



Koncepcja wykorzystania magazynu gazu w celu poprawy współpracy pomiędzy OZE a układem zgazowarka - silnik gazowy



## Plan prezentacji

1. Cel badania
2. Zgazowanie
3. Magazyny gazu syntezowego w układach zgazowania – analiza teoretyczna
4. Proponowana koncepcja układu hybrydowego
5. Metodologia analizy obliczeniowej
6. Wyniki
7. Wnioski



## Cel badania

- Bilansowanie energii elektrycznej lokalnie przy pomocy hybrydowych systemów wytwórczych.
- Najbardziej rozpowszechnione układy hybrydowe wykorzystujące jako magazyny baterie akumulatorów lub systemami elektrolizer-ogniwo paliwowe.
- Możliwe do wykorzystania w układach hybrydowych: generatory Diesla lub silniki zasilane syngazem (Aslam i in., 2021). Wykorzystanie magazynów syngazu jest rzadko analizowane.
- **Celem badania było dokonanie analizy układu wykorzystującego zgazowarkę biomasy, silnik tłokowy oraz magazyn syngazu do równoważenia niestabilnej generacji ze źródeł odnawialnych.**



# Zgazowanie

- Cykl przemian chemicznych, którego produktami końcowymi są:
  - niskokaloryczny gaz palny (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oraz N<sub>2</sub> i zanieczyszczenia),
  - smoły,
  - żużel.
- W układach małej mocy stosowane są reaktory ze złożem stałym (najczęściej współprądowe), w których utleniaczem jest powietrze. Charakteryzuje się niską zawartością smół – możliwe wykorzystanie w silnikach tłokowych. Gazogenerator ten wymaga jednakże stałości składu wsadu (Chmielniak, 2021).
- Sprawność procesu zgazowania zawsze jest mniejsza niż 100%. Możliwe jest wykorzystanie gazu w wysokosprawnych i elastycznych źródłach (silniki tłokowe, turbiny gazowe).



## Współpraca reaktorów zgazowania z OZE

- Możliwy do zmagazynowania gaz syntezowy.
- Zakres regulacji mocy od około 20% do około 125% obciążenia znamionowego (Soares i Oliveira, 2020).
- Znaczna inercja.
- Czas rozruchu małych instalacji rzędu dziesiątek minut.
- Wraz ze zmieniającym się obciążeniem zmienia się temperatura panująca wewnątrz reaktora co skutkuje tym, że wraz z oddalaniem się od obciążenia znamionowego maleje zarówno sprawność procesu oraz wartość opałowa syngazu.



# Magazyny gazu syntezowego w układach zgazowania

- Brak komercyjnie dostępnych magazynów dedykowanych gazom pochodzącym z procesu zgazowania – analizowane są rozwiązania analogiczne do rozwiązań dla gazu ziemnego lub wodoru.
- Proponowane magazyny:
  - wysokociśnieniowe:
    - „bullet tanks” – wysokie ciśnienia rzędu nawet kilkuset barów,
    - cylindryczne niskociśnieniowe (kilkanaście bar) magazyny,
    - magazyny podziemne;
  - niskociśnieniowe (do 0,1 bara),
  - magazyny kriogeniczne,
  - gazociągi (Apt i in., 2008).



## Potencjalne zalety magazynów w układach zgazowania

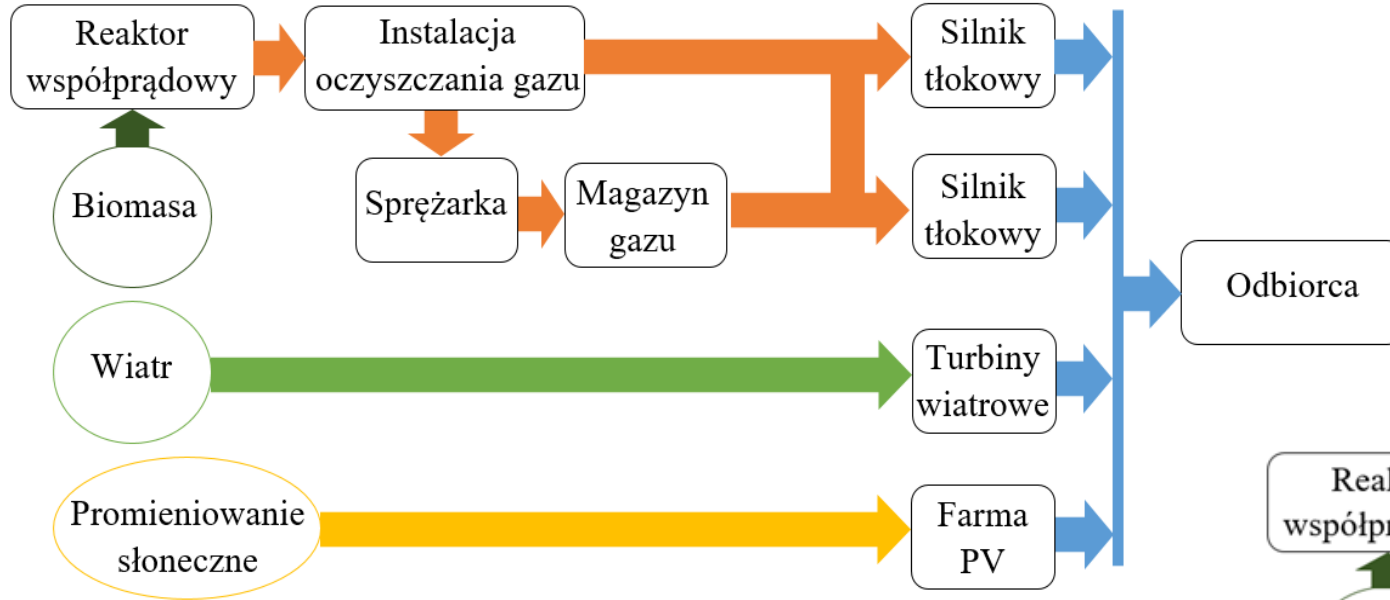
- Zwiększona niezawodność i dostępność mocy (Stolecka i Rusin, 2019).
- Generacja energii elektrycznej w trakcie planowych przestojów reaktora zgazowania (Pedrazzi i in., 2016).
- Pokrywanie szczytów zapotrzebowania przy utrzymaniu stałej mocy reaktora (Apt i in., 2008).
- Utrzymanie stałej temperatury wewnątrz reaktora => zwiększenie sprawności zgazowania => zmniejszenie kosztów paliwa (Zhang i in., 2021).
- Większe wykorzystanie gazu w okresach wysokich cen => wyższe zyski (Yang i in., 2020).
- Uzupełnienie generacji w OZE (Perez-Navarro i in., 2010).



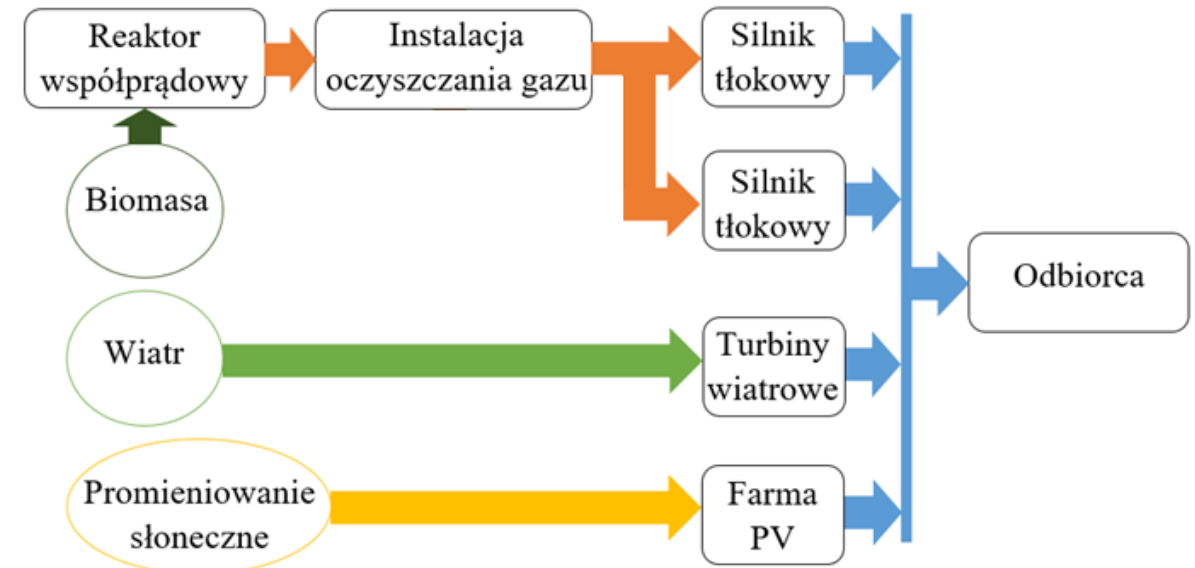
## Potencjalne wady i zagrożenia

- Nie są obecnie powszechnie stosowane = utrudnione projektowanie, brak doświadczeń eksploatacyjnych.
- Brak możliwości dokładnego przewidzenia kosztów inwestycyjnych (Apt i in., 2008).
- Niskie: wartość opałowa i gęstość syngazu = konieczność sprężania gazu do wysokich ciśnień (Fiore i in., 2020).
- Duża zawartość wodoru w gazie - zwiększenie kruchości metalu oraz korozyjność (Apt i in., 2008).
- Niebezpieczeństwo pożaru lub wybuchu w przypadku nieszczelności (Stolecka i Rusin, 2019).





Rys. 1. Układ z magazynem gazu



Rys. 2. Układ bez magazynu gazu

## Analiza energetyczna

- Porównanie pracy dwóch układów: zawierającego magazyn gazu oraz bez magazynu.
- Porównywane wielkości:
  - Sprawność,

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{sil,i} - P_{np,i}) \cdot 600}{\sum_{i=1}^n (B_i \cdot 600) \cdot Q_{w,bio} - \frac{F_k \cdot Q_{w,mag,k} - F_p \cdot Q_{w,mag,p}}{\eta_{zgaz,śr}}} \quad (1)$$

- Niezawodność (LOLP)

$$LOLP = 100\% \frac{\sum_{i=1}^n P_{np,i}}{\sum_{i=1}^n P_d} \quad (2)$$

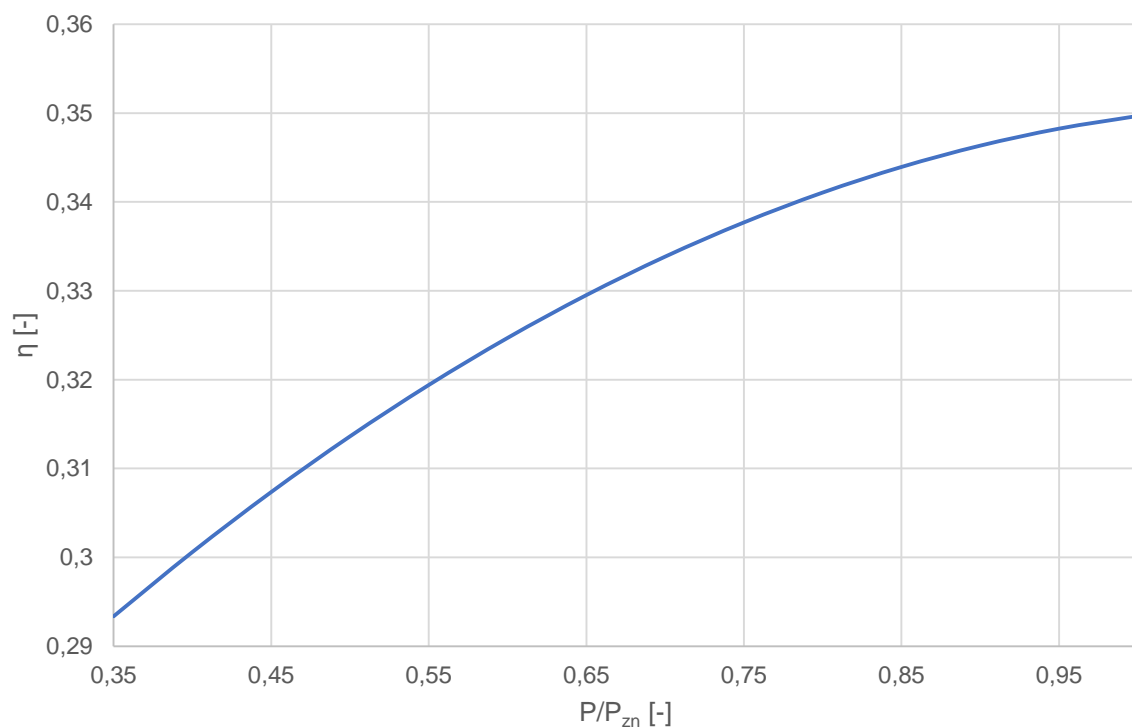
- Liczba rozruchów zgazowarki w ciągu roku



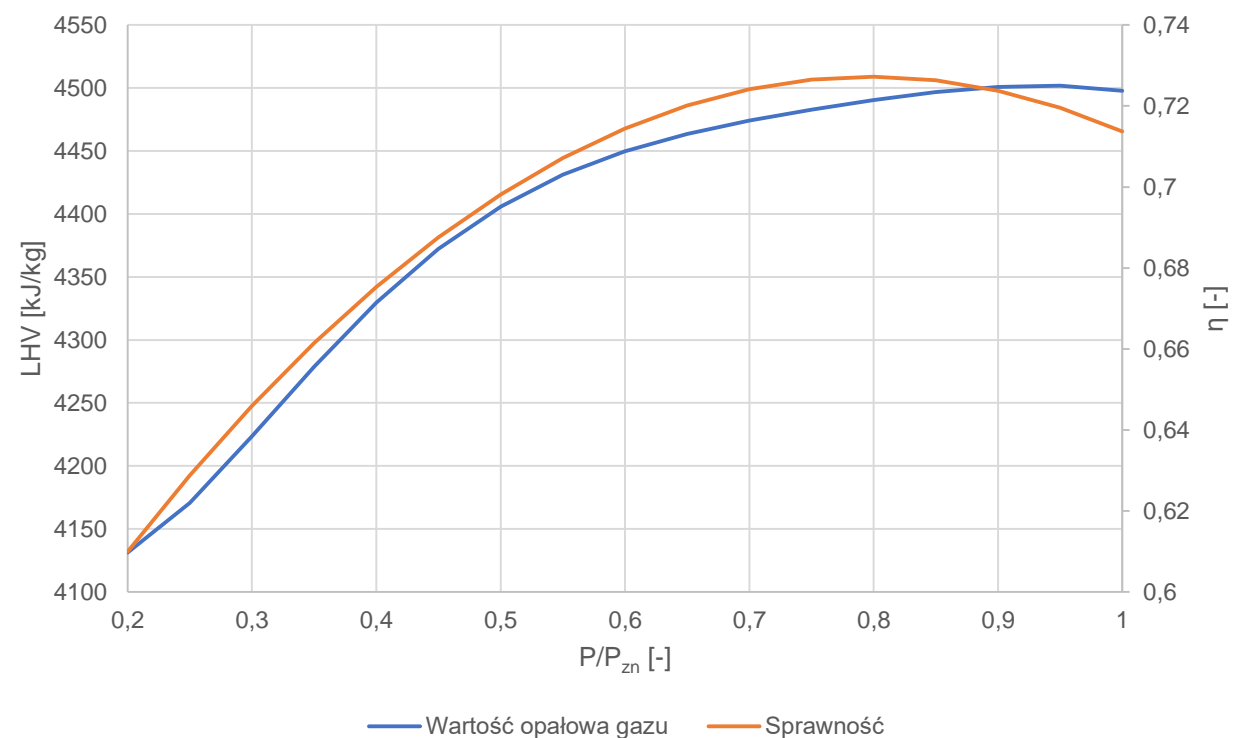
## Elementy układów

- Panele PV o łącznej mocy 600 kW bazujące na charakterystykach Solarfam 200 W.
  - Dane aktynometryczne pochodzące z bazy JRC.
- Turbiny wiatrowe o łącznej mocy 600 kW bazujące na charakterystykach Aeolos H 100KW.
  - Dane meteorologiczne pochodzące z bazy IMGW.
- Odbiorca energii o maksymalnym zapotrzebowaniu 600 kW. Odbiorca oparty został o profil odbiorcy B11 pochodzący ze standardowych profili Enea Operator.
- Dwa silniki gazowe o mocach 480 kW i 120 kW oparte o silnik CG132B-12 i przeliczone tak aby odpowiadały charakterystykom silników pracujących na syngazie według (Bhaduri i in., 2017).
- Zgazowarka o mocy znamionowej 1720 kWt (w przypadku układu bez magazynu) lub 1380 kWt (układ z magazynem)

## Charakterystyki urządzeń



Rys. 3. Sprawność silnika gazowego



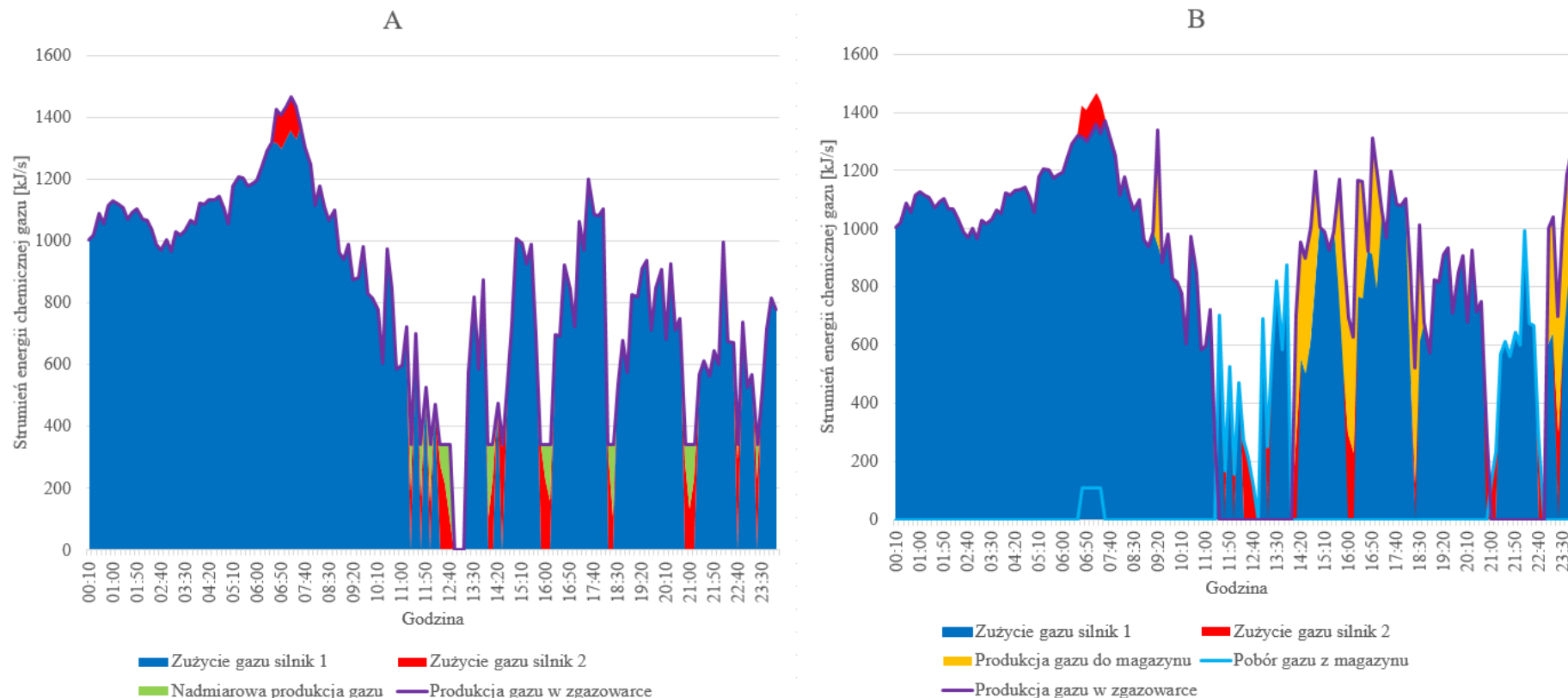
Rys. 4. Charakterystyki zgazowarki



## Założenia do analizy

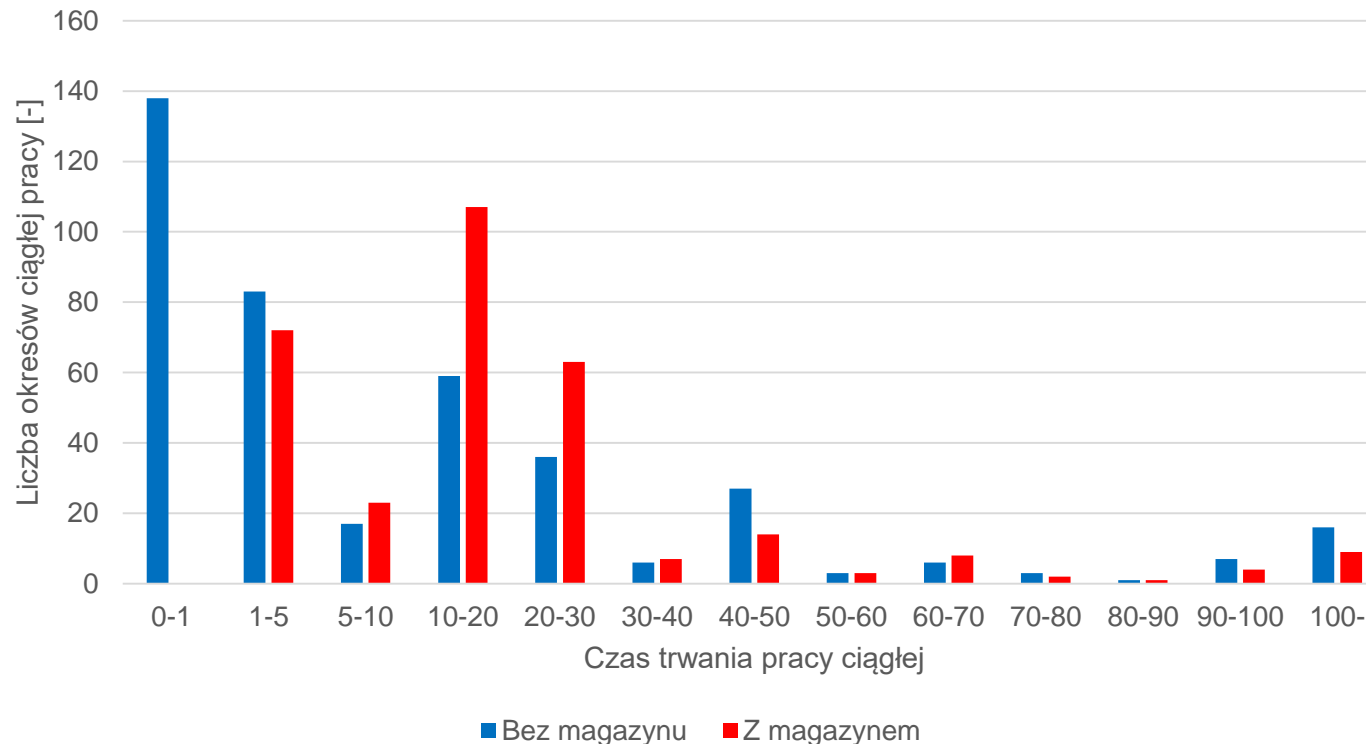
- Silniki tłokowe wykorzystywane do pokrycia różnicy pomiędzy zapotrzebowaniem, a generacją OZE.
- Rozruch instalacji zgazowania trwa 20 minut.
- W układzie bez magazynu: instalacja zgazowania załączana jest wraz z sygnałem, że zapotrzebowanie przekracza generację.
- W układzie z magazynem: paliwo pobierane jest z magazynu, jeśli nie ma takiej opcji – realizowany jest algorytm dla układu bez magazynu.
- W układzie z magazynem: gaz pobierany jest z magazynu do mniejszego silnika.
- W układzie z magazynem: gdy zgazowarka jest włączona, a silniki nie są obciążone (lub obciążenie jest niepełne) – gaz przekazywany jest do magazynu.

# Praca zgazowarki - wyniki



Rys. 5. Praca zgazowarki w dniu 10.02.2019 w układzie A) bez magazynu, B) z magazynem

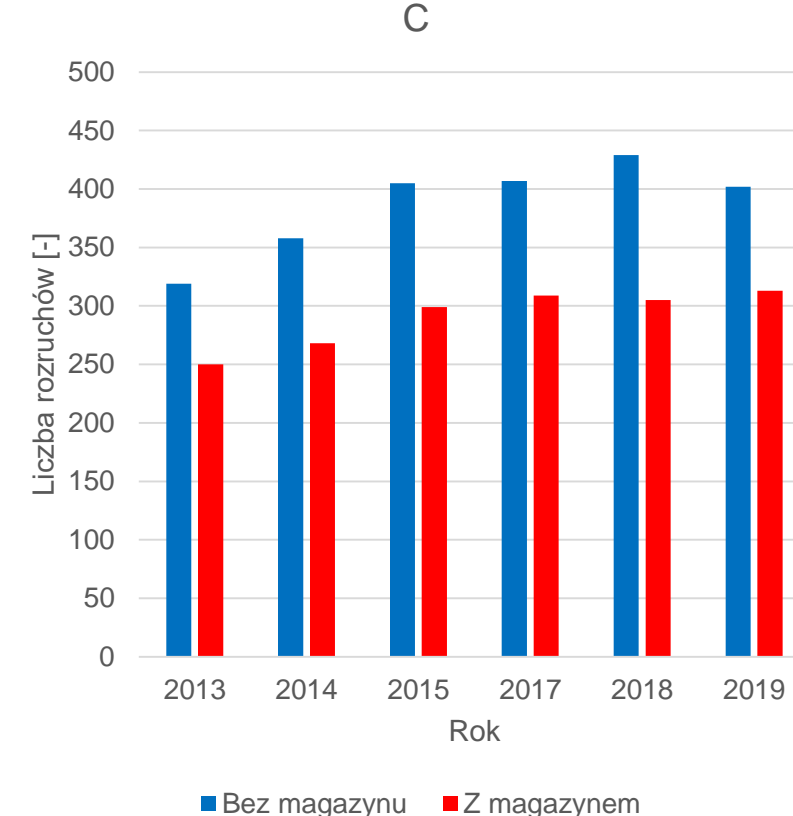
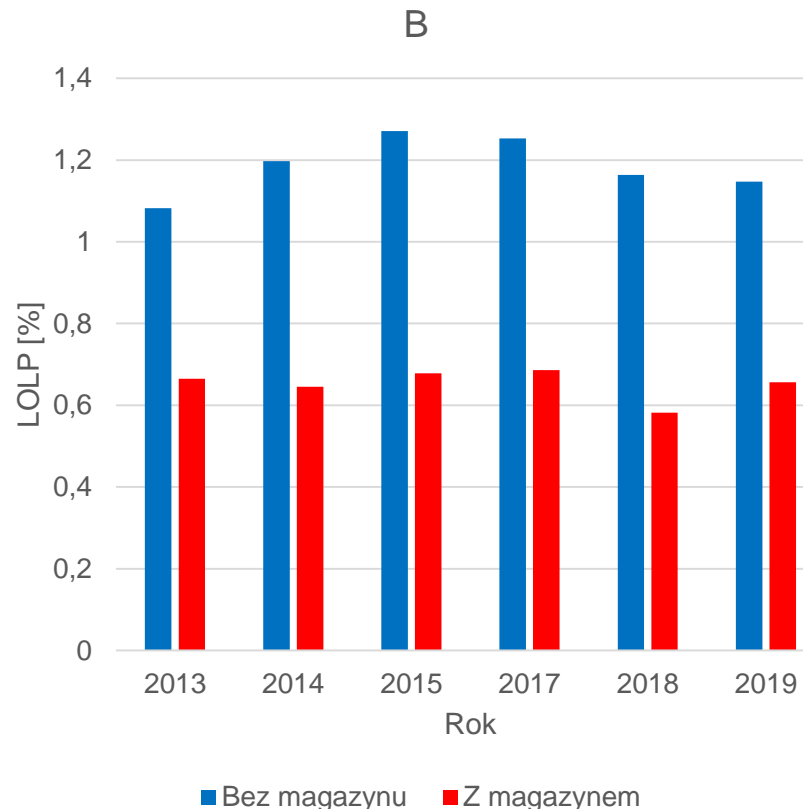
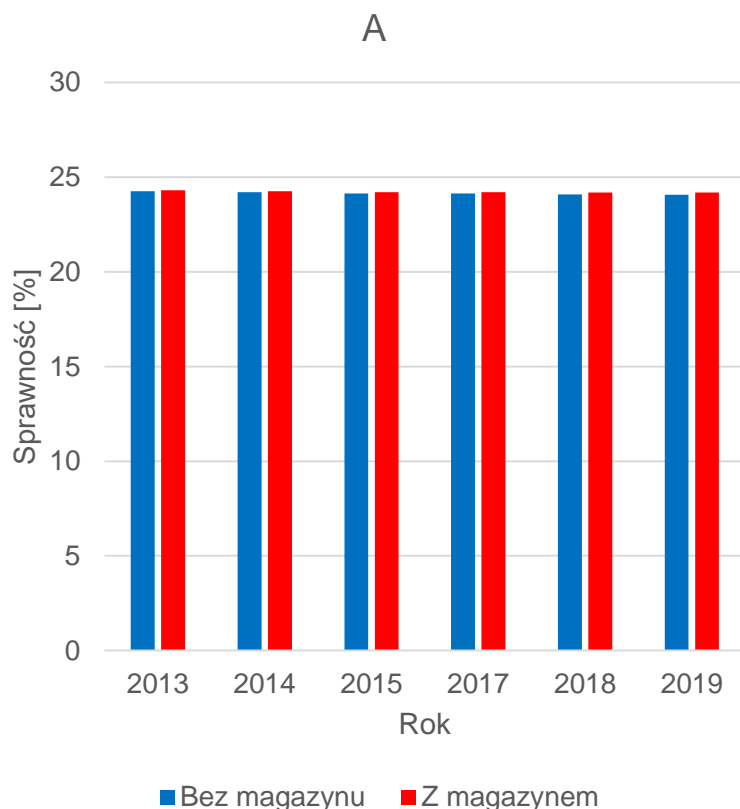
## Zmiana liczby okresów pracy ciągłej reaktora zgazowania



Rys. 6. Wykres liczby okresów pracy ciągłej reaktora zgazowania (rok 2019)

# Wyniki analizy

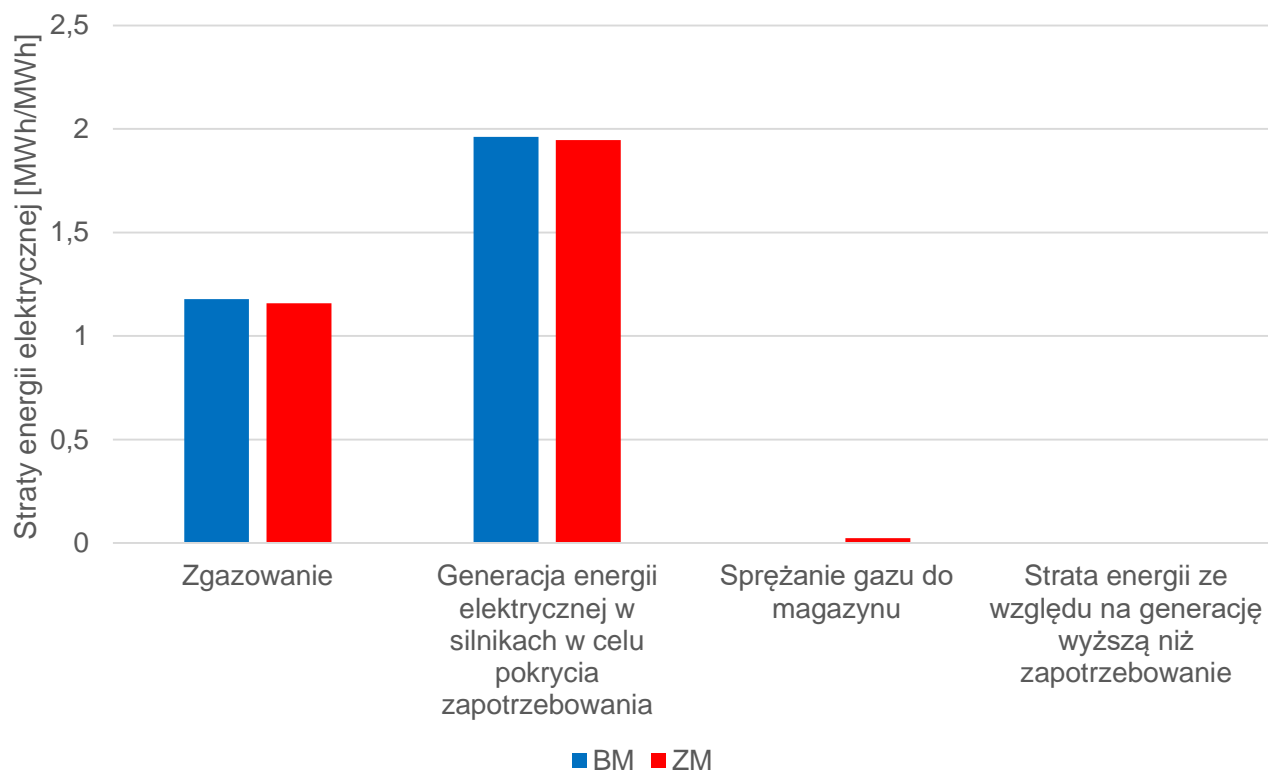
	Sprawność [%]		Zmiana [%]	LOLP [%]		Zmiana [%]	Liczba rozruchów		Zmiana [%]
	BM	ZM		BM	ZM		BM	ZM	
Średnia	24.15	24.23	0.310	1.19	0.65	-44.88	389	291	-24.68



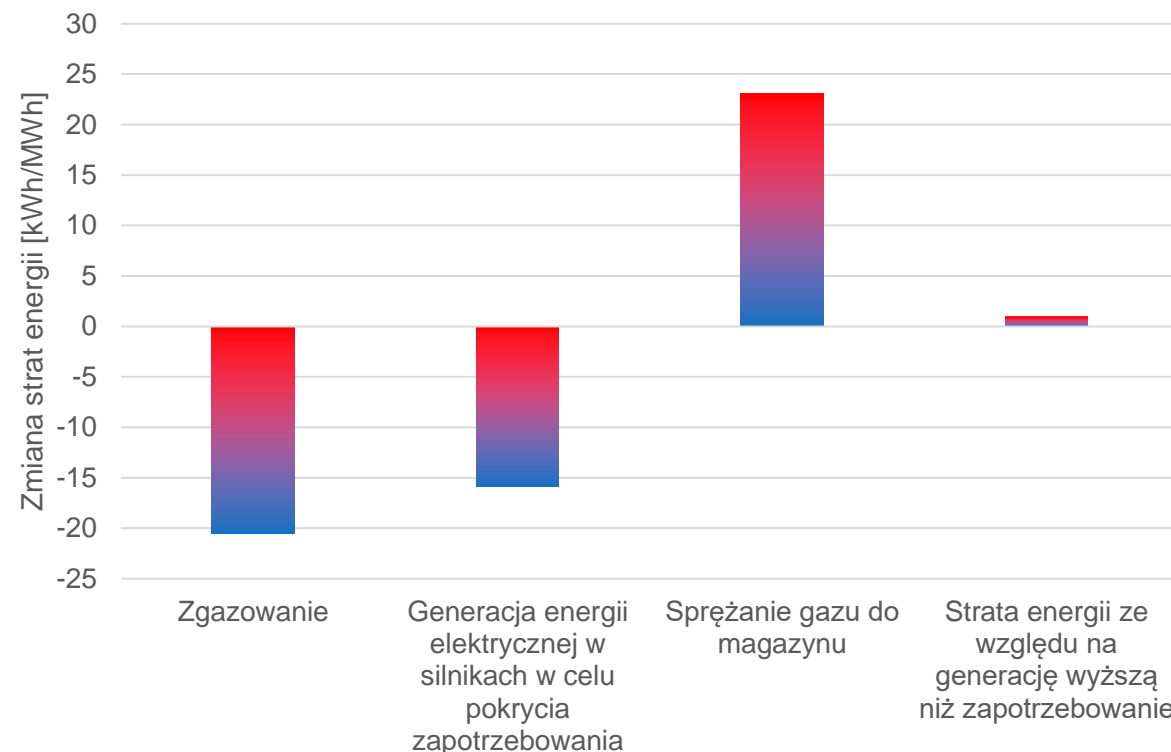
Rys. 7. Wyniki A) sprawności, B) wskaźnika LOLP, C) liczby rozruchów w zależności od roku



## Straty energii w układach



Rys. 8. Straty energii w układzie zgazowanie – silnik gazowy



Rys. 9. Zmiana strat energii po dodaniu magazynu



## Wnioski

- Wykorzystanie magazynów gazu wytworzonego w procesie zgazowania może wiązać się z zaletami:
  - zwiększenie niezawodności układu i dostępności mocy,
  - zwiększenie sprawności zgazowania,
  - poprawa współpracy z OZE.
- Oraz z wadami:
  - utrudniony proces inwestycyjny i eksploatacja,
  - konieczność sprężania,
  - zagrożenia korozyjne i pożarowe.



## Wnioski

- Pomimo zwiększenia energii zużywanej na potrzeby własne takiego układu (sprężanie części gazu do magazynu) sprawność całkowita układu zgazowanie – magazyn – silniki nieznacznie wzrosła.
- Zastosowanie magazynu syngazu w układzie hybrydowym pozwala na ograniczenie liczby rozruchów oraz zwiększenie niezawodności.
- W analizie nie dokonano obliczeń ekonomicznych. Pomimo wzrostu sprawności układu i ograniczenia wolumenu gazu zużytego do rozruchów instalacji (niższe koszty eksploatacyjne) oraz obniżenia mocy generatora gazu (obniżenie kosztów inwestycyjnych), ze względu na dodanie instalacji składającej się z magazynu ciśnieniowego syngazu oraz sprężarki wzrosłyby znacznie koszty inwestycyjne.



## Literatura

- Apt i in. 2008 – Apt, J., Newcomer, A., Lave, L.B., Douglas, S., Dunn, L.M., 2008. An engineering-economic analysis of syngas storage.
- Aslam i in. 2021 – Aslam, Z., Li, H., Hammerton, J., Andrews, G., Ross, A., Lovett, J.C., 2021. Increasing access to electricity: An assessment of the energy and power generation potential from biomass waste residues in Tanzania. *Energies* 14, 1793.
- Bhaduri i in. 2017 – Bhaduri, S., Berger, B., Pochet, M., Jeanmart, H., Contino, F., 2017. HCCI engine operated with unscrubbed biomass syngas. *Fuel Processing Technology* 157, 52–58.
- Chmielniak 2021 – Chmielniak, T., 2021. *Technologie Energetyczne*, 2 ed. WN PWN, Warszawa.
- Fiore i in. 2020 – Fiore, M., Magi, V., Viggiano, A., 2020. Internal combustion engines powered by syngas: A review. *Applied Energy* 276, 115415.
- Pedrazzi i in. 2016 – Pedrazzi, S., Allesina, G., Tartarini, P., 2016. Effects of upgrading systems on energy conversion efficiency of a gasifier-fuel cell-gas turbine power plant. *Energy Conversion and Management* 126, 686–696.
- Perez-Navarro i in. 2010 – Perez-Navarro, A., Alfonso, D., Álvarez, C., Ibáñez, F., Sanchez, C., Segura, I., 2010. Hybrid biomass-wind power plant for reliable energy generation. *Renewable Energy* 35, 1436–1443.
- Soares i Oliveira 2020 – Soares, J., Oliveira, A.C., 2020. Experimental assessment of pine wood chips gasification at steady and part-load performance. *Biomass and Bioenergy* 139, 105625.
- Stolecka i Rusin 2019 – Stolecka, K., Rusin, A., 2019. Hazards associated with syngas storage, in: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, p. 01022.
- Yang i in. 2020 – Yang, M., Yang, H., Zhou, H., Yang, Q., Zhao, H., Gul, E., Khan, M.A., Skreiberg, Ø., Wang, L., Chao, H., 2020. Syngas Production, Storage, Compression and Use in Gas Turbines. *Production of Biofuels and Chemicals with Pyrolysis* 323–371.
- Zhang i in. 2021 – Zhang, K., Zhou, B., Wu, Q., Cao, Y., Liu, N., Voropai, N., Barakhtenko, E., 2021. Modeling and utilization of biomass-to-syngas for industrial multi-energy systems. *CSEE Journal of Power and Energy Systems* 7, 932–942.



Dziękuję za uwagę