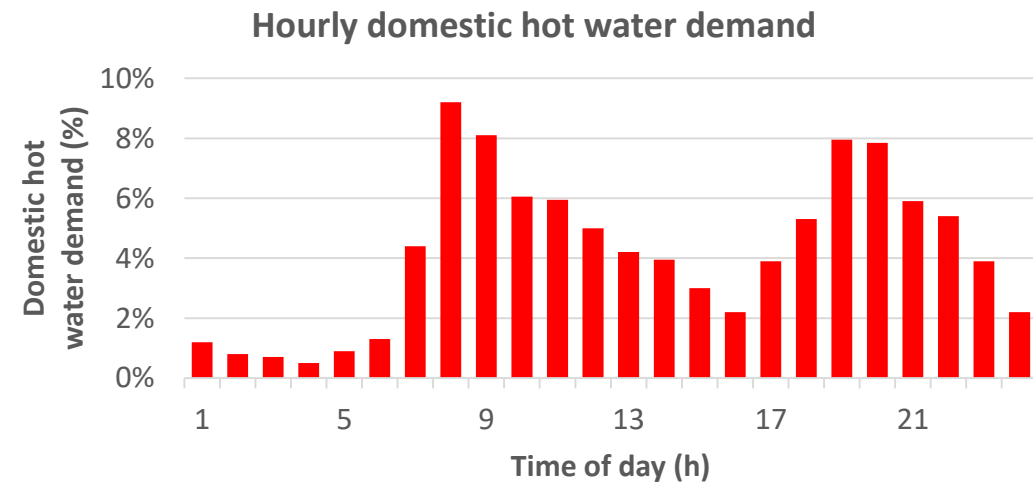
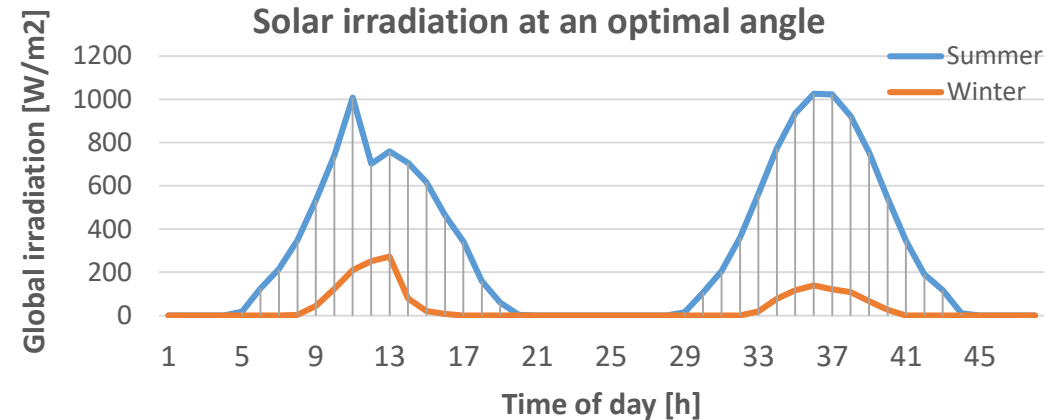
Scenarijska analiza

- Model je primijenjen na **gradsku četvrt Trnsko**
- Visoka **gustoća** naseljenosti
- **Sagrađeno** u ranim 60-im
- **5.331** stanovnik na 30 ha
- Sve zgrade istog tipa:
 - **Zidovi:** puna cigla 30 cm
 - **Fasada:** 3 cm
- **60%** stanova ima ugrađene **PVC prozore**, ostatak jedno staklene prozore s drvenim okvirima



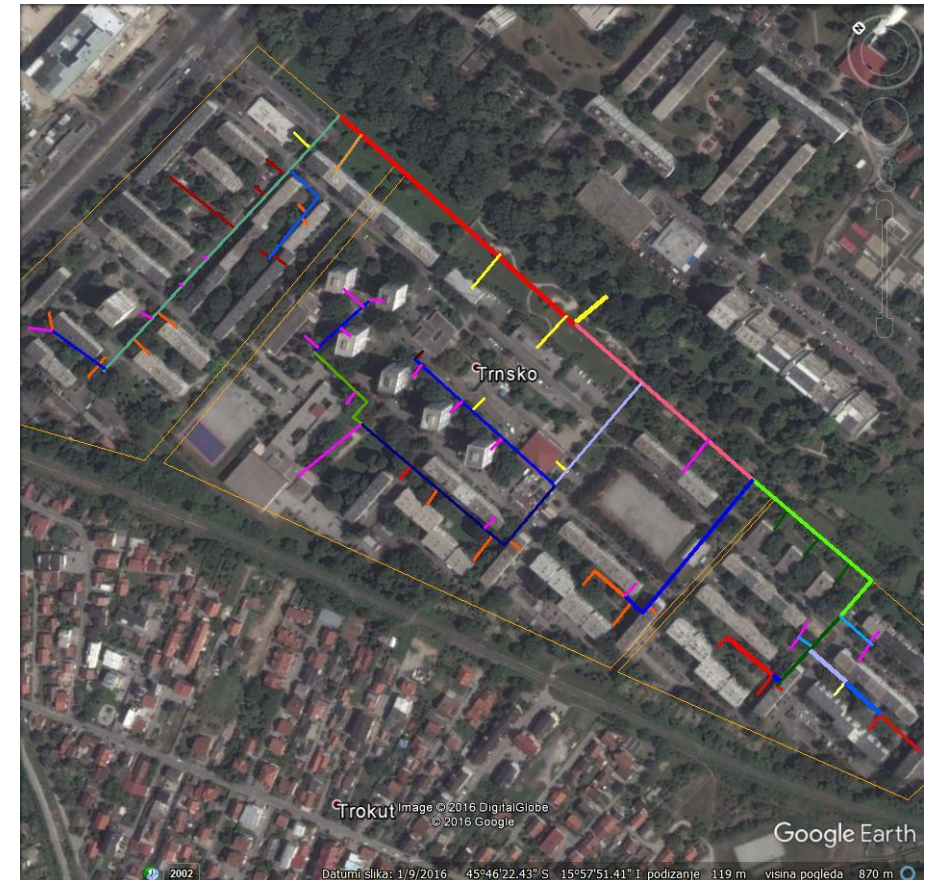
Scenarijska analiza

- Zgrade nisu obnavljane niti toplinski izolirane
- Pogodna klima za solarne kolektore
- Ideja razvoja obnovljivog CTS-a



Scenarijska analiza

Opis	Simbol	Iznos	Jedinica
Grijana površina	P_{heat}	219 296	m ²
Volumen	V_{heat}	551 266	m ³
Toplinsko opterećenje	Q_H	44 353	MWh
Priprema tople vode	Q_{DHW}	11 088	MWh
Ukupno toplinsko opterećenje	Q_{tot}	55 442	MWh
Vršno opterećenje	P_l	22 486	kW
Tlocrtna površina	A	284 777	m ²
Površina solarnih kolektora	P_{solar}	199 344	m ²



Scenarijska analiza

- **Referentni scenarij**

- Aproksimacija trenutnog sustava grijanja (Individualni plinski kotlovi)
- Idealni slučaj u kojem su svi kotlovi zamijenjeni novim kondenzacijskim
- Instalirani kapacitet dovoljno velik za pokrivanje maksimalnog opterećenja

- **Scenarij A i C**

- Model dimenzionira dostupne **tehnologije**
- **Dostupne tehnologije:** Kotao na biomasu, Dizalica topline, Solarni kolektori, Električni grijač i Toplinski spremnik

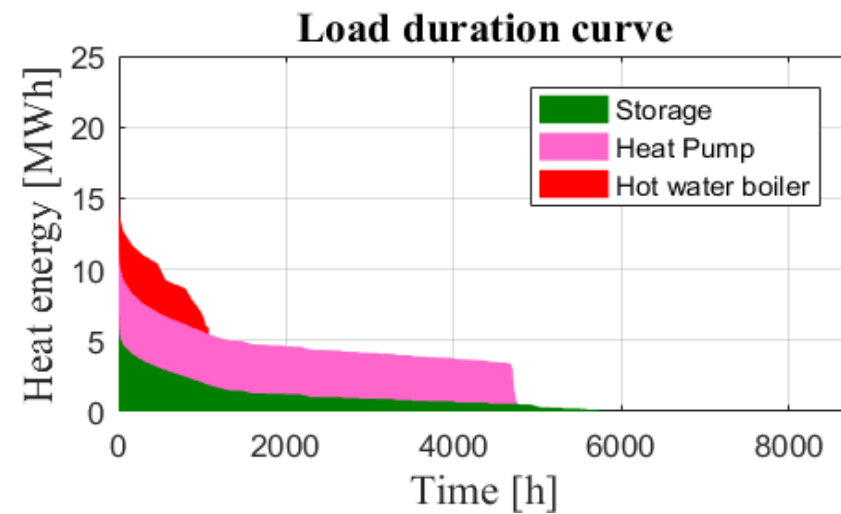
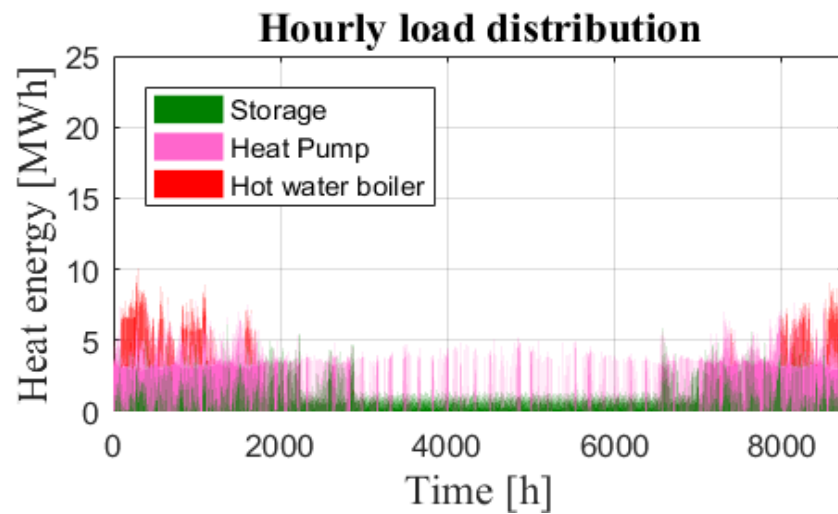
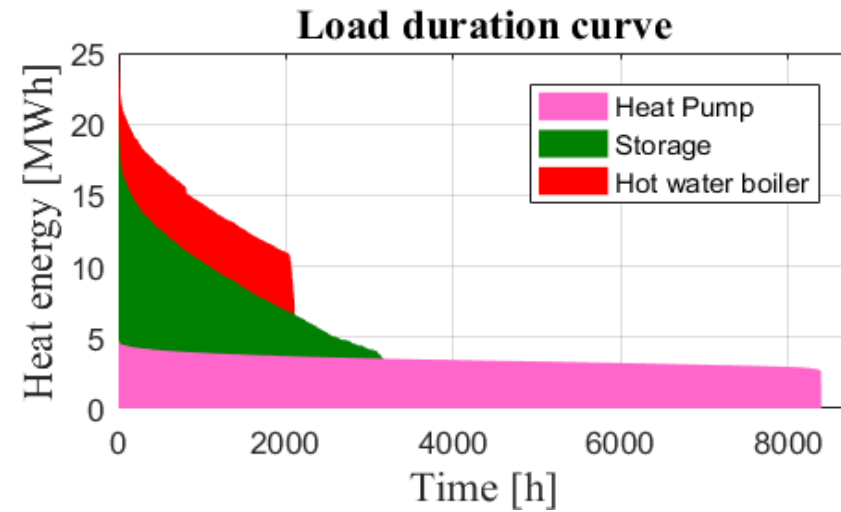
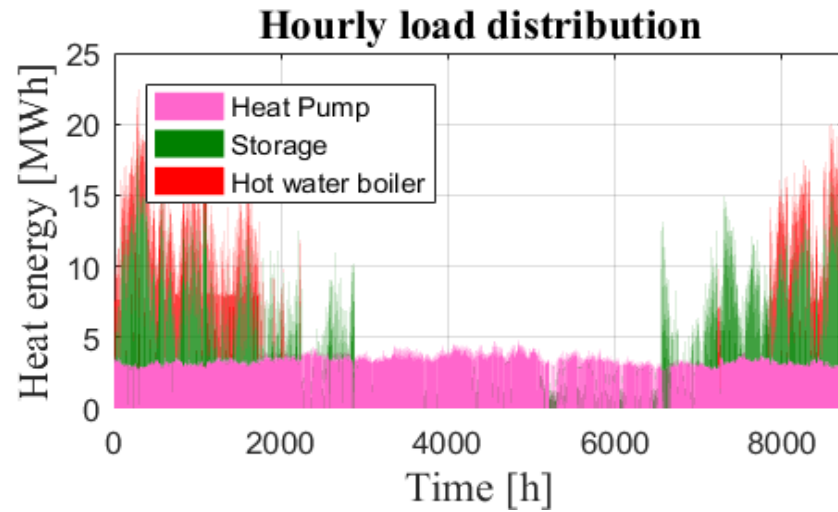
- **Scenarij B i D**

- Model dimenzionira dostupne tehnologije te razinu obnove

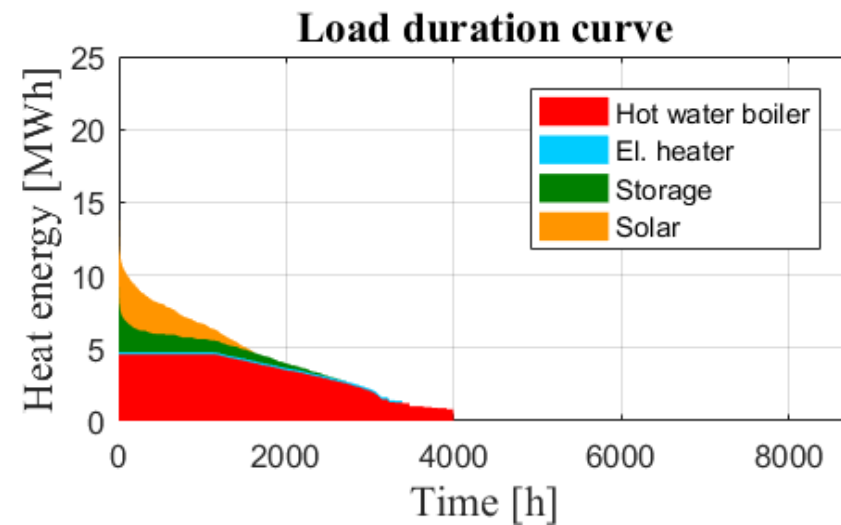
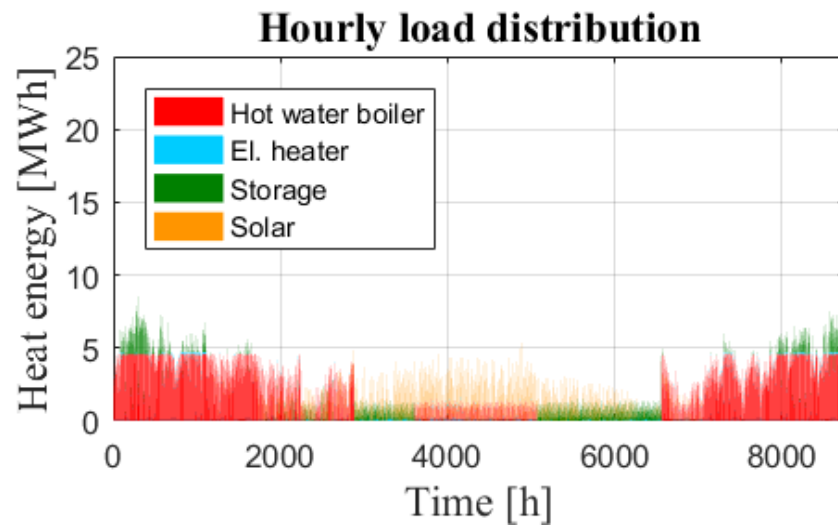
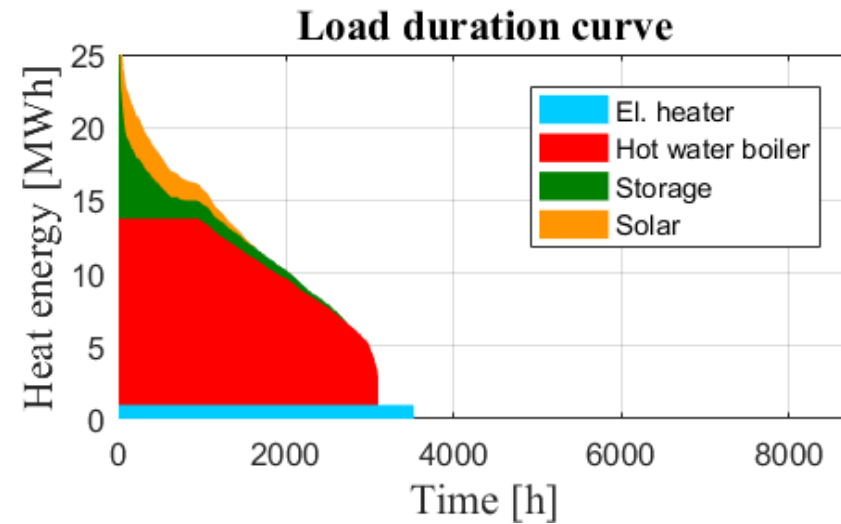
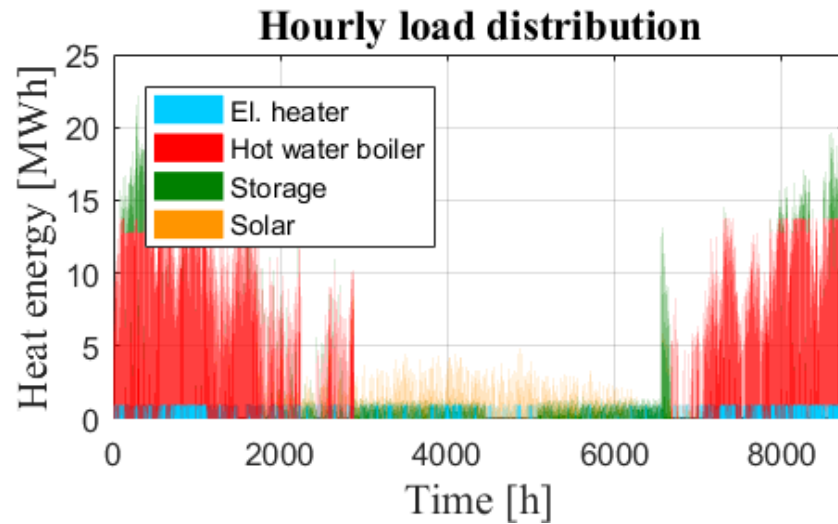
Rezultati

	Jedinica	Referentni	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C	Scenarij D
Plinski kotao	kW	22.468			-	
Kotao na biomasu	kW	-	3,397	2,525	13,170.8	4,521.6
Dizalica topline	kW	-	1,440	1,440	-	-
Električni grijač	kW	-	-	-	1,000	155.3
Solarni kolektori	m ²	-	-	-	6,696	6,696.7
Toplinski spremnik	m ³	-	200,000	1,881	29,480	29,480
Obnova zgrada	%	-	-	59	-	66.66
Izolacija	cm	-	-	8	-	20
Troškovi						
Diskontirani investicijski troškovi	€	357,950	1,187,100	590,410	858,680	821,960
Troškovi pogona	€	1,951,500	1,187,100	563,820	1,829,400	741,620
Troškovi održavanja	€	111,980	28,724	22,726	82,690	34,741
Trošak električne energije	€	-	463,870	258,350	102,610	14,993
Trošak biomase	€	-	433,830	142,560	1,538,000	666,420
Nivelirani trošak toplinske energije	€/MWh	65.14	58,53	62,29	70.71	97,05
Emisije CO ₂	t _{CO₂}	8,897	5,567	3,803	7,525	3,261

Rezultati

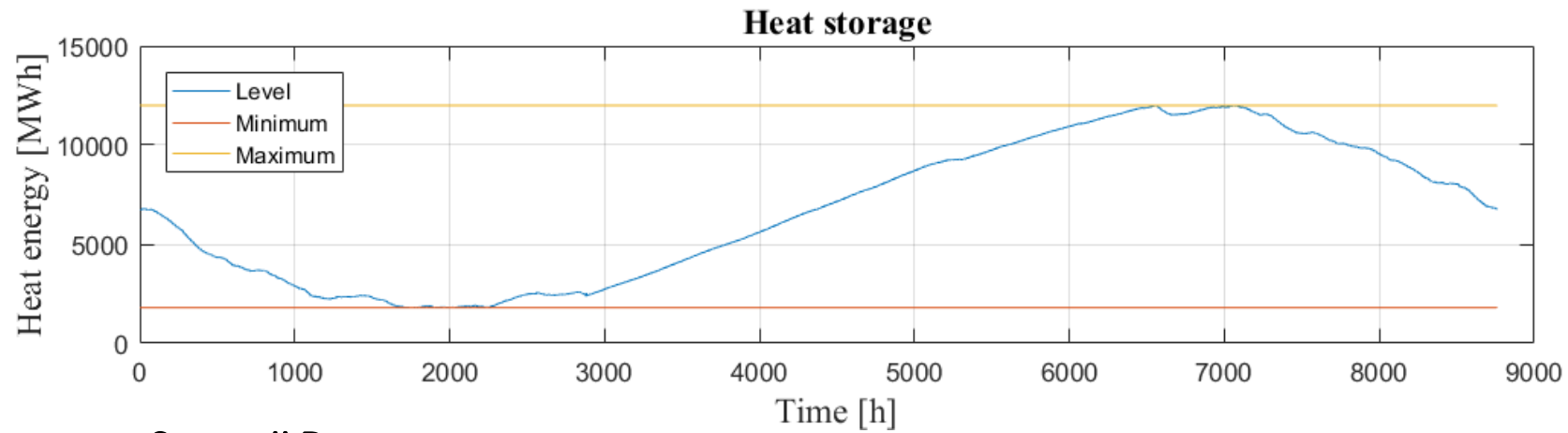


Rezultati

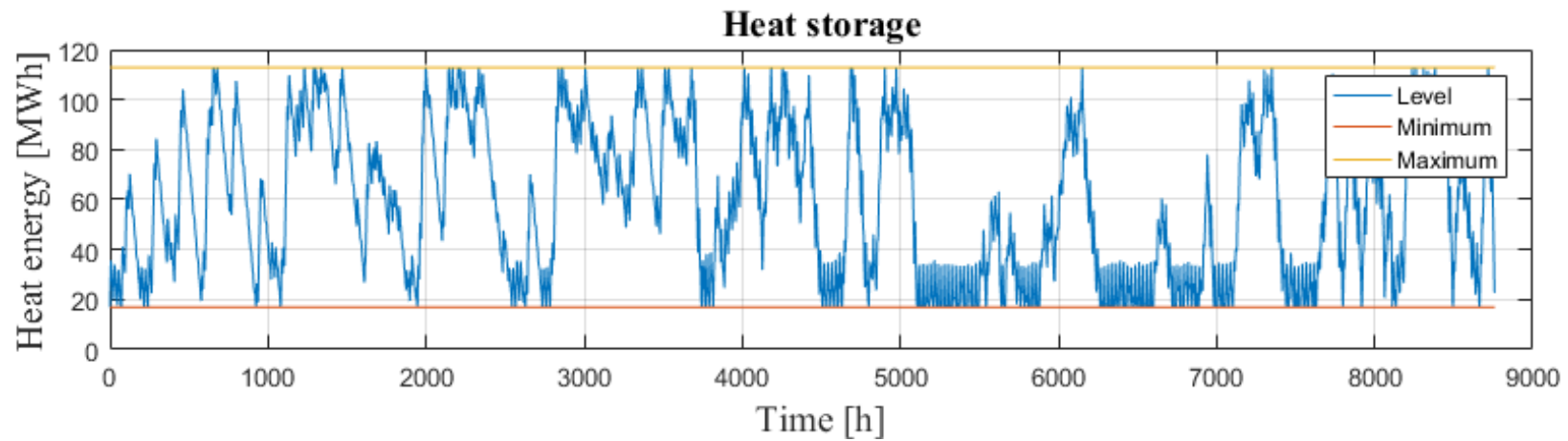


Rezultati

Scenarij A



Scenarij D



Zaključak

- Alat objedinjuje koncepte **vođenja i dugoročnog planiranja** izgradnje CTS-a te uzima u obzir **toplinsku obnovu zgrada**
- **Dimenzionira sustav** i zastupljenost dostupnih tehnologija uzimajući u obzir **ograničenja** poput individualnog upravljanja postrojenjima, troškova, učinkovitosti, pogonskih parametara i emisija
- Model je implementiran na **5 scenarija** u Zagrebačkom naselju **Trnsko**
- Rezultati su pokazali ekonomske (10.7 %) i ekološke (63.01 %) prednosti korištenja visokoučinkovitih CTS-a pognojenih OIE

Hvala na pažnji!

tomislav.novosel@fsb.hr

Projekt se financira u sklopu Programa Vlade Republike Hrvatske za poticanje istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području klimatskih promjena za razdoblje od 2015. do 2016. godine