

Mogućnosti povećanja energetske učinkovitosti na PSP Okoli

Energy efficiency opportunity at underground gas storage facility (UGS) Okoli

Ivan Orešković
Helena Matković
Alen Paljušić
Podzemno skladište plina d.o.o.

Ivan Zelenika
Podzemno skladište plina d.o.o.
ivan.zelenika@psp.hr



Ključne riječi: podzemno skladište plina, eksurgija, turbo-ekspander, obnovljivi izvori energije.

Keywords: underground gas storage, exergy, expansion turbine, renewable energy sources

Sažetak

Tijekom rada podzemnog skladišta plina, kinetička energija plina smanjuje se na ventilima reduksijske stanice gdje se tlak konačno smanjuje na vrijednost tlaka transportnog sustava. U tom se procesu dio kinetičke energije plina nepovratno se gubi na prigušnim ventilima reduksijske stanice. Navedeni gubitak energije moguće je oporaviti ugradnjom uređaja kao što je turbo-ekspander u svrhu generiranja električne energije. Korištenjem računalnih aplikacija procijenjeni su viškovi električne energije koje će generirati integrirani sustav turbo-ekspandera i generatora u ovisnosti o procesnim parametrima. Osim ugradnje turbo-ekspandera maksimalne snage, obrađena je i mogućnost povećanja energetske učinkovitosti podzemnog skladišta plina Okoli ugradnjom fotonaopuskog sustava na slobodnim površinama objekta PSP Okoli, te je dana procjena proizvodnje električne energije na lokaciji na godišnjoj razini. Prikazana tehnička rješenja odgovaraju godišnjoj potrošnji električne energije skladišta plina PSP Okoli.

Abstract

During the operation of the Underground gas storage facility, kinetic energy of the withdrawal gas is reduced at the reduction station valves and gas pressure is finally reduced to the value of the gas transport system pressure. During this process gas kinetic energy is irreversibly lost at the throttle valves. Energy loss can be recovered by installing a turbo-expander with an electric generator in order to generate electricity via gas expansion process. Using industry process software, electricity production via expansion turbine – generator system was estimated in dependence of gas production process parameters. Furthermore, possible solutions for process decarbonization improvements were considered by installing a photovoltaic system at PSP Okoli site. Proposed solutions should be able on annual basis to produce an amount of electricity comparable with total (every year) UGS Okoli consumption.

1. Uvod

Aktualna energetska politika Europske komisije zauzima se za povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) [1], [3]; a zahvaljujući različitim oblicima subvencija, količina

OIE u ukupnoj opskrbi električnom energijom znatno se povećala unazad 10 godina. Nagle promjene u kretanju cijena energenata, ovisnost većine zemalja o uvozu energije kao i sve izraženije posljedice klimatskih promjena dovode obnovljive izvore energije i energetska neovisnost u središte nacionalnih energetske strategija [2], [5]. U vremenu kontinuiranog rasta cijene energenata, primjena energetske učinkovite tehnologije na postojećim procesnim postrojenjima postaje sve isplativija i aktualnija [4], [6]. Unutar ovog rada dat je prikaz razmatranih mogućnosti korištenja različitih tehnologija (foto-napona i turboekspandera) u svrhu proizvodnje električne energije za potrebe rada postrojenja PSP Okoli.

Podzemno skladište plina „Okoli“ jedino je skladište prirodnog plina u Hrvatskoj. Smješteno je na području Sisačko-moslavačke županije u općini Velika Ludina. U radu je od travnja 1988. godine kada je započeo prvi ciklus utiskivanja plina. Skladištenje plina u podzemnim geološkim strukturama omogućuje pohranu velikih količina plina u toplim mjesecima kada je potrošnja plina manja. Uskladišten plin obično se povlači iz skladišta u plinsku mrežu u hladnijem dijelu godine kada su potrebe za plinom povećane.

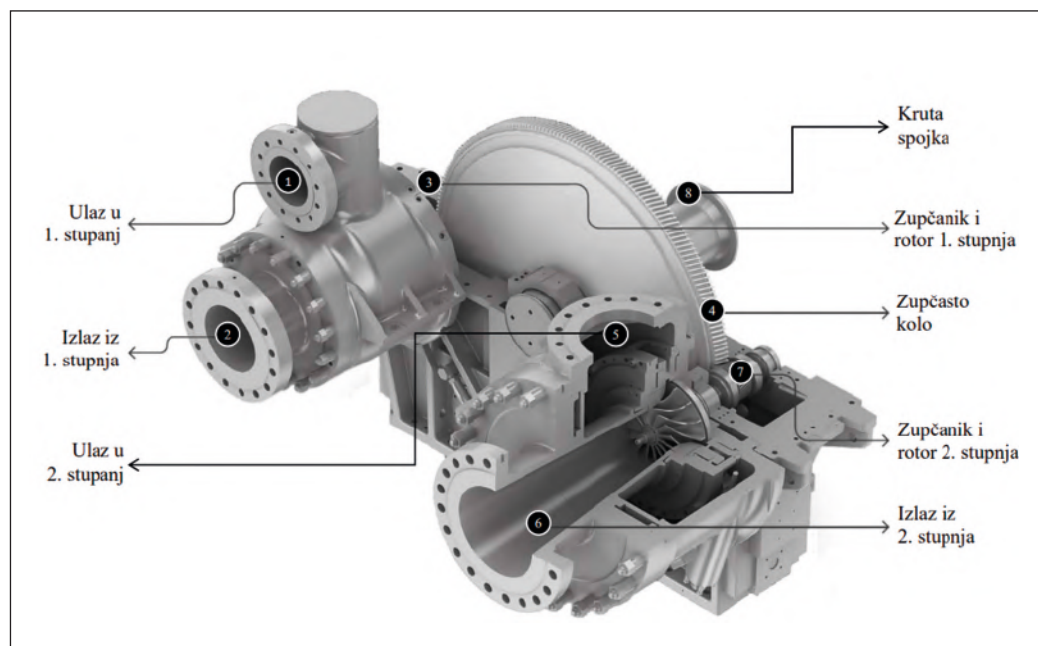
Unutar ovog rada razmatrana je mogućnost povećanja energetske učinkovitosti postrojenja uzevši u obzir uporabu energije redukcije tlaka plina u mjerno-regulacijskoj stanici u sezoni povlačenja plina te korištenje slobodnih površina građevinskih čestica u svrhu proizvodnje električne energije upotrebom fotonaponskih panela.

2. Proizvodnje električne energije upotrebom turbo-ekspandera tijekom ciklusa povlačenja plina iz skladišta

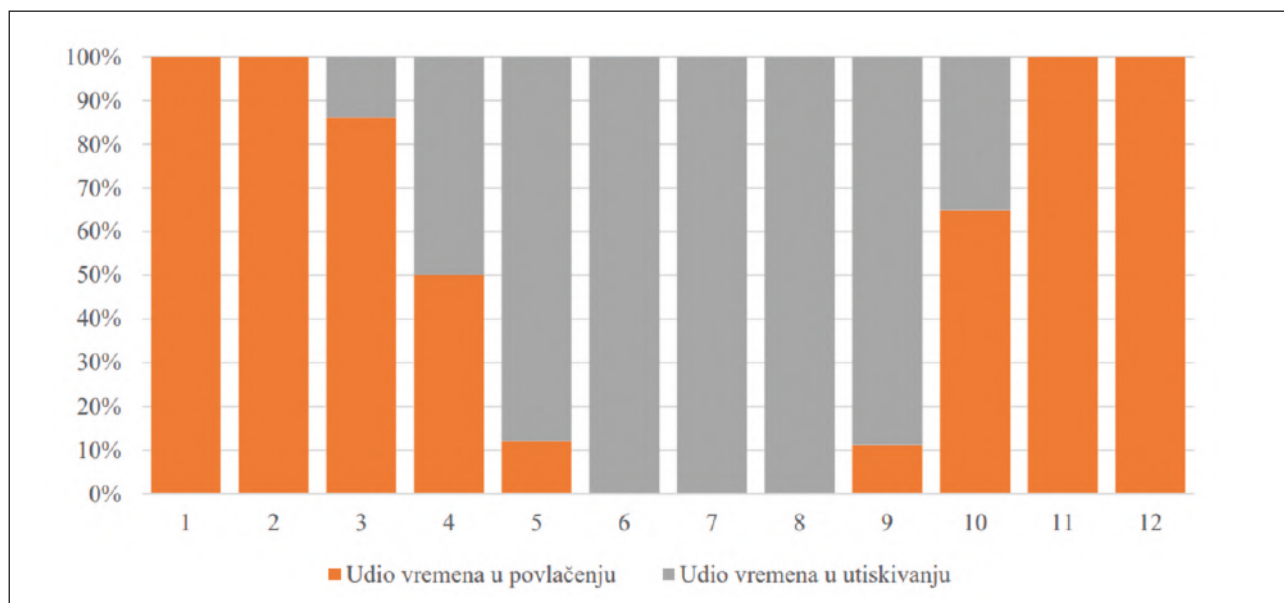
Budući da plin tijekom ciklusa povlačenja putuje iz ležišta gdje je na visokom tlaku do magistralnog plinovoda odnosno krajnjih potrošača, njegov tlak se mora smanjiti na radne uvijete plinskog transportnog sustava odnosno uvjete opskrbe potrošača. Na postojećem skladištu plina u Hrvatskoj, navedeni proces se odvija putem regulacijskih sapnica koje smanjuju količinu „eksergije“ vezane za tlak plina. Umjesto regulacijskih sapnica kao energetske efikasnije rješenje razmotrena je primjena ekspanzijskih turbina (Turboekspandera) [7], [8]. Ugradnjom turboekspandera s električnim generatorom uz postojeće reduksijske ventile mjerno-regulacijskih stanica moguće je ekspanzijom plina u turboekspanderu proizvesti električnu energiju bez utroška goriva za pogon takvih agregata [9], [10].

Turboekspanderi su uređaji koji omogućuju pretvorbu potencijalne energije visokog tlaka plina u mehanički rad. Izrađuju se kao jednostupanjski ekspanderi (za manje redukcije tlaka) ili višestupanjski (do četiri stupnja redukcije) za veće redukcije tlaka (slika 1).

Za aproksimativni izračun proizvodnje struje na osnovi razlike tlaka pomoću turbo-ekspandera korišten je simulacijski program te podaci o radu skladišta, kretanja tlakova i protoka plina, te termo-



Slika 1.
Turboekspander sa dva
stupnja ekspanzije



Slika 2. Prosječna vremenska raspodjela protoka kroz godinu

Izvor: [12]

dinamička svojstva plina [12]. Režimi rada odnosno udio vremena u povlačenju ili utiskivanju za pojedini režim rada prikazani su slikom 2. Sastav plina na ulazu u TE i njegova svojstva dati su tablicom 1.

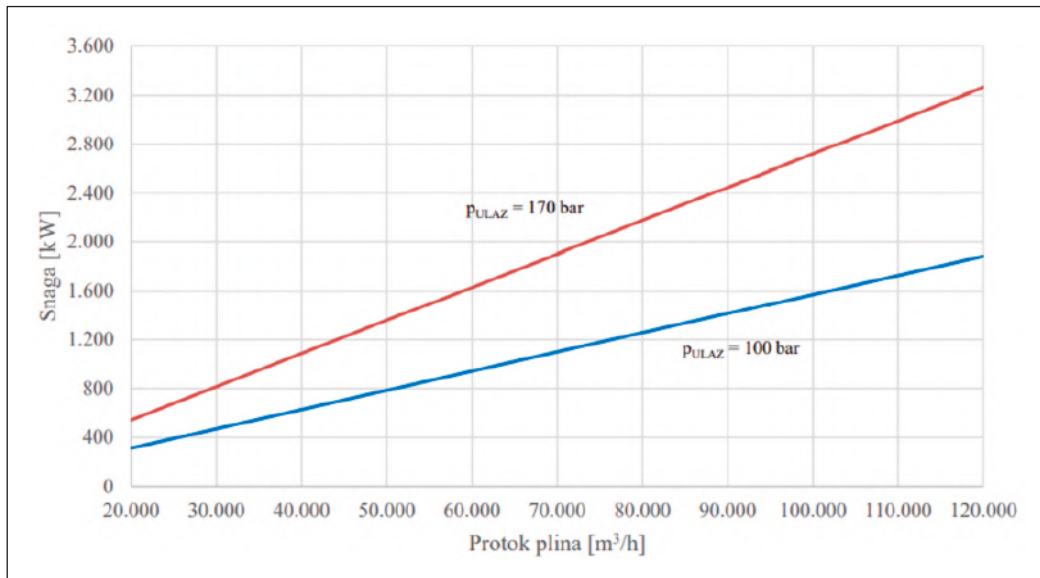
U sezoni povlačenja, plin nakon što napusti ležište prolazi kroz tri reduksijske linije svake maksimalnog kapaciteta 80.000 m³/h. Najveći tlak plina prije

redukcije iznosi 170 bar, a nakon redukcije 45 bar. Prije redukcije plin se zagrijava u grijačima plina na temperaturu od 30-50 °C.

Ekspanzija u turbo-ekspanderu je u idealnom slučaju izentropski proces, za razliku od prigušivanja tlaka plina, prilikom kojeg entalpija plina ostaje nepromijenjena [11].

Tablica 1. Prosječni sastav i svojstva plina na ulasku u ekspander

Komponenta	Molni udio	Kritična temp.	Kritični tlak	Kritični volumen	Acentrični faktor	Molekularna težina
	%	(°C)	(bar)	m ³ /kg.mol		g/g.mol
N ₂	0.79893	-146.95	33.9302	0.0898	0.04	28.01
CO ₂	2.39678	31.05	73.7349	0.0939	0.225	44.01
H ₂ S	0.079893	100.05	89.3325	0.0986	0.1	34.08
C ₁	95.8712	-82.5499	46.591	0.0992	0.0115	16.04
C ₂	0.43119	32.25	49.4568	0.1483	0.0908	30.07
C ₃	0.16274	96.6499	42.9945	0.203	0.1454	44.1
C ₄	0.073214	143.05	37.4547	0.263	0.1868	58.12
C ₅	0.037145	189.35	34.9937	0.255	0.2251	72.05
C ₆	0.038534	227.838	31.981	0.40022	0.25352	84
C ₇	0.027951	250.693	29,352	0.45596	0.27118	94.1122
C ₈	0.02074	273.154	27.3243	0.51079	0.28848	105.063
C ₉	0.015636	294.678	25.6886	0.56473	0.30542	116.5



Slika 3. Snaga turboekspandera pri izlaznom tlaku 45 bar za različite protoke i ulazne tlakove plina
Izvor: [12]

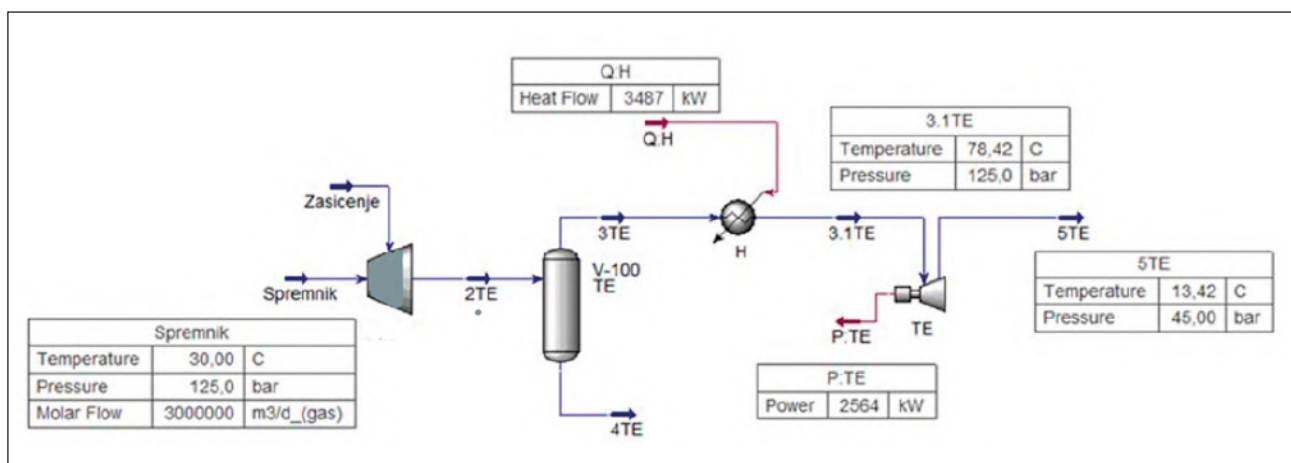
Upotrebom softvera dobiveni su različiti scenariji. Slikom 3 prikazana je teoretski ostvariva snaga turboekspandera u ovisnosti o protoku plina, te ulaznom i izlaznom tlaku plina za ulazni tlak u turboekspander između 170 bar (gornja površina u dijagramu) i 100 bar (donja površina u dijagramu). Volumen omeđen tim površinama predstavlja područje za odabir snage turboekspandera. Proračunata maksimalna električna snaga agregata s turboekspanderom može se ostvariti pri protoku 80.000 m³/h plina; ulaznog tlaka 170 bar i izlaznog tlaka 30 bar, te ona iznosi 2,9 MW.

Energetska i masena bilanca odnosno proračun snage turboekspandera za ulazni tlak od 125 bar i izlazni tlak iz TE od 45 bar prikazana je slikom 4. Raspon navedenih tlakova predstavlja prosječne vrijednosti u ciklusu povlačenja i prema njima je odabrana veličina turboekspandera koji može prihvatiti protok od 38.000 Sm³/h do 125.000 Sm³/h, ovisno o

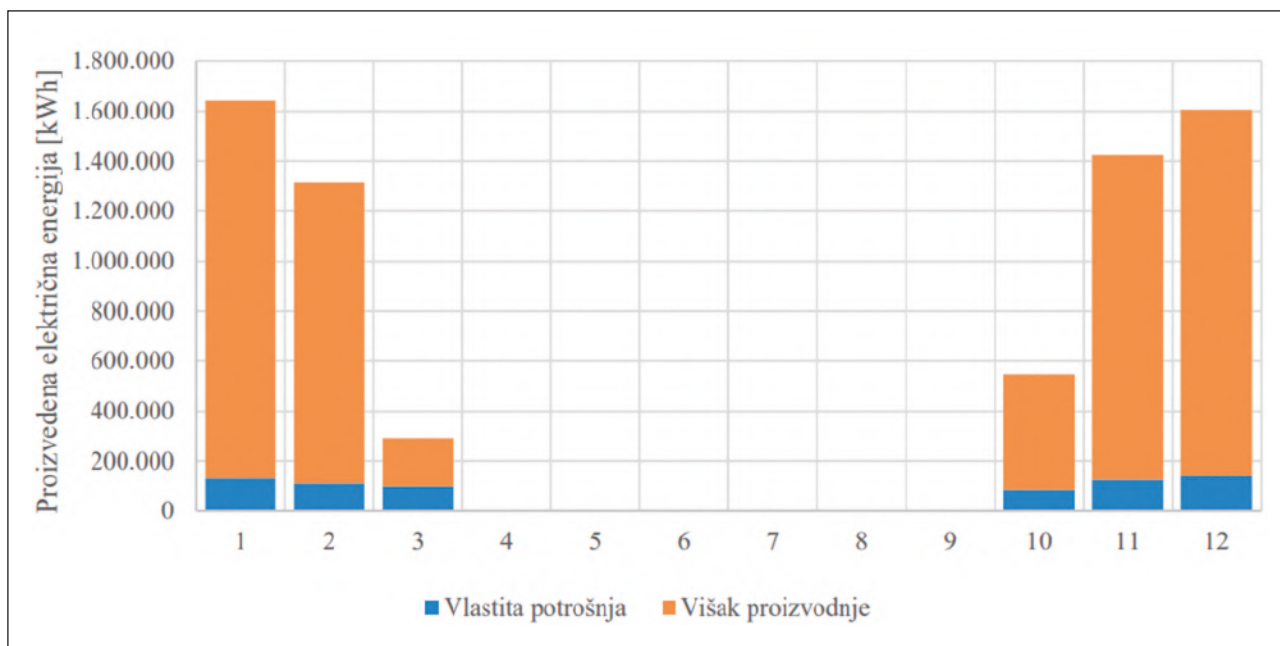
protoku odgovarajuća snaga se kreće od 700 kW za minimalni protok do 2550 kW za maksimalni protok.

Na osnovi raspoloživih podataka o dinamici povlačenja plina tijekom četiri uzastopna ciklusa povlačenja plina, slikom 5 dat je prikaz moguće proizvodnje električne energije po mjesecima.

Očekivana proizvodnja električne energije iz turboekspandera gore prikazanih karakteristika, na razini četverogodišnje prosječne količine povučenog plina iz PSP Okoli iznosi 6825 MWh godišnje. Kako se u ciklusu povlačenja plina vlastita potrošnja PSP Okoli kreće oko 200 kW/h, s minimumom 120 kW/h, praktički sav višak proizvedene električne energije generiran turboekspanderom maksimalne snage trebao bi se isporučiti u mrežu Hrvatske elektroprivrede ili primjenom inovativnih tehničkih rješenja utrošiti na samoj lokaciji (primjerice višak električne energije moguće je utrošiti u zimskim mjesecima za grijanje



Slika 4. Energetska i masena bilanca turboekspandera
Izvor: [12]



Slika 5. Proizvedena električna energija i odnos količine energije za vlastitu potrošnju i viška proizvedene energije

plina putem električnih umjesto plinskih toplovodnih kotlova). Na lokaciji Okoli trenutno su u upotrebi 3. plinska kotla svaki snage 3500 kW.

3. Proizvodnja električne energije izgradnjom solarne elektrane na slobodnim površinama lokacije postrojenja

Potencijal iskorištenja solarne elektrane na području Hrvatske se kreće od 970 do 1380 kW/h po m² površine solarnog kolektora postavljenog pod opti-

malnim godišnjim kutom [13]. Površine na kojima postoji mogućnost ugradnje integriranih fotonaponskih panela na PSP Okoli su krovne plohe odabranih objekata koje imaju povoljnu orijentaciju, tj. azimut od 190° (tablica 2).

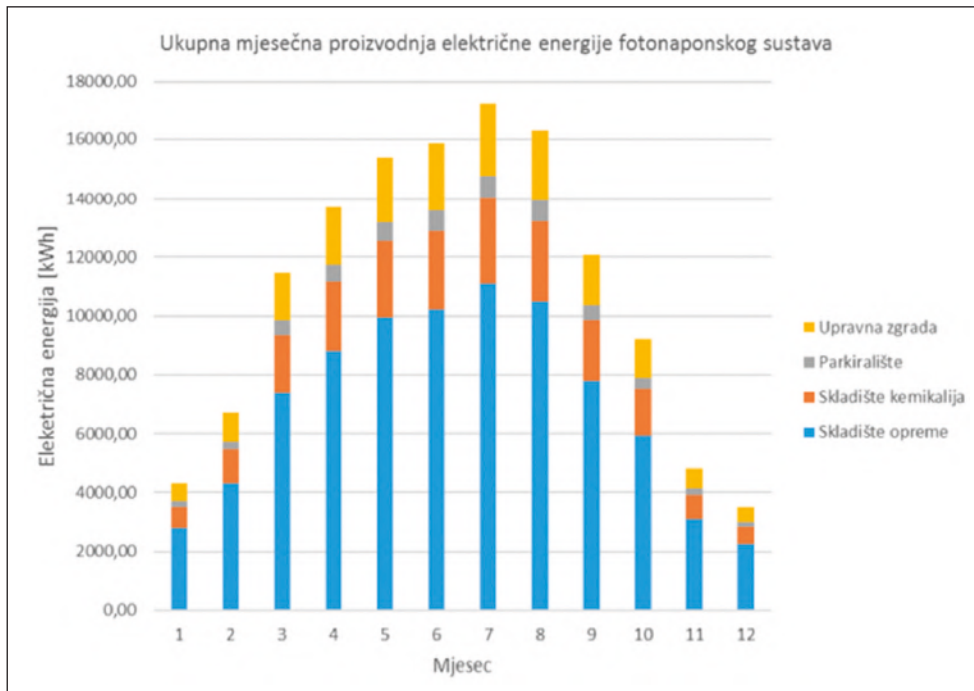
Ukupna mjesečna proizvodnja električne energije iz navedenih površina dana je slikom 6.

Planiranje veće solarne elektrane moguće je na raspoloživoj površini od 80 000 m² u vlasništvu ili zakupu PSP-a, a obzirom na geo-lokaciju i stupnju osunčanosti pretpostavlja se moguća godišnja proizvodnja struje na razini 5 000 MWh.

Tablica 2: Krovne površine na kojima postoji mogućnost ugradnje fotonaponskog sustava

Izvor: [13]

Objekt	Tlocrtna površina (m ²)
Skladište opreme, materijala i rezervnih dijelova	1149,10
Skladište kemikalija	337,62
Upravna zgrada	554,19
Natkriveno parkiralište 1	189,00
Natkriveno parkiralište 2	127,26
Ukupno:	2357,17

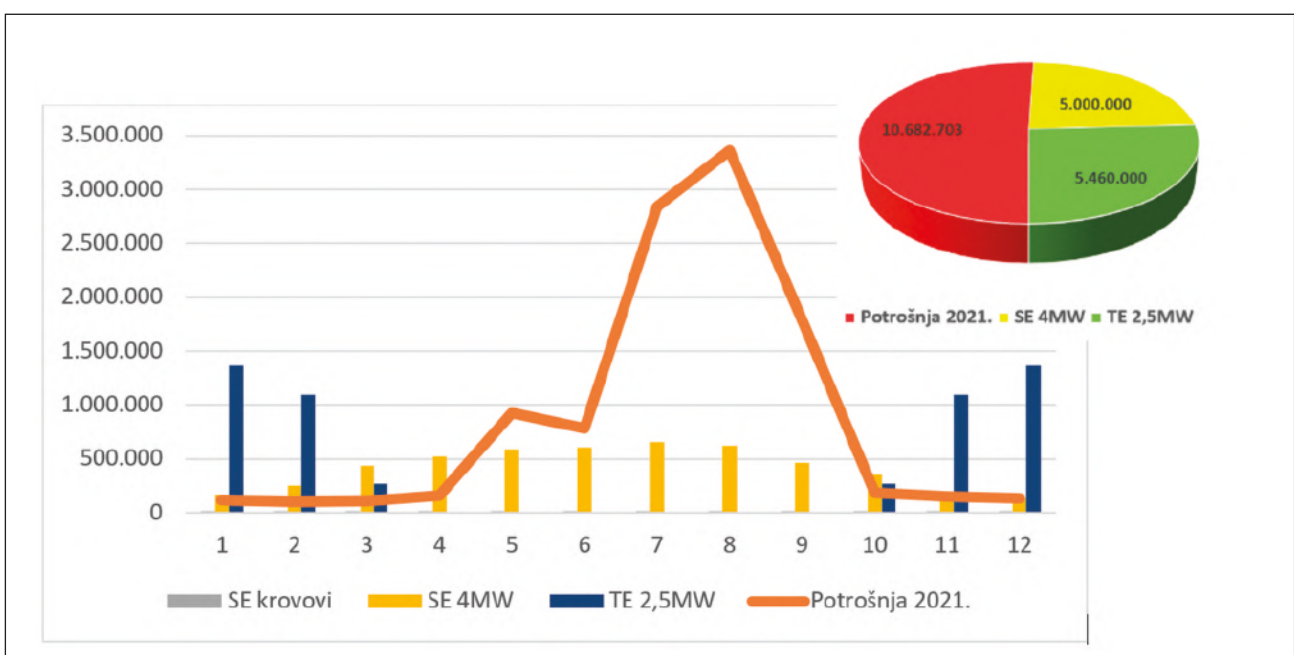


Slika 6. Ukupna mjesečna proizvodnja električne energije fotonaponskog sustava
Izvor: [13]

4. Analiza potrošnje i proizvodnje električne energije na lokaciji PSP Okoli

Ukupna količina izračunate generirane električne energije pomoću turbo-ekspandera tijekom jednog ciklusa povlačenja plina iz skladišta iznosi približno 5400 MWh dok bi količina električne energije generirane iz Sunčane elektrane na godišnjoj razini iznosila približno 5000 MWh. Gledajući po mjesecima na

godišnjoj razini intenzitet proizvodnje struje iz TE i SE je nejednoliko raspoređen budući da TE generira električnu energiju tijekom ciklusa proizvodnje plina iz skladišta dok je intenzitet rada elektrane najveći tijekom ljetnih mjeseci dok se skladište nalazi u ciklusu utiskivanja plina. Ovisno o načinu rada skladišta (povlačenje ili utiskivanje) varira i potrošnja električne energije samog pogona, analiza potrošnje i moguće proizvodnje električne energije na lokaciji PSP Okoli prikazana je slikom 7.



Slika 7. Analiza potrošnje i moguće proizvodnje električne energije na lokaciji PSP Okoli

5. Zaključak

Unutar rada dat je prikaz mogućnosti proizvodnje električne energije izgradnjom solarne elektrane na slobodnim površinama postrojenja PSP Okoli, kao i upotrebom sustava turboekspander – generator na redukcijskoj stanici postrojenja. Ukupna procijenjena količina proizvedene električne energije na godišnjoj razini za jedan ciklus povlačenja plina iznosi 10 460 MWh što odgovara prosječnoj godišnjoj potrošnji električne energije postrojenja. Većina potrošnje elek-

trične energije postrojenja odvija se u ljetnim mjesecima tijekom rada kompresorskih jedinica, odnosno u periodu kada sustav generatora i ekspandera nije u radu čime je ugradnja sustava ekspandera tehnički neopravdana. Budući da se radi o znatnoj količini energije koju zbog režima rada postrojenja nije moguće adekvatno iskoristiti na lokaciji nužno je iznalaženje tehničkih i regulatornih okvira koji bi omogućili veću energetska učinkovitost postrojenja i postizanje dodatnih ušteda u potrošnji energije.

Literatura

- [1] The European green deal; Brussels; 11. 12. 2019.
- [2] Gas for climate, 2020; Gas decarbonisation pathways, str. 2020-2050, april 2020.
- [3] Krsnik S., Pavlović D. Energetska tranzicija – utjecaj primjene vodika na kvalitetu plina u transportom sustavu s ciljem dekarbonizacije plinskih sustava, Zbornik radova 35. Međunarodnog znanstveno-stručnog skupa stručnjaka za plin, 2020., str. 49–59.
- [4] EntsoG 2050.: Roadmap for Gas Grids, Brussels, 2019.
- [5] Acer, NRA-s Survey: Hydrogen, Biomethane, and Related Network Adaptation, 10. 7. 2020.
- [6] Zelenika I., Pavlović D., Rajič P., Kovačić T., Srpak M. Hydrogen Underground Storage as a Critical Factor in the Energy Transition Period, Technical gazette, Vol. 28, No 5, 2021, pp. 1480–1487.
- [7] Kostowski, W. The possibility of energy generation within the conventional natural gas transport system, Strojarstvo 2010, 52, str. 429–440.
- [8] Poživil, J., 2004. Use of Expansion Turbines in Natural Gas Pressure Reduction Stations, Acta Montanistica Slovaca, 3, 2004, pp. 258–260.
- [9] Kaneko, K., Ohtani, K., Tsujikawa, Y., Fuji, S. Utilization of the cryogenic exergy of lng by a mirror gas-turbine, Applied Energy 4, 2004, 79, pp. 355–369.
- [10] Szargut, J. Exergy Method: Technical and Ecological Applications, WIT Press Southampton, 2005, 18, p. 192.
- [11] Szargut, J., Szczygiel, I. Utilization of the cryogenic exergy of liquid natural gas (LNG) for the production of electricity, Energy 7, 2009, 34, pp. 827–837.
- [12] Studija izvodljivosti ugradnje turboekspandera na lokaciji PSP Okoli, Tehnokom d. o. o., 2019, Zagreb.
- [13] Studija predizvodljivosti izgradnje fotonaponskog sustava na lokaciji PSP Okoli, ECO-INA d. o. o. 2017., Zagreb.
- [14] Pipeflowcalculations, 2022., <https://www.pipeflowcalculations.com/pipe-valve-fitting-flow/compressible-gas-flow.xhtml>