

14. MEĐUNARODNI DANI ENERGETIKE I INVESTICIJA
NOVOSADSKI SAJAM, 15-16. OKTOBAR 2025.



SISTEM TRIGENERACIJE ZA JKP „GRADSKA TOPLANA“ NIŠ

Prezentuju:

Vladislav Pavićević
Miroslav Vujnović



- 50% finalne potrošnje energije u EU koristi se za grejanje zgrada, pripremu tople vode i toplote u industrijskim procesima. Takođe, hlađenje postaje sve značajniji faktor u potrošnji energije, što stvara izazove za elektroenergetske mreže. Sektori grejanja i hlađenja su ključni za postizanje smanjenja emisije CO₂.
- Tehnički gledano, postoje efikasniji načini za proizvodnju toplote u odnosu na kotlove.
- Budući energetske sistemi će uključivati veće međusobne interakcije između različitih oblika energije i sektora, posebno sektora grejanja i hlađenja i električne energije.
- Danas se električna energija sve više proizvodi iz obnovljivih izvora. Obnovljivi izvori energije (OIE) za grejanje i hlađenje, kao što je solarna termalna energija, do sada su bili uglavnom zanemareni. U suštini, još ne postoji sveobuhvatan pristup koji bi podržao primenu OIE u sistemima daljinskog grejanja i hlađenja.

- Što je energetska sistem manje efikasan i više intenzivan po emisiji ugljen-dioksida, to se otvaraju veće mogućnosti za koriscenje kogeneracije i trigeneracije, koje imaju prednostima u odnosu na proizvodnju (samo) električne energije iz termoelektrana.
- U ovoj prezentaciji opisane su konfiguracija, tehnički i finansijski parametri trigeneracionog postrojenja (TP) koje E3 International predlaže za primenu u Kotlovnici Kliničkog centra (BH CC) i za Sportski centar Čair. Projekat je realizovan od strane SESS d.o.o. u saradnji sa daljinskim sistemom grejanja Niš (Toplana Niš). Trigeneraciono postrojenje je projektovano da proizvodi električnu energiju i toplotu pomoću gasnog motora, za potrebe generisanja električne energije i toplote za pripremu sanitarne tople vode, kao i za grejanje i hlađenje pomoću kompresione toplotne pumpe (HP) i/ili apsorpcione toplotne pumpe (AHP).

PREDNOSTI:

- Mogućnost jeftinije proizvodnje električne energije
- Generisanje dodatnih prihoda
- Rezervno napajanje za UKC i toplanu
- Smanjenje emisija

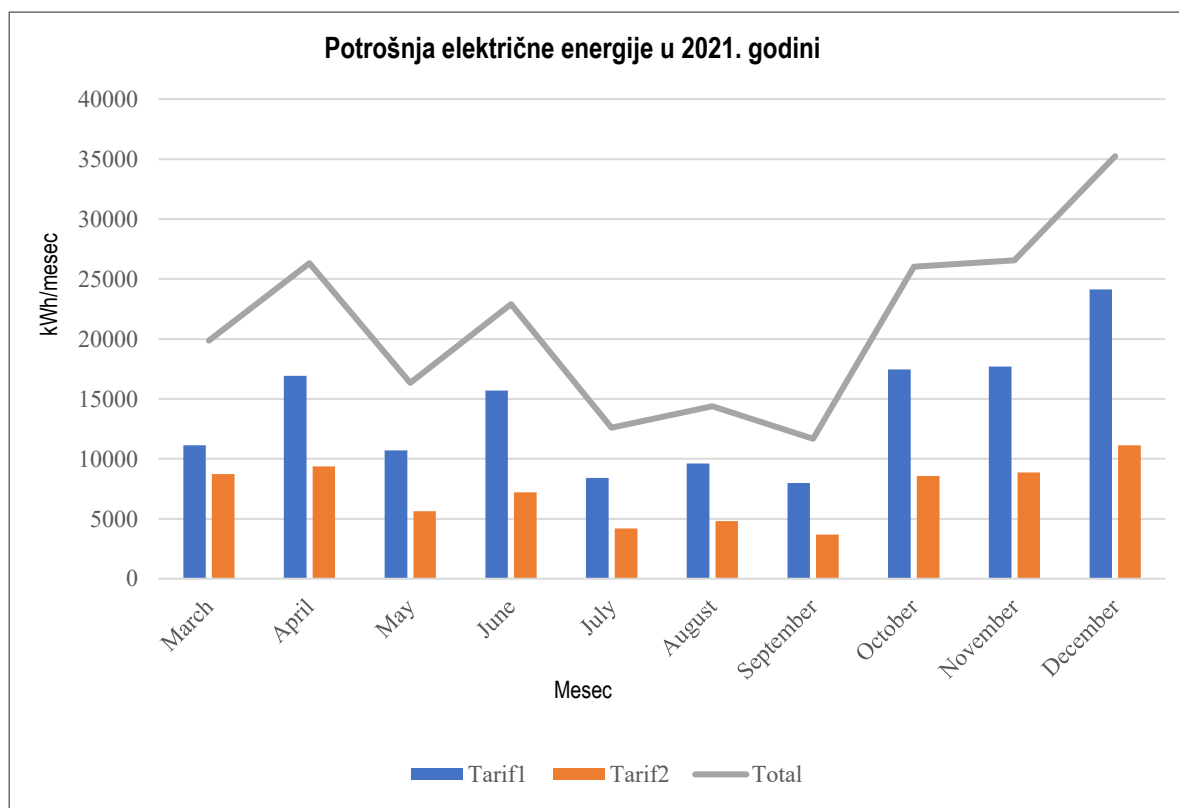
OGRANIČENJA:

- Nestabilna cena prirodnog gasa
- Ograničenja propisana regulativom
- Nedostatak stručnog znanja za korišćenje

OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTOVANJA TRIGENERACIJSKOG POSTROJENJA

- Razvijanje profila različitih potreba za toplotom i hlađenjem na odgovarajućim pritiscima za proučavane primene.
- Profil potrošnje električne energije mora biti uskladjen sa profilom potrošnje toplote. Ovi profili obično uključuju zahteve za toplotom i energijom za „tipične“ nedelje ili mesece u sezoni ili u određenom mesecu godine.
- Dostupnost goriva i aktuelni troškovi, kao i projekcija budućih troškova. Studija takođe treba da uključi i preradu sekundarnog goriva u okviru razvoja sistema snabdevanja energijom.
- Raspoloživost ugovorene električne energije i njeni sadašnji i očekivani budući troškovi.
- Tacnost podataka o autputima postrojenja mora biti na istom nivou detalja kao podaci o potrošnji procesne toplote.
- Tacna procena kapaciteta i karakteristike glavne (potrošaca i generacije) opreme. Ova procena obično određuje da li treba instalirati neki rezervni kapacitet i/ili dopunsko sagorevanje.
- Ekonomski vek trajanja postrojenja, procesa i trigeneracionog sistema.

POTROŠNJA:



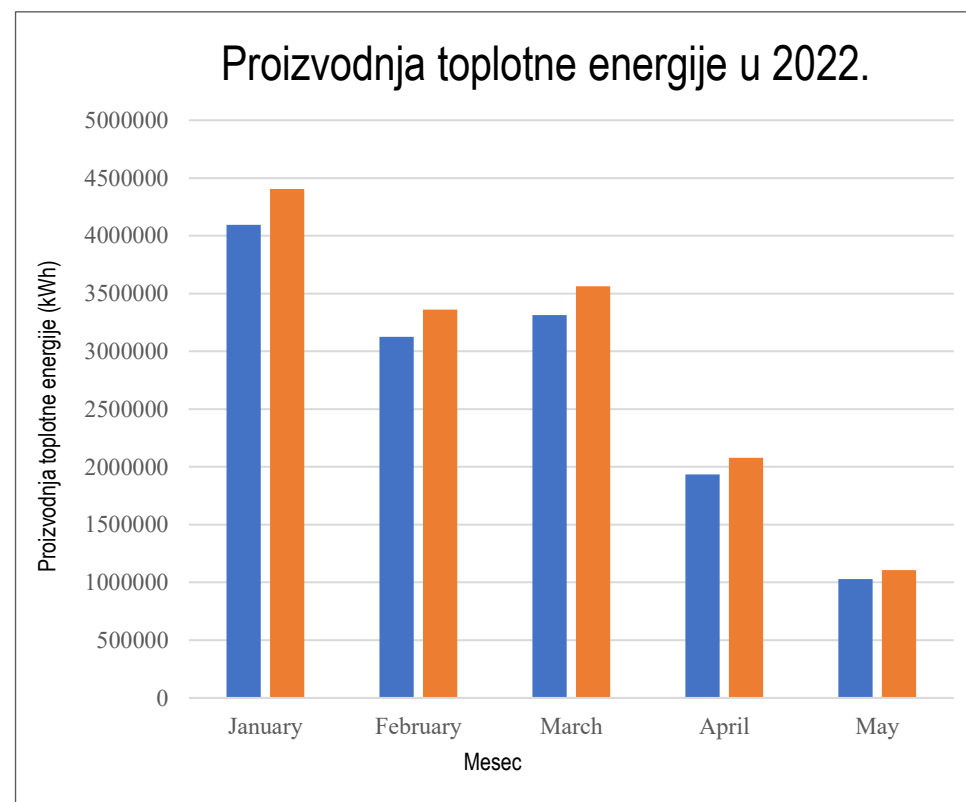
KARAKTERISTIKE:

- Značajna razlika između maksimalne i minimalne mesečne potrošnje električne energije;
- Snaga potrebna za „pokrivanje“ potrošnje električne energije u sistemima daljinskog grejanja (**DH**) je relativno je mala.

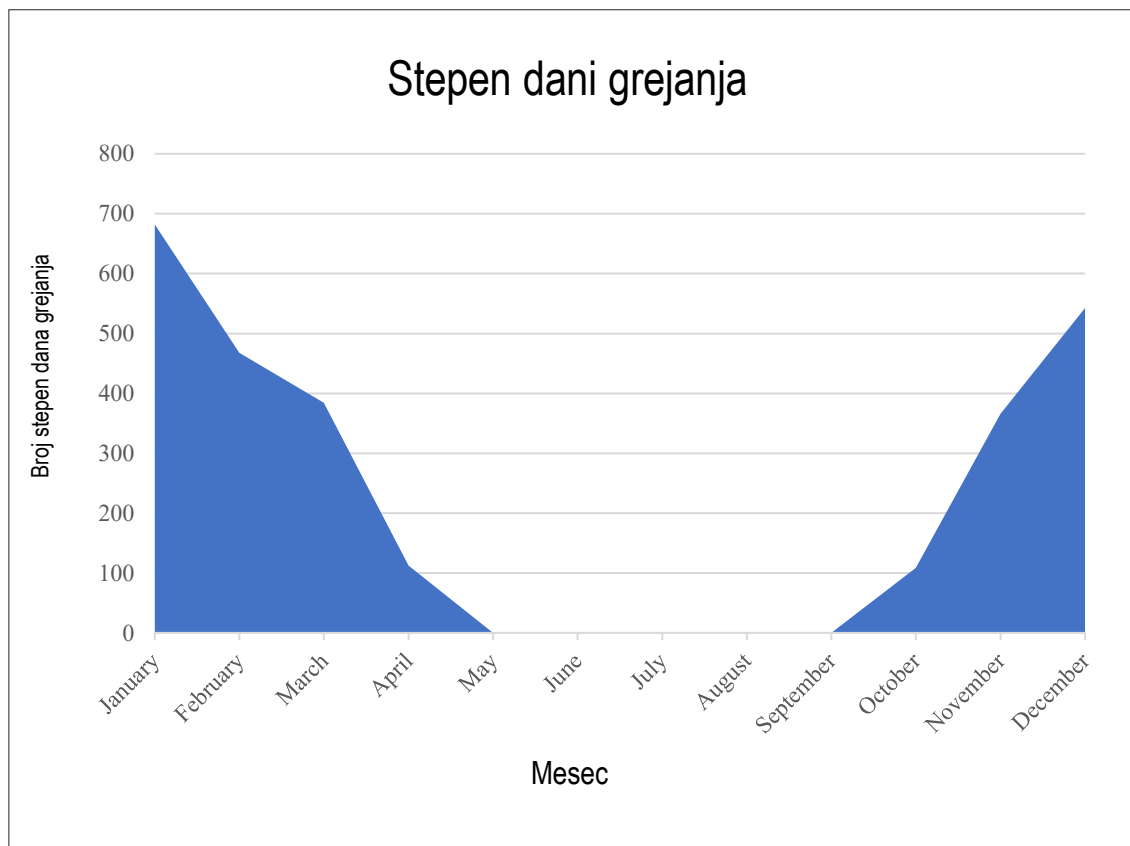
INSTALIRANA OPREMA

1. **Kotao od 3,5 MWt za grejanje prostora i pripremu sanitarne tople vode. Kotao radi tokom cele godine.**
2. **Kotao od 10 MWt za grejanje prostorija, koji praktično radi samo u sezoni grejanja (15. oktobar – 15. april).**
3. **Dva parna kotla za proizvodnju zasićene pare za sterilizaciju (SS).**
4. **Kotao od 16 MWt za grejanje prostora (SHE), koji je trenutno konzerviran i van upotrebe.**

PROIZVODNJA TOPLITNE ENERGIJE



TOPLOTNO OPTEREĆENJE ZA GREJANJE



PROCENA KOLIČINE TOPLOTNE ENERGIJE ZA GREJANJE

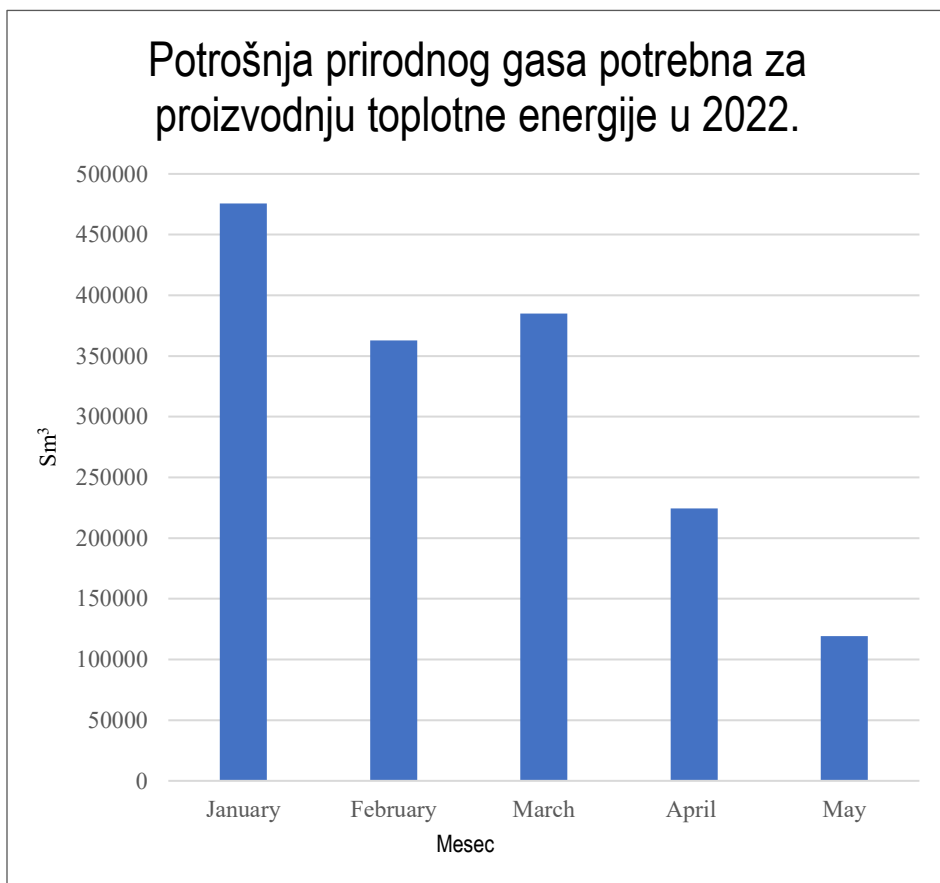
Regresiona jednačina ima oblik:

$$Q = 1.720.076,20 + 3.963,92 \cdot HDD$$

i daje procenu toplotne energije potrošene za grejanje prostora (SHE).

Koeficijent regresije (ili alternativno, koeficijent determinacije) ima visoku vrednost od 0,9438, što pokazuje jaku zavisnost toplotnog opterećenja (potrošnje toplote) od HDD.

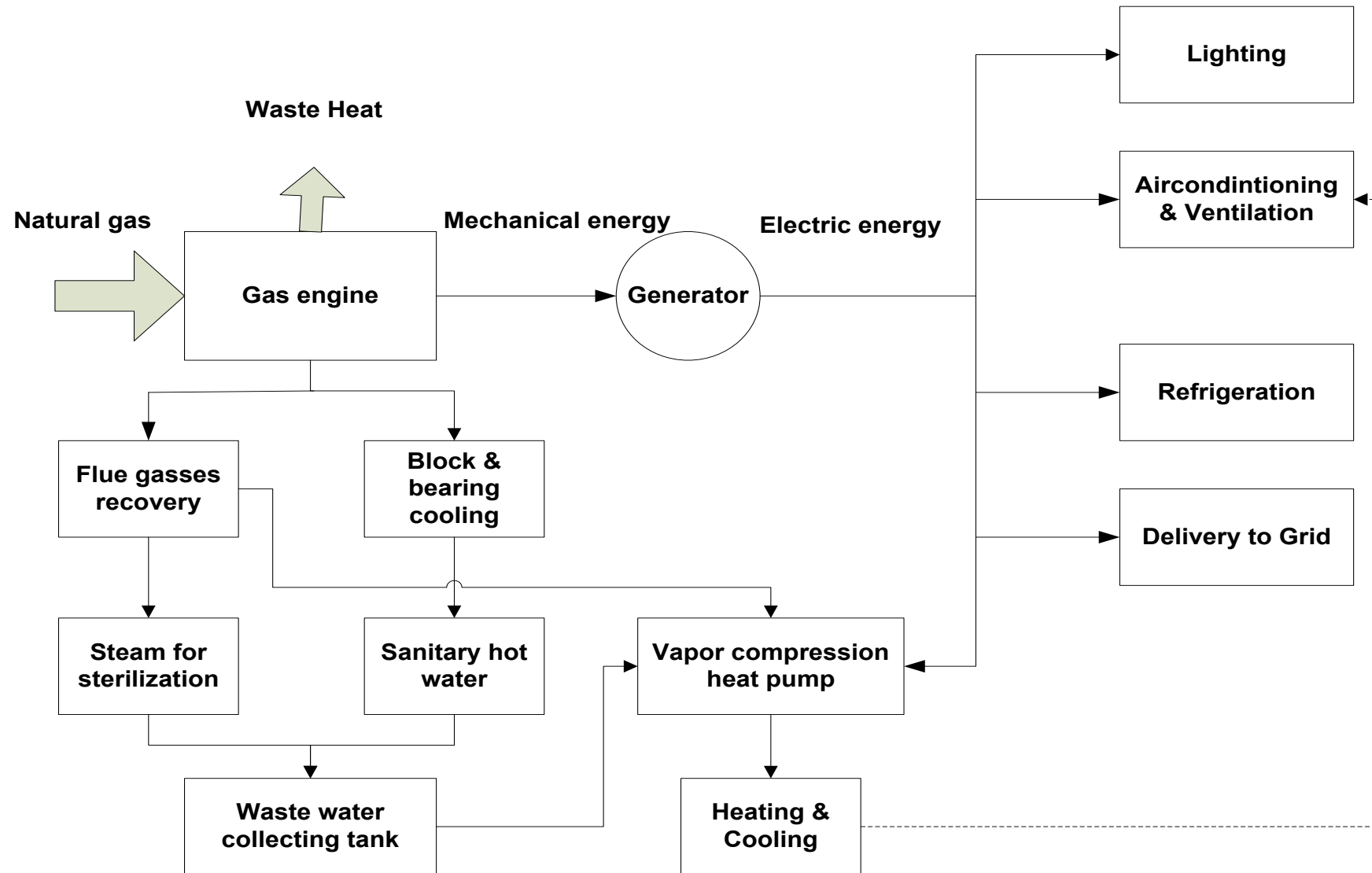
POTROŠNJA PRIRODNOG GASA



KARAKTERISTIKE

- Dijagram pokazuje da se potrošnja prirodnog gasa smanjivala od januara do maja 2022. godine.
- Sa porastom spoljašnje temperature, toplotno opterećenje za pripremu sanitarne tople vode (SHW) postaje dominantno u ukupnom toplotnom opterećenju kotlarnice Kliničkog centra (KC).
- Tokom letnjih meseci – uglavnom u junu, julu i avgustu – priprema i isporuka sanitarne tople vode i zasićene pare predstavljaju jedina toplotna opterećenja KC-a.
- Važno je napomenuti da u okviru KC-a jedan merni uređaj registruje i potrošnju/iskoruku toplote za grejanje prostora (SHE) i za pripremu tople vode (SHW), pa se ovi podaci evidentiraju zajedno, pod oznakom „zagrevanje vode“.

SHEMA POSTROJENJA



RGE performanse

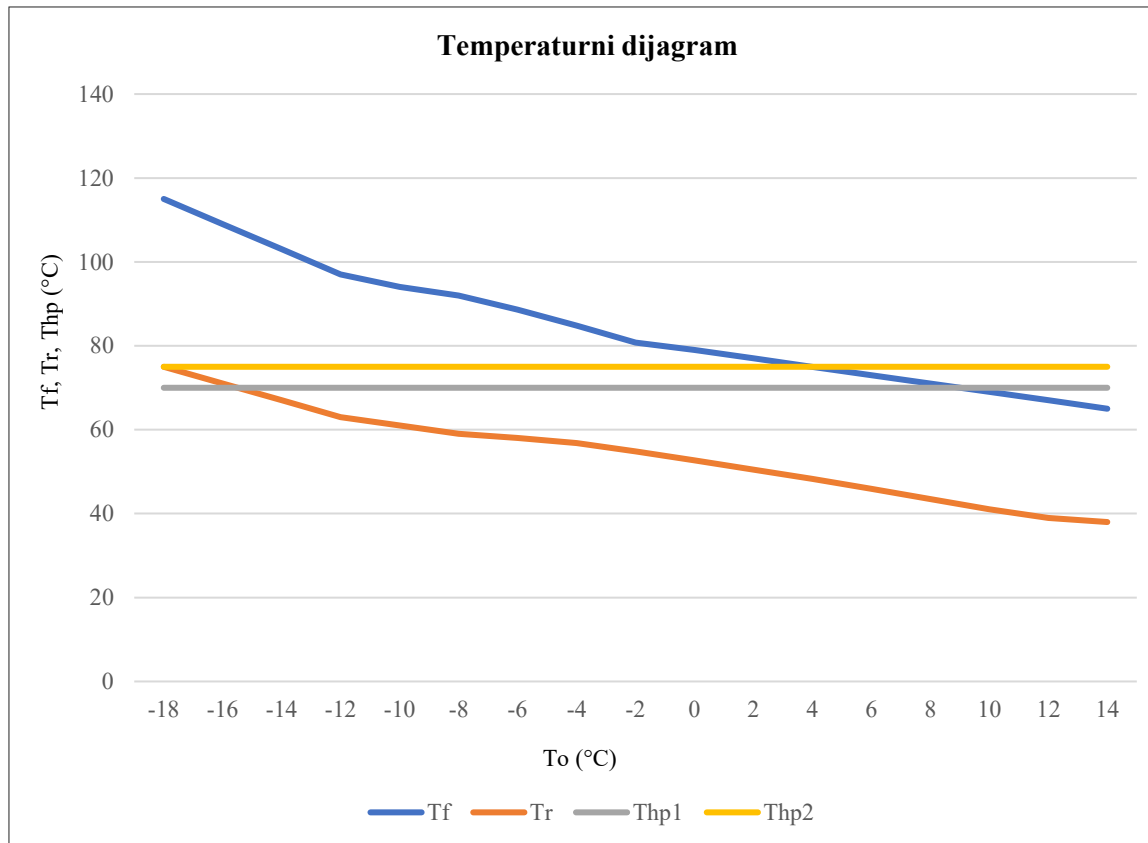
	Stavka	RGE
	Proizvodnja električne energije	1,141 kW
	Proizvodnja toplotne energije	1,307 kW
	Električna efikasnost	0.376
	Toplotna efikasnost	0.43
	Sveukupna efikasnost	0.806
	Potrošnja prirodnog gasa	3,040 kW
	RGE gubici	591.5 kW

HP performanse

	Pritisak isparavanja (b)	5.1
	Temperatura isparavanja (°C)	5
	Pritisak kondenzacije (b)	37
	Temperatura kondenzacije (°C)	75
	Kapacitet grejanja (kW)	1,000
	Maseni protok (kg/s)	0.666
	Toplota isparavanja (kW)	765.9
	Idealna snaga (kW)	233.1
	Idealni koeficijent korisnog dejstva (COP)(/)	4,285
	Stvarna snaga (kW)	274.23
	Stvarni koeficijent korisnog dejstva (COP) (/)	3,643

POVEĆANJE TEMPERATURE KONDENZACIJE KOD TOPLITNIH PUMPI

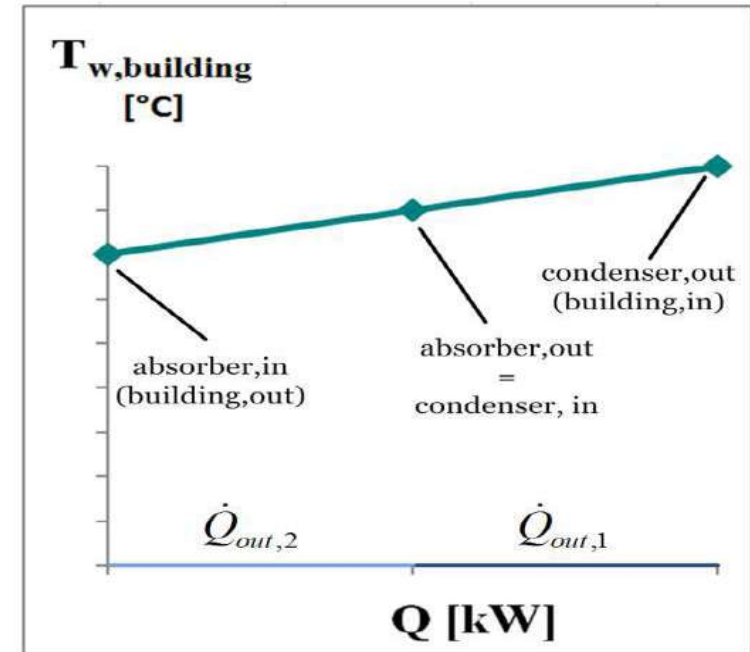
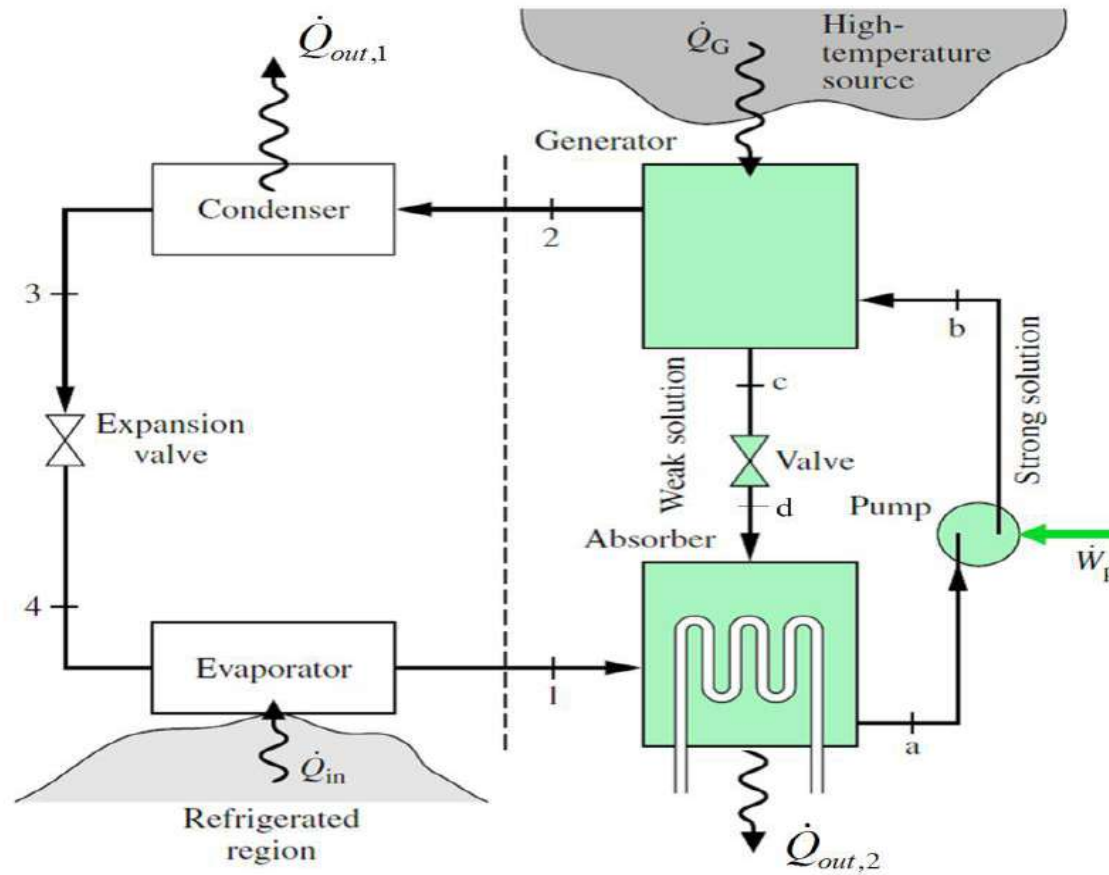
TEMPERATURE KONDENZACIJE OD 75 i 85 °C



REZULTAT

Povećanje temperature kondenzacije sa 75 na 85 °C ne utiče na stepen korišćenja toplotne pumpe, ali rezultira smanjenjem koeficijenta korisnog dejstva (COP) sa 3,643 na 3,264.

OSNOVNA ŠEMA



TEHNIČKI ASPEKTI

- Obe varijante trigeneracionog postrojenja – sa toplotnom kompresionom toplotnom pumpom i sa apsorpcionom toplotnom pumpom – tehnički su izvodljive.
- Primena kompresione toplotne pumpe predložena je zbog jednostavnosti sistema, lakšeg održavanja i višeg koeficijenta korisnog dejstva (COP).
- Primena apsorpcione toplotne pumpe zahteva izvor toplote sa temperaturom višom od 100 °C (najpogodnija je para niskog pritiska) ili drugi izvor toplote sa relativno visokom temperaturom, ili neka kombinacija.
- **Danas nije jednostavno razviti projekat kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije (CHP) i toplotne pumpe koji bi bio tehnički neizvodljiv i finansijski neodrživ.**

ANALIZA TROŠKOVA I KORISTI: Kompresorska vs. apsorpciona toplotna pumpa

Kroz ekonomsku analizu biće prikazana ekonomska isplativost projekta definisanjem sledećih pokazatelja:

- neto sadašnja vrednost (NSV),
- interna stopa povraćaja (ISP),
- jednostavan period povraćaja investicije,
- odnos koristi i troškova (Benefit-Cost Ratio), i
- analiza osetljivosti.

Polazna tačka analize jeste definisanje osnovnih parametara koji će se koristiti za procenu koristi i troškova: cena energenata koji ulaze u obračun, deviznog kursa i koeficijenata emisije CO₂.

Devizni kurs, 1. oktobar 2025.

1 EUR =	RSD	117.1697
1 USD =	EUR	0.8504

Cene energije i CO₂

Gas	€/1000m ³	567,38
Gas	€/kWhg	0.0523
Električna energija	€/kWhe	0.124
Toplotna energija, prodajna cena toplane	€/kWht	0.093
Toplotna energija, kupovna cena za toplanu	€/kWht	0.040
Toplotna energija, kupovna cena iz 3G sistema	€/kWht	0.020
EU ETS CO ₂	€/kg	0.0788

Koefcijenti CO₂ emisija

Gas	kg/1000m ³	2,193.3
Gas	kg/kWhg	0.202
Toplotna energija	kg/kWht	0.2544
Električna energija	kg/kWhe	0,75

OSNOVNI PODACI (BASE DATA)

	h	4,000	6,000	8,600
Gasni motor (GE)				
Godišnja proizvodnja toplotne energije	kWht	5,228,000	7,842,000	11,240,200
Godišnja proizvodnja električne energije	kWhe	4,564,000	6,846,000	9,812,600
Godišnja potrošnja energije				
Gas	1000m ³	1,313.17	1,969.76	2,823.33
Električna energija	kWhe			
Ukupna vrednost potrošnje energije	€	745,072	1,117,608	1,601,905
Vrednost troškova energije	€/kWht&e	0.0761	0.0761	0.0761
Kompresorska toplotna pumpa				
Godišnja proizvodnja toplotne energije	kWht	4,000,000	6,000,000	8,600,000
Godišnja potrošnja energije				
Toplotna energija				
Električna energija	kWhe	1,096,920	1,645,380	2,358,378
Ukupna vrednost potrošnje energije				
Sa GE	€	83,465	125,197	179,449
Bez GE	€	136,347	204,521	293,146
Vrednost troškova energije				
Sa GE	€/kWht	0.0209	0.0209	0.0209
Bez GE	€/kWht	0.0341	0.0341	0.0341
Apsorpciona toplotna pumpa				
Godišnja proizvodnja toplotne energije	kWht	4,182,400	6,273,600	8,992,160
Godišnja potrošnja energije				
Toplotna energija	kWht	5,228,000	7,842,000	11,240,200
Električna energija	kWhe	40,000	60,000	86,000
Ukupna vrednost potrošnje energije				
Sa GE	€	107,604	161,405	231,348
Bez GE	€	214,092	321,138	460,298
Vrednost troškova energije po kWh				
Sa GE	€/kWht	0.0257	0.0257	0.0257
Bez GE	€/kWht	0.0512	0.0512	0.0512

	h	4,000	6,000	8,600
Emisija CO₂				
Kompresorska toplotna pumpa				
Emisije CO ₂ povezane sa potrošnjom toplote	kg			
Emisije CO ₂ povezane sa potrošnjom električne enerije	kg	822,690	1,234,035	1,768,784
Ukupne emisija CO ₂	kg	822,690	1,234,035	1,768,784
Vrednost emisija CO ₂	€	64,828	97,242	139,380
Apsorpciona toplotna pumpa				
Emisije CO ₂ povezane sa potrošnjom toplote	kg	1,330,002	1,995,003	2,859,505
Emisije CO ₂ povezane sa potrošnjom električne enerije	kg	30,000	45,000	64,500
Ukupne emisija CO ₂	kg	1,360,002	2,040,003	2,924,005
Vrednost emisija CO ₂	€	107,168	160,752	230,412

FINANSIJSKI EFEKTI POTROŠNJE ENERGIJE

	h	4,000	6,000	8,600
Vrednost energije				
Kompresorska pumpa				
Sa GE				
Izlaz	€	372,110	558,165	800,036
Ulaz	€	83,465	125,197	179,449
Ulaz sa CO ₂	€	148,292	222,439	318,829
Bez GE				
Izlaz	€	372,110	558,165	800,036
Ulaz	€	136,347	204,521	293,146
Ulaz sa CO ₂	€	201,175	301,763	432,527
Apsorpciona pumpa				
Sa GE				
Izlaz	€	389,078	583,617	836,518
Ulaz	€	107,604	161,405	231,348
Ulaz sa CO ₂	€	214,772	322,158	461,759
Bez GE				
Izlaz	€	389,078	583,617	836,518
Ulaz	€	214,092	321,138	460,298
Ulaz sa CO ₂	€	321,260	481,890	690,709

Investicioni troškovi

U €	Opis	Cena	Struktura
Kompresorska pumpa			
Sa GE			
	Gasni motor	800,000	48.2%
	Kompresorska pumpa	750,000	45.2%
	Drugi investicioni troškovi (5%)	77,500	4.7%
	Contigency (2%)	32,550	2.0%
	Total	1,660,050	100.0%
Bez GE			
	Kompresorska pumpa	750,000	93.4%
	Drugi investicioni troškovi (5%)	37,500	4.7%
	Contigency (2%)	15,750	2.0%
	Total	803,250	100.0%
Apsorpciona pumpa			
Sa GE			
	Gasni motor	800,000	48.2%
	Apsorpciona pumpa	713,000	43.0%
	Drugi investicioni troškovi (5%)	75,650	4.6%
	Contigency (2%)	31,773	1.9%
	Total	1,620,423	100.0%
Bez GE			
	Apsorpciona pumpa	713,000	90.7%
	Drugi investicioni troškovi (5%)	35,650	4.5%
	Contigency (2%)	37,433	4.8%
	Total	786,083	100.0%

EKONOMSKI REZULTAT

Kompresorska pumpa

	Discount rate 6%			
	With GE		Without GE	
	- CO2	+ CO2	- CO2	+ CO2
NPV (15y)	2,400,984	1,510,005	1,674,178	783,199
IRR (15y)	25.18%	18.67%	19.90%	12.46%
Simple pay-back period, years	3.83	4.94	4.69	6.47
Benefit-cost ratio (15y)	2.00	1.54	1.58	1.25

EKONOMSKI REZULTAT

Apsorpciona pumpa

	Discount rate		6%	
	With 3G		Without 3G	
	- CO2	+ CO2	- CO2	+ CO2
NPV (15y)	2,339,813	866,921	876,264	-596,629
IRR (15y)	25.16%	13.82%	13.90%	-0.74%
Simple pay-back period, years	3.84	6.20	6.17	15.93
Benefit-cost ratio (15y)	1.88	1.27	1.27	0.95

SLIČNOSTI:

1. Obe vrste toplotnih pumpi mogu se koristiti i za grejanje i za hlađenje.
2. Obe funkcionišu tako što prenose toplotu s jednog mesta na drugo.

RAZLIKE:

1. Metod prenosa toplote: Kompresorske toplotne pumpe koriste rashladna sredstva i kompresore za prenos toplote, dok apsorpcione toplotne pumpe koriste kombinaciju rashladnog sredstva i apsorbenog rastvora (obično voda i litijum-bromid) za prenos toplote.
2. Izvor energije: Kompresorske toplotne pumpe obično koriste električnu energiju kao izvor, dok apsorpcione toplotne pumpe mogu koristiti različite izvore energije, uključujući električnu energiju, gas i toplu vodu.
3. Efikasnost: Kompresorske toplotne pumpe su generalno efikasnije od apsorpcionih, ali se efikasnost apsorpcione toplotne pumpe može poboljšati korišćenjem otpadne toplote kao izvora energije.
4. Trošak: Apсорpcione toplotne pumpe obično su skuplje za nabavku i održavanje u odnosu na kompresione, ali mogu biti isplativije na duži rok ako se koristi otpadna toplota kao izvor energije.

Sve navedeno potvrđuju konkretni analizirani slučajevi: kompresorska i apsorpcione toplotne pumpe istog kapaciteta, sa i bez uključivanja u odgovarajući sistem (kompresorska pumpa sa gasnim motorom i apsorpciona pumpa sa kotlom), kao i sa i bez uračunate cene CO₂ u okviru EU ETS sistema. Analiza je pokazala da kompresorska toplotna pumpa u kombinaciji sa gasnim motorom daje izuzetno dobre rezultate, znatno slabije bez gasnog motora, ali i dalje ekonomski prihvatljive. Apсорpciona toplotna pumpa može dati ekonomski zadovoljavajuće rezultate samo ako je povezana sa jeftinim izvorom toplote; u svim drugim slučajevima ne pokazuje ekonomski opravdane rezultate.