



Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki  
i Inżynierii Środowiska  
Politechnika Warszawska

# Symulacja w stanach nieustalonych parametrów sieci ciepłowniczej współpracującej z rozproszonymi zasobnikami ciepła

XX Konferencja Techniczna IGCP

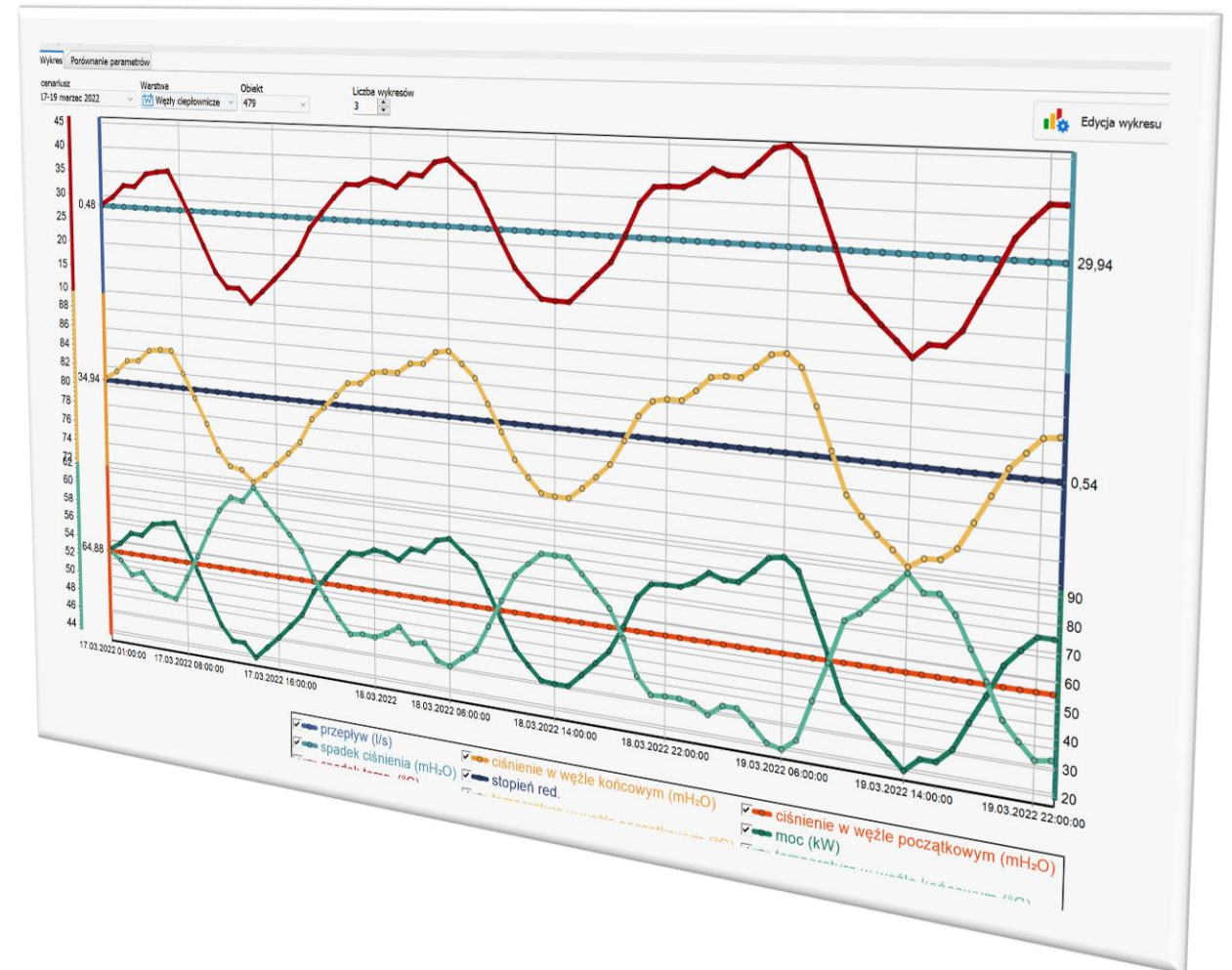
Warszawa 16.11.2023



# Symulacja stanu nieustalonego

Parametry wejściowe zmienne w trakcie symulacji:

- Czas
  - Zapotrzebowanie na CWU
- Pogoda (temperatura zewnętrzna)
  - Zapotrzebowanie na CO
  - Temperatura wyjściowa ze źródła





# Dane do symulacji

## Rury:

- Długość
- Średnica
- Chropowatość / materiał + rok budowy
- Grubość izolacji
- Lambda izolacji
- Temperatura otoczenia
- Rodzaj gruntu (12 do wyboru)
- Rodzaj rury:
  - Preizolowana
  - W kanale
  - Napowietrzna

## Węzły ciepłownicze:

- Typ pracy CO / CWU / CT
- Moc zamówiona CO
- Moc zamówiona CWU
- Moc zamówiona CT
- Charakterystyka rozbioru CWU
- Temperatura wyłączenia CO
- Przepływ / spadek temperatury

## Źródła:

- Ciśnienia zasilania
- Ciśnienie powrotu (stabilizacji)
- Krzywa regulacji / temperatura wyjściowa(t)

## Węzły sieciowe (połączenia rur i elementów):

- Wysokość n.p.m.

## Parametry dodatkowe:

- Temperatura obliczeniowa
- Temperatura zewnętrzna(t)

Pozostałe elementy: zasuwy, zawory redukcyjne, ciepłomierze, pompownie.



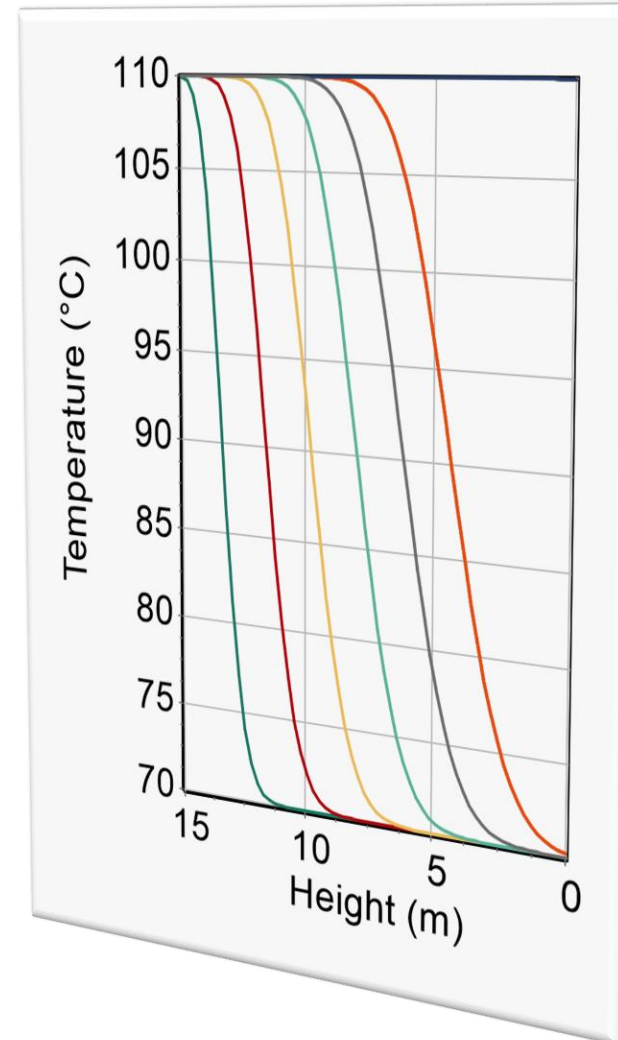
# Symulacja pracy zasobnika ciepła

## Parametry wejściowe:

- Wysokość
- Szerokość (średnica podstawy)
- Średnia temperatura początkowa w zasobniku
- Tryb pracy zasobnika:
  - Magazynowanie
  - Ładowanie
  - Rozładowywanie

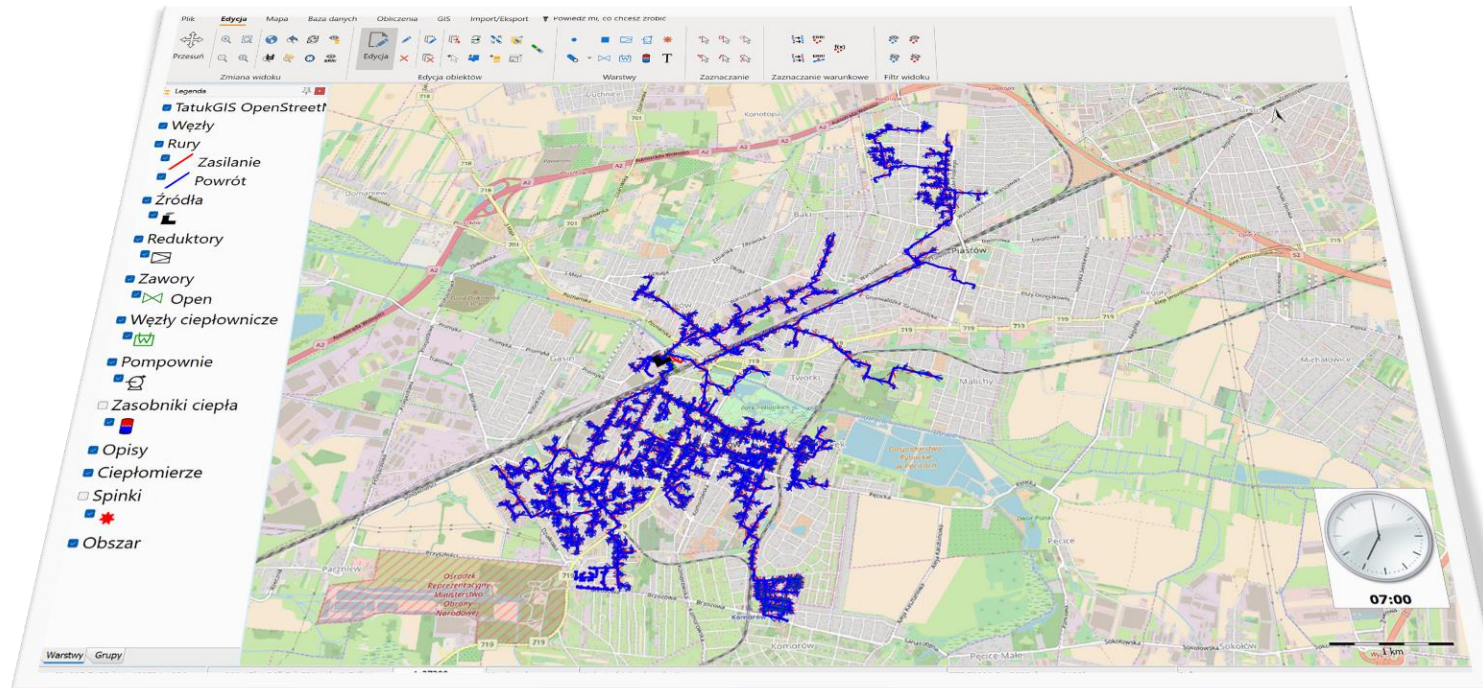
## Sezonowość pracy sieci:

- Okres letni – CWU
- Okres zimowy – CWU + CO
- Okres przejściowy – CWU, CWU + CO





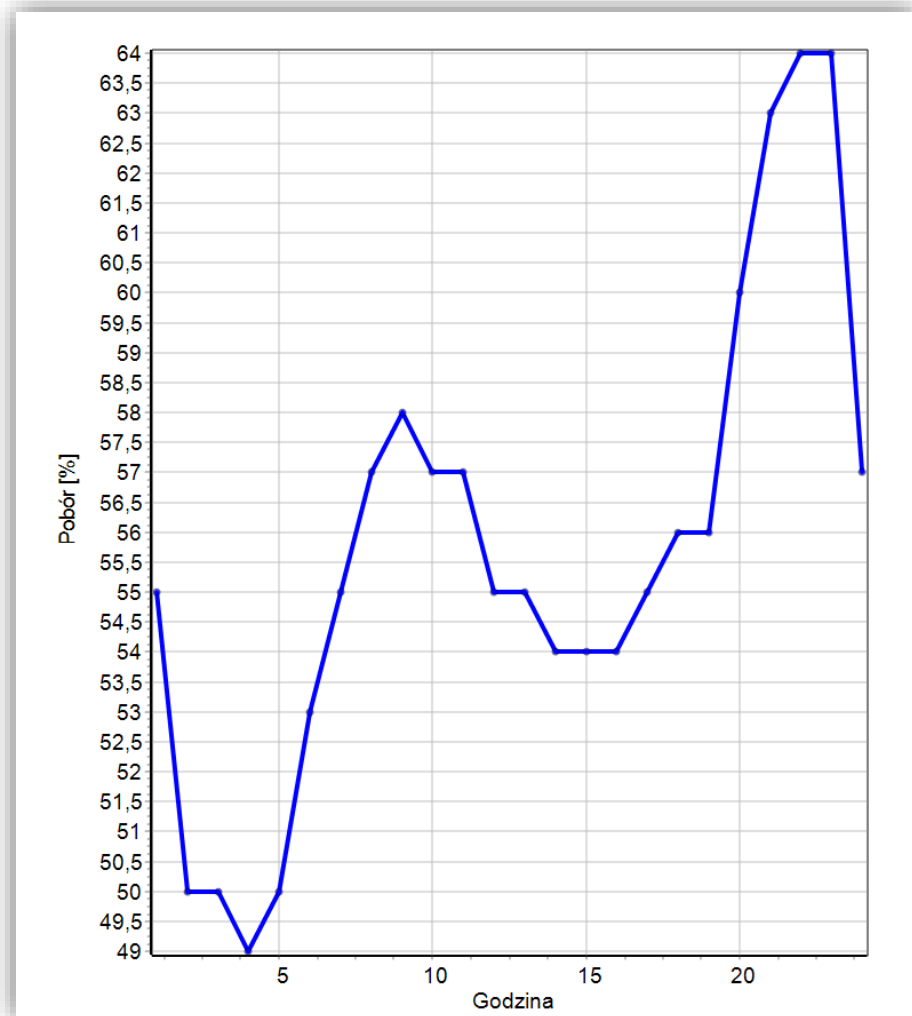
# Schemat sieci ciepłowniczej



- Węzły fizyczne (fizyczne połączenia ciepłociągów) - 4442
- Odcinki sieci (rury o tej samej geometrii, izolacji termicznej i warunkach otoczenia-rodzaj gruntu) - 4458
- Węzły ciepłownicze – 855
- Łączna długość odcinków sieci wynosi - 166 207 m



# Wyznaczenie krzywej rozbioru CWU



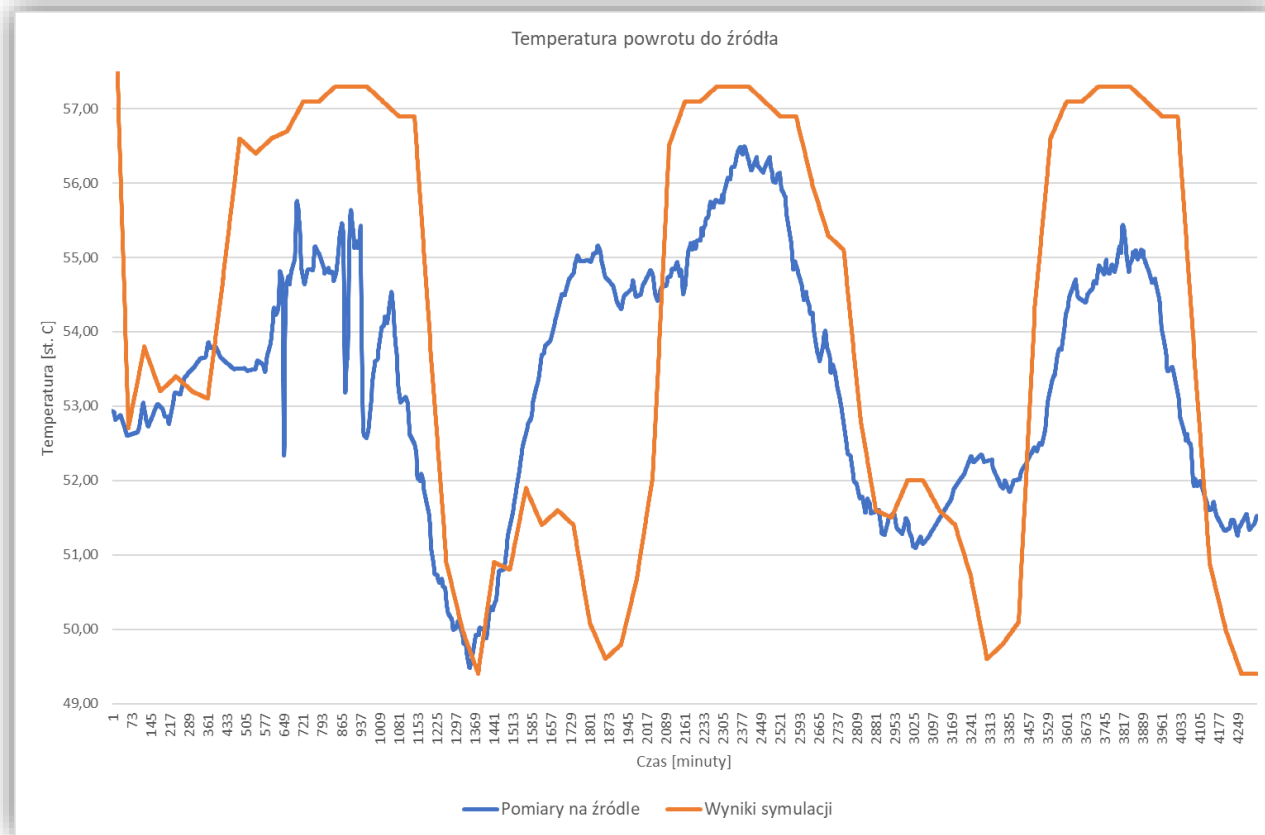
Profil dobowy rozbioru CWU ustalony na podstawie danych z opomiarowanych węzłów.

Rozróżniane grupy budynków:

- Budynki jednorodzinne
- Budynki jednorodzinne z usługami
- Budynki wielorodzinne
- Budynki wielorodzinne z usługami
- Szkoły/przedszkola
- Przemysł
- Usługi
- Administracja publiczna
- Budynki użyteczności publicznej



# Weryfikacja modelu sieci



## Parametry źródła

### Zadane:

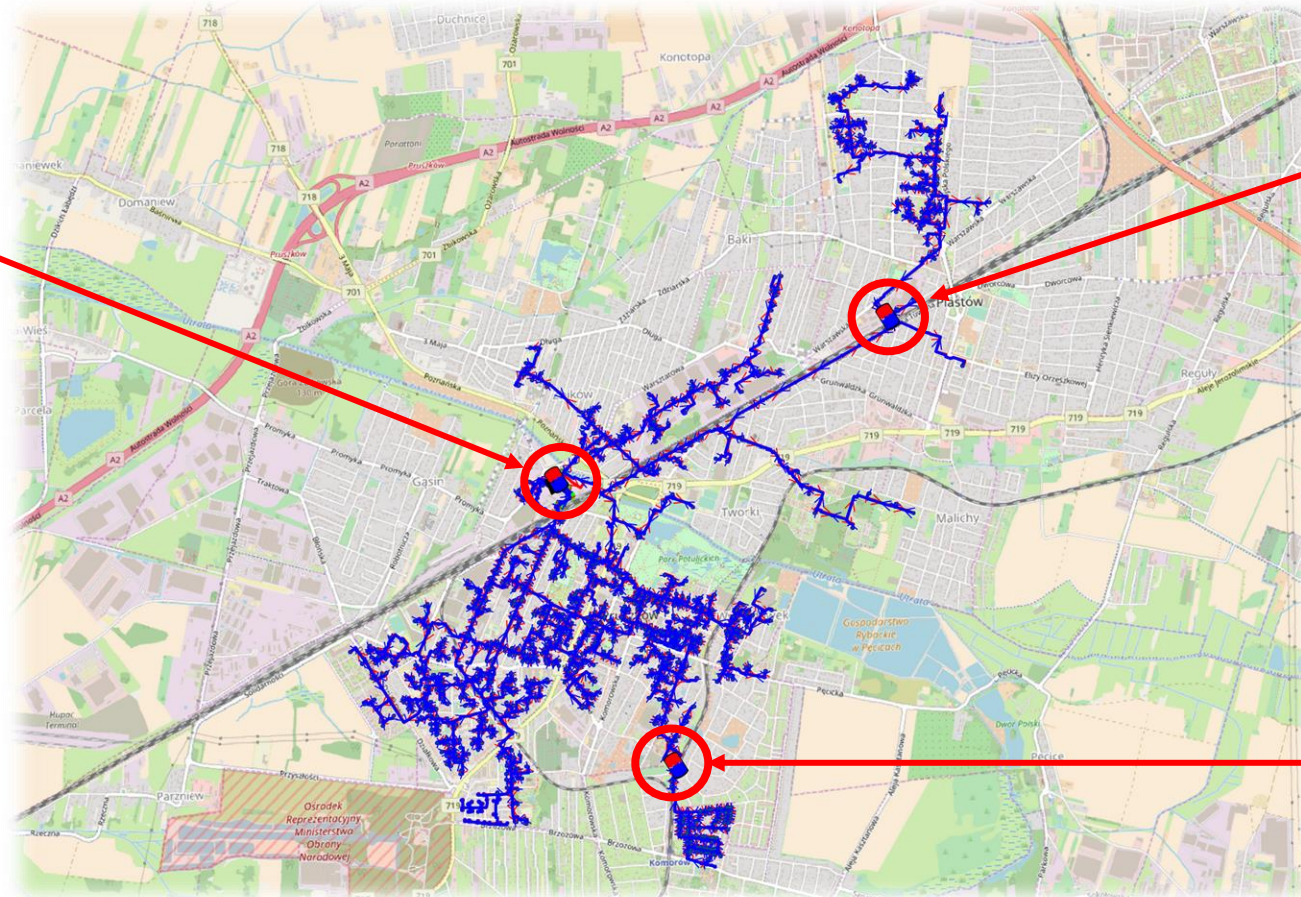
- ciśnienia zasilania
- ciśnienie stabilizacji
- temperatura zasilana

### Wyniki:

- temperatura powrotu do źródła
- strumień wychodzący



# Potencjalne lokalizacje zasobników ciepła



Zasobnik centralny

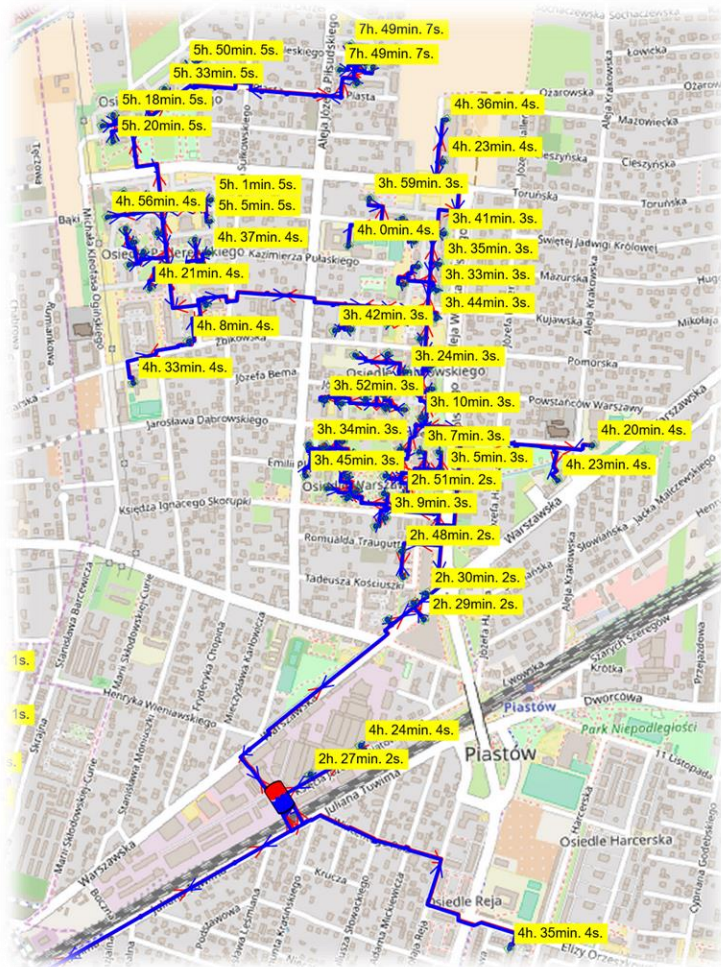
Zasobnik „PSZOK”

Zasobnik „Żwirowa”





# Zasobnik „PSZOK”



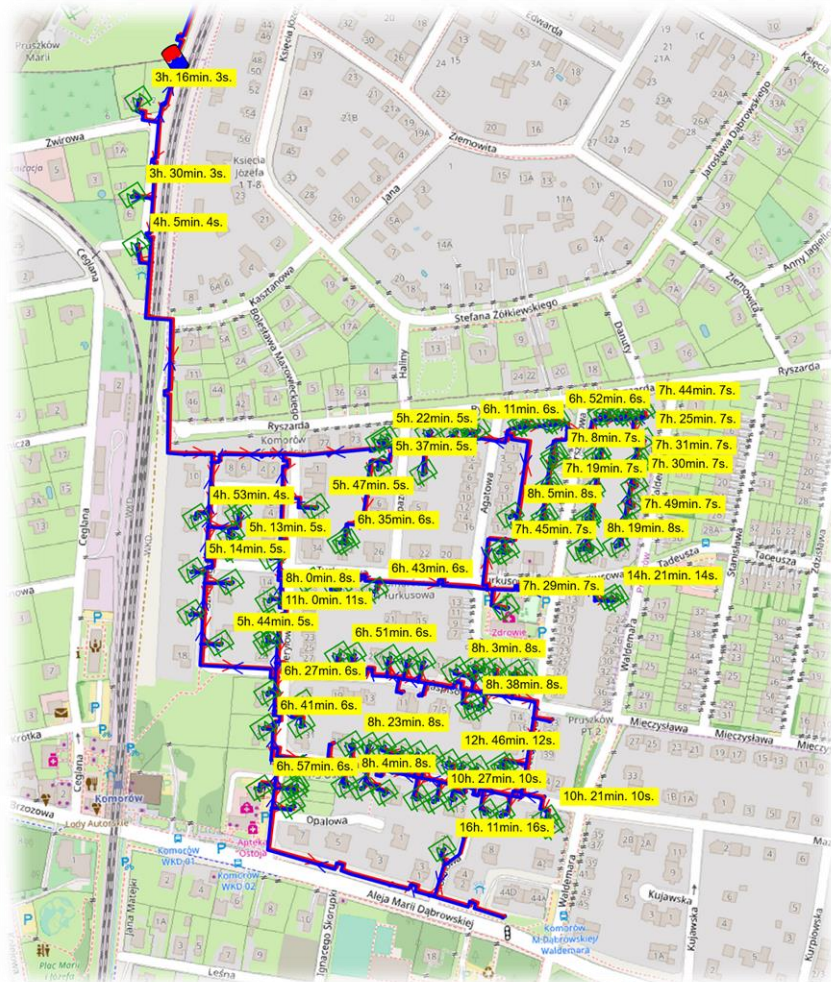
Średnie opóźnienie transportowe w sieci: 1h 30min. – 2h

Opóźnienie transportowe dla części sieci za zasobnikiem „PSZOK”: 2h 30min – 8h

Moc zainstalowana/przeptyw w odniesieniu do całej sieci: 10%



# Zasobnik „Żwirowa”



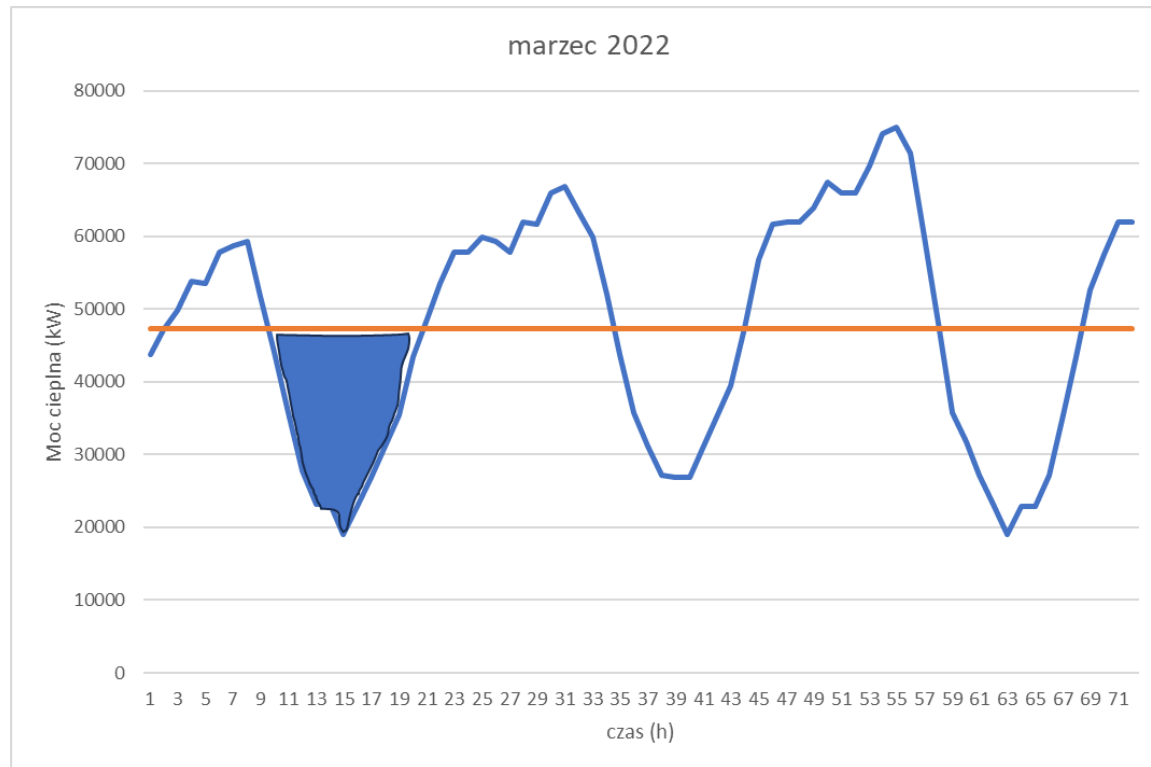
Średnie opóźnienie transportowe w sieci: 1h 30min. – 2h

Opóźnienie transportowe dla części sieci za zasobnikiem „Żwirowa”: 3h – 16h

Moc zainstalowana/przeptyw w odniesieniu do całej sieci: 1%



# Dobór wielkości zasobników



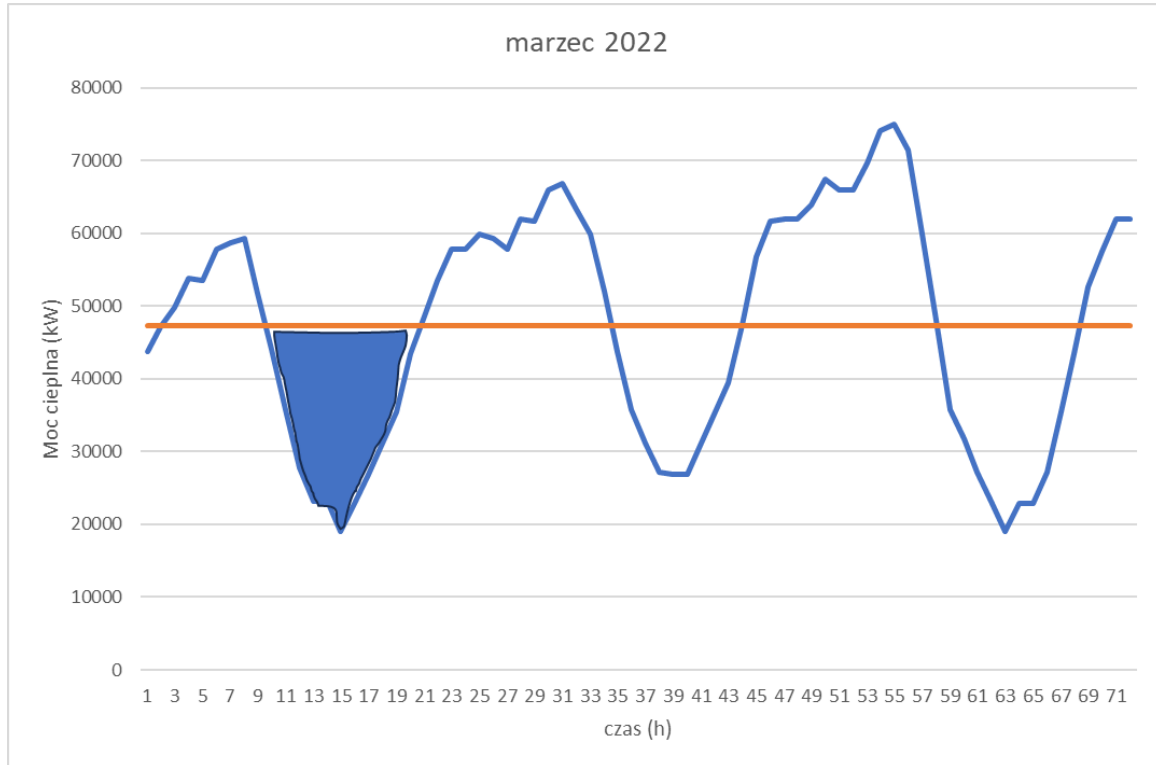
Dobór pojemności zasobników ciepła na podstawie średniej mocy strumienia w danym miejscu.

$$H / D = 2 - 2,5$$

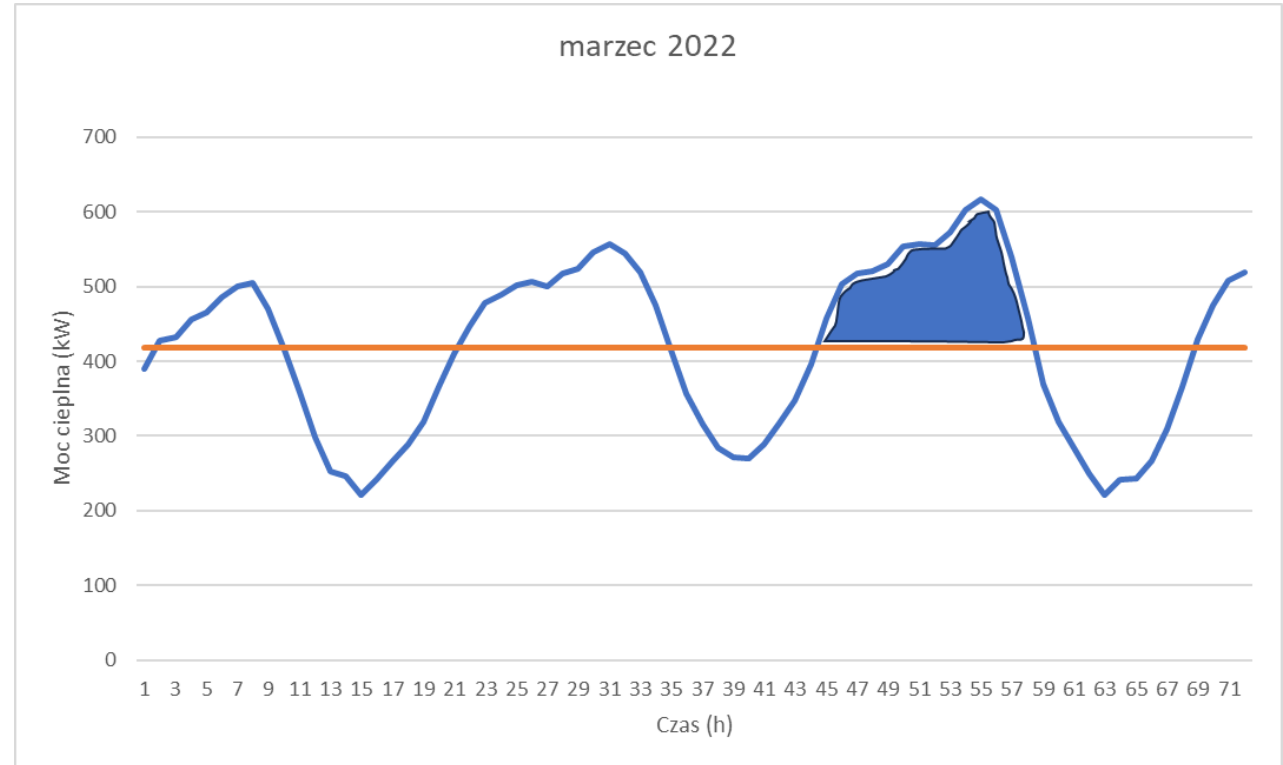
| Zasobnik    | Pojemność (m <sup>3</sup> ) | Wymiary H / D (m) |
|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Centralny   | 7717                        | 34,00 / 17,00     |
| PSZOK       | 445                         | 15,25 / 6,10      |
| ul. Żwirowa | 38                          | 6,75 / 2,70       |



# Cykle pracy zasobnika



Ładowanie zasobnika



Rozładowywanie zasobnika



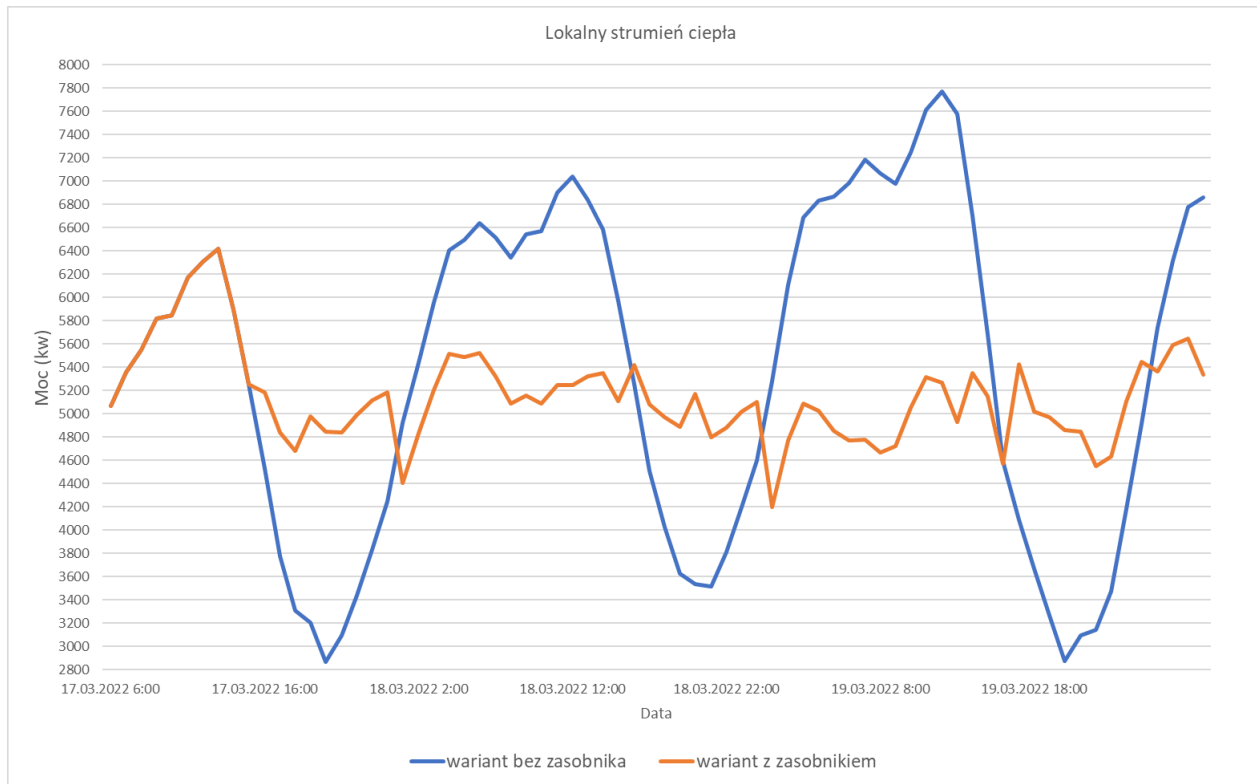
# Parametry pracy sieci bez zasobników

|                    |                            | luty        | marzec      | czerwiec    | październik |
|--------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>PSZOK</b>       | zakres mocy (MW)           | 6,2 - 6,8   | 3 - 7,5     | 2,6 - 3,3   | 3 - 5       |
|                    | nierównomierność mocy (MW) | 0,6         | 4,5         | 0,7         | 2           |
| <b>ul. Żwirowa</b> | zakres mocy (MW)           | 0,53 - 0,55 | 0,25 - 0,65 | 0,23 - 0,25 | 0,24 - 0,44 |
|                    | nierównomierność mocy (MW) | 0,02        | 0,4         | 0,02        | 0,2         |

Analizowane warianty pracy zasobników rozproszonych dla dobowego cyklu pracy uwzględniając sezonowość w 2022 r.



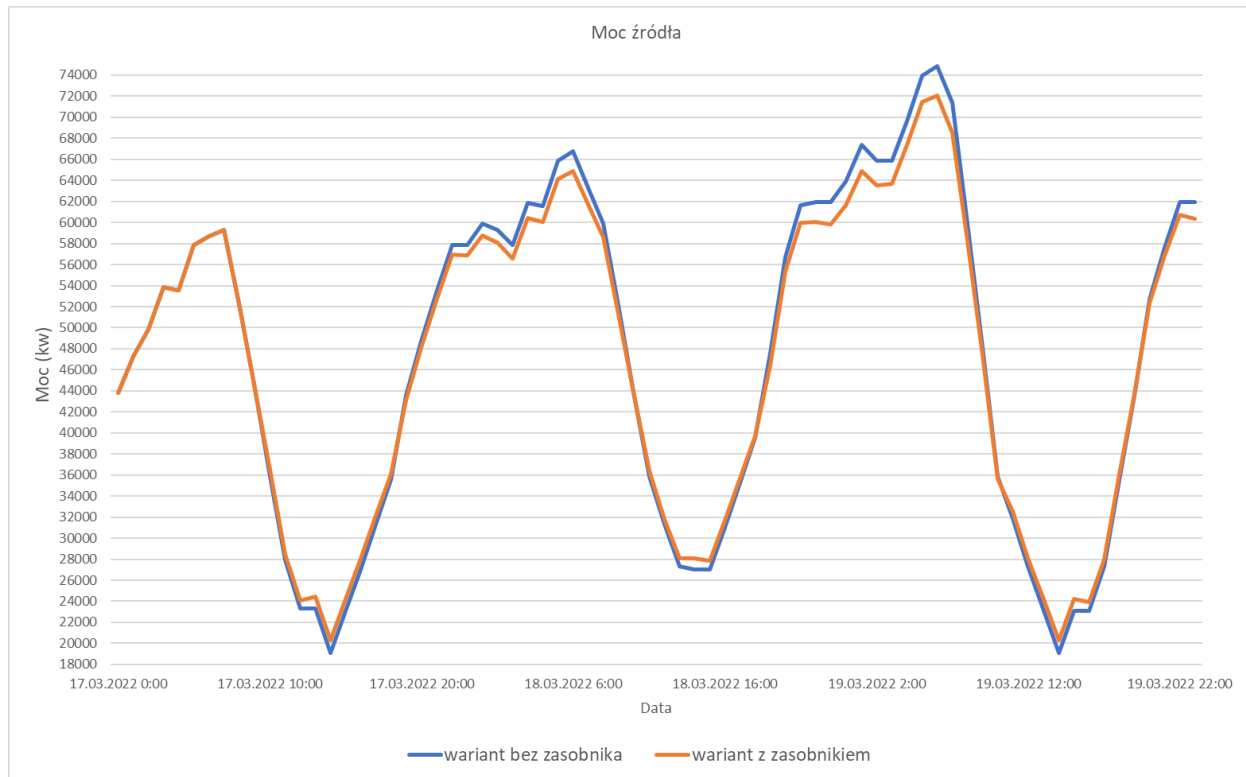
# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



Współpraca zasobnika PSZOK z siecią w marcu 2022 r.



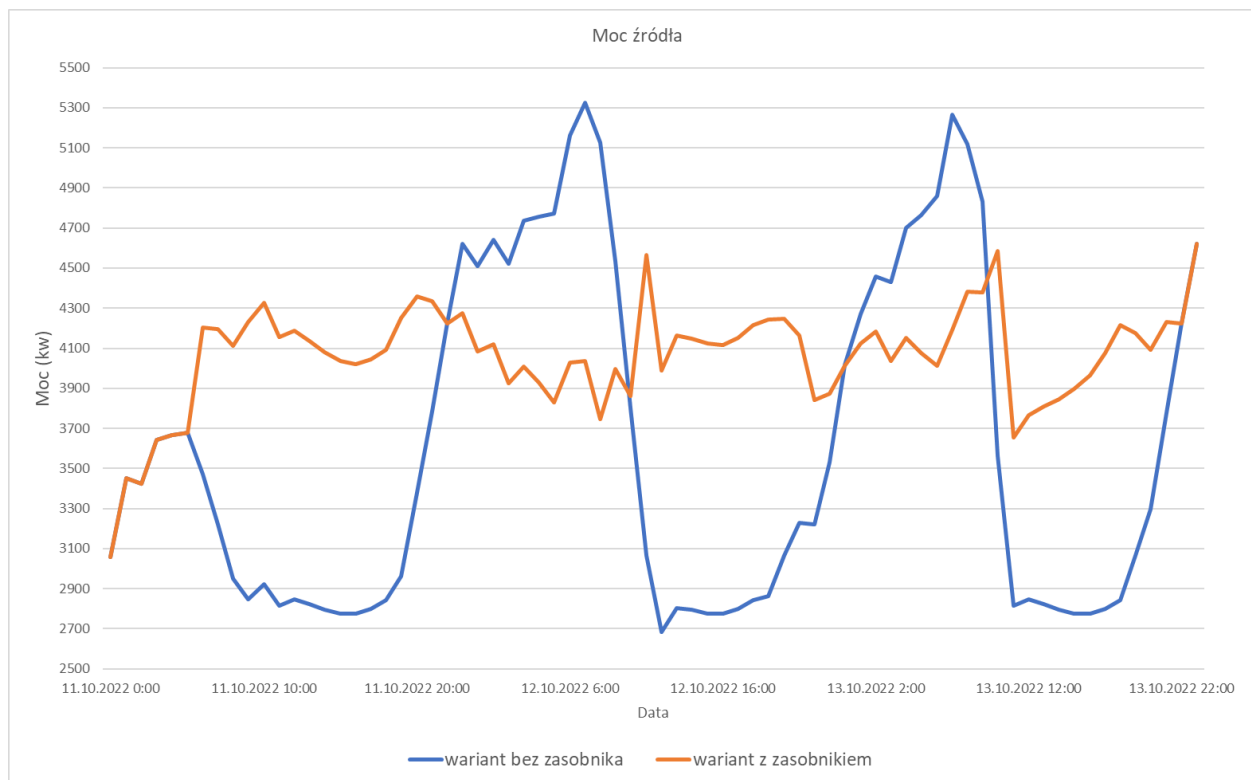
# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



Współpraca zasobnika PSZOK ze źródłem (ciepłownią) w marcu 2022 r.



# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem

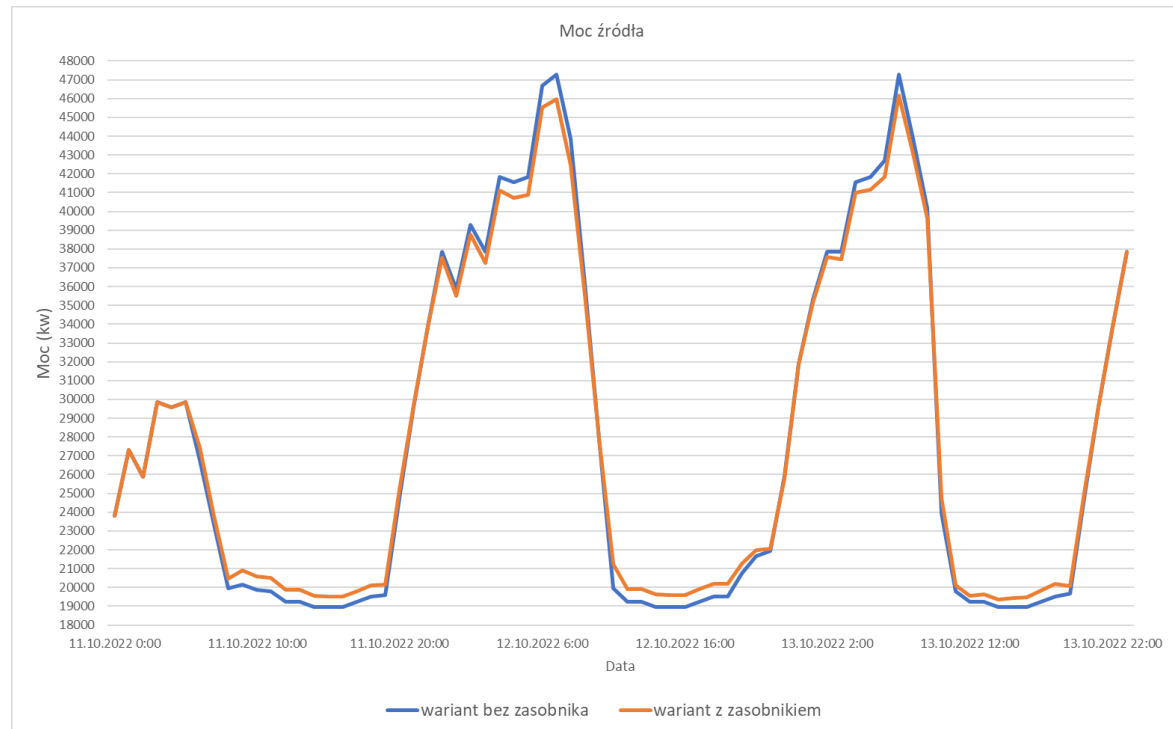


Współpraca zasobnika PSZOK z siecią w październiku 2022 r.





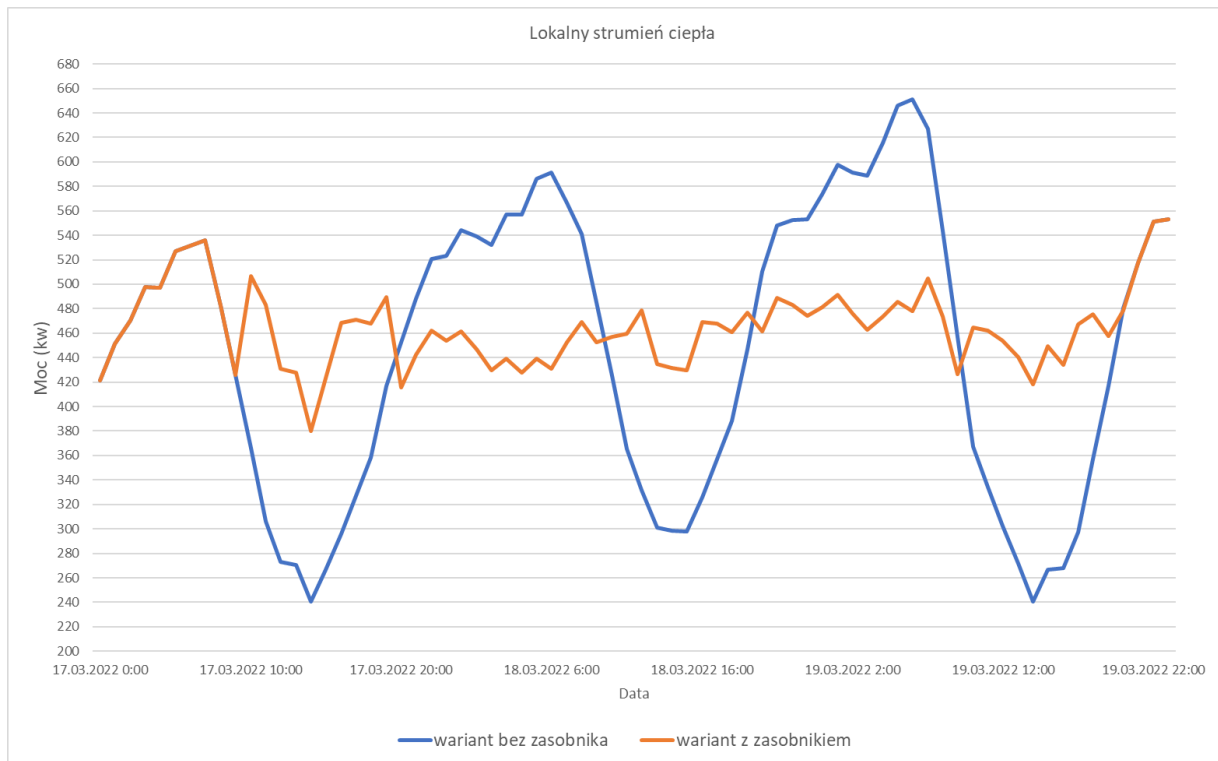
# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



Współpraca zasobnika PSZOK ze źródłem (ciepłownią) w marcu 2022 r.



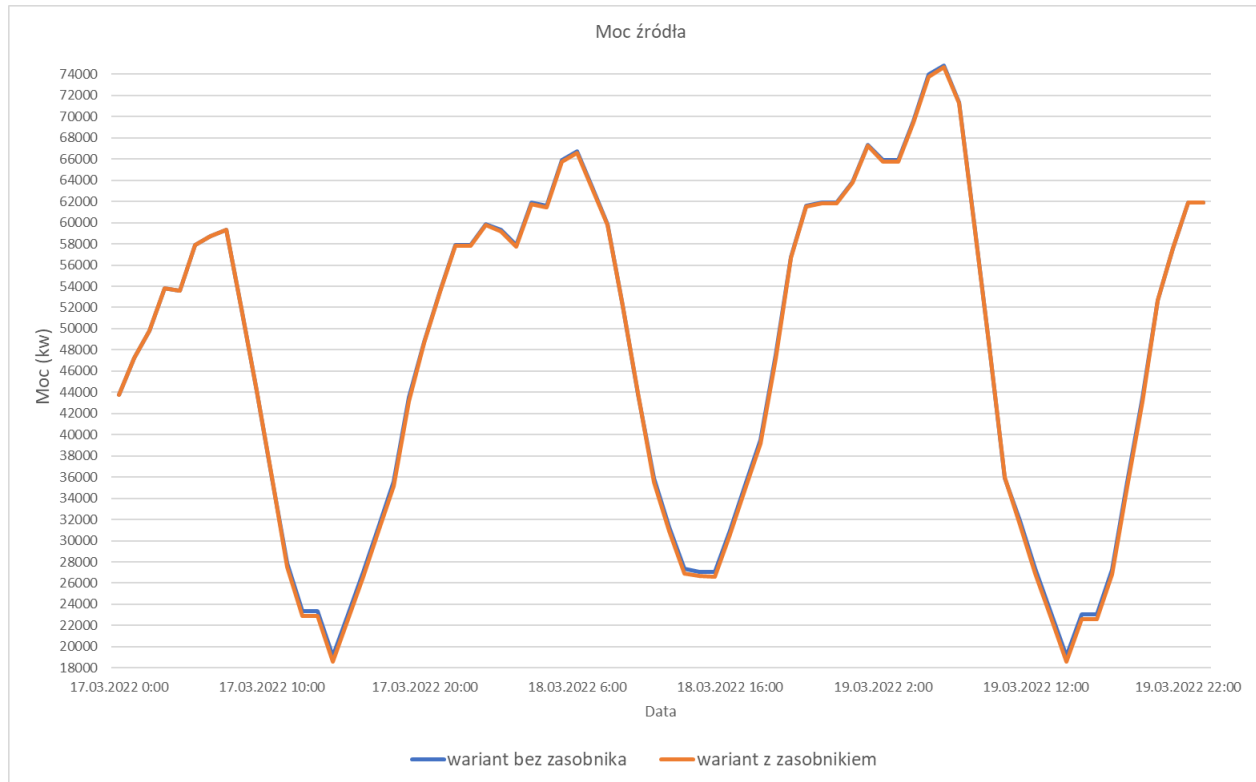
# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



Współpraca zasobnika „Żwirowa” z siecią w marcu 2022 r.



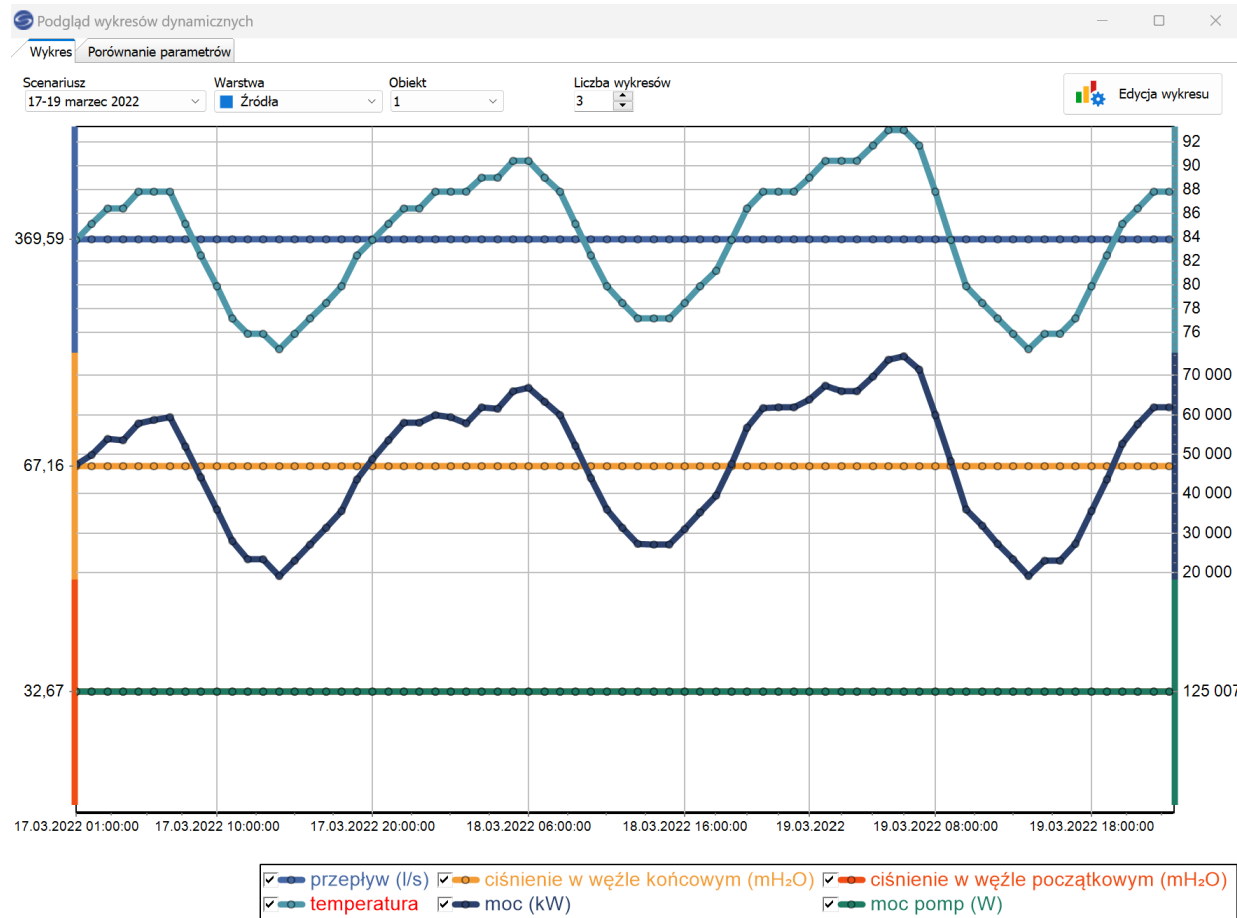
# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



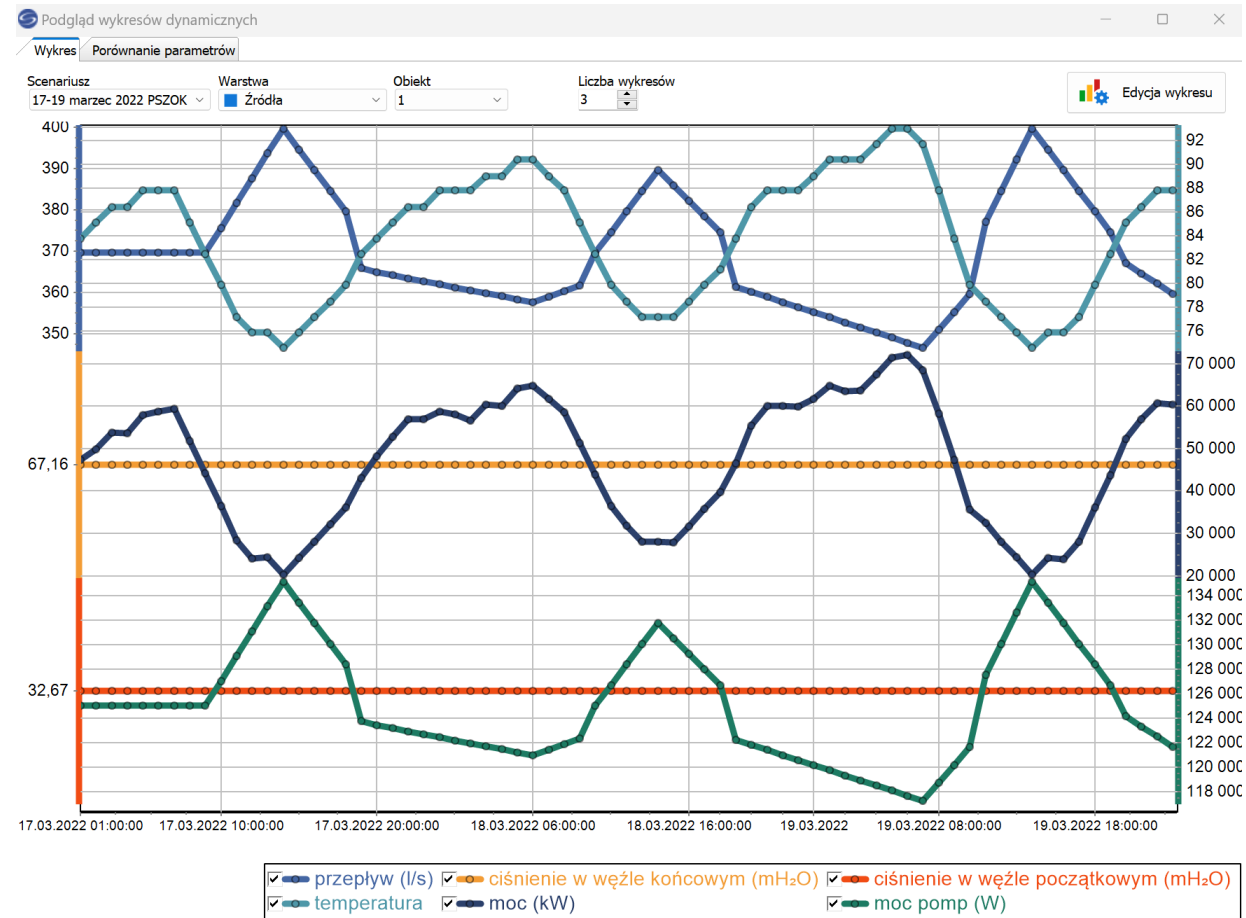
Współpraca zasobnika „Żwirowa” ze źródłem (ciepłownią) w marcu 2022 r.



# Współpraca źródła z zasobnikiem „PSZOK”



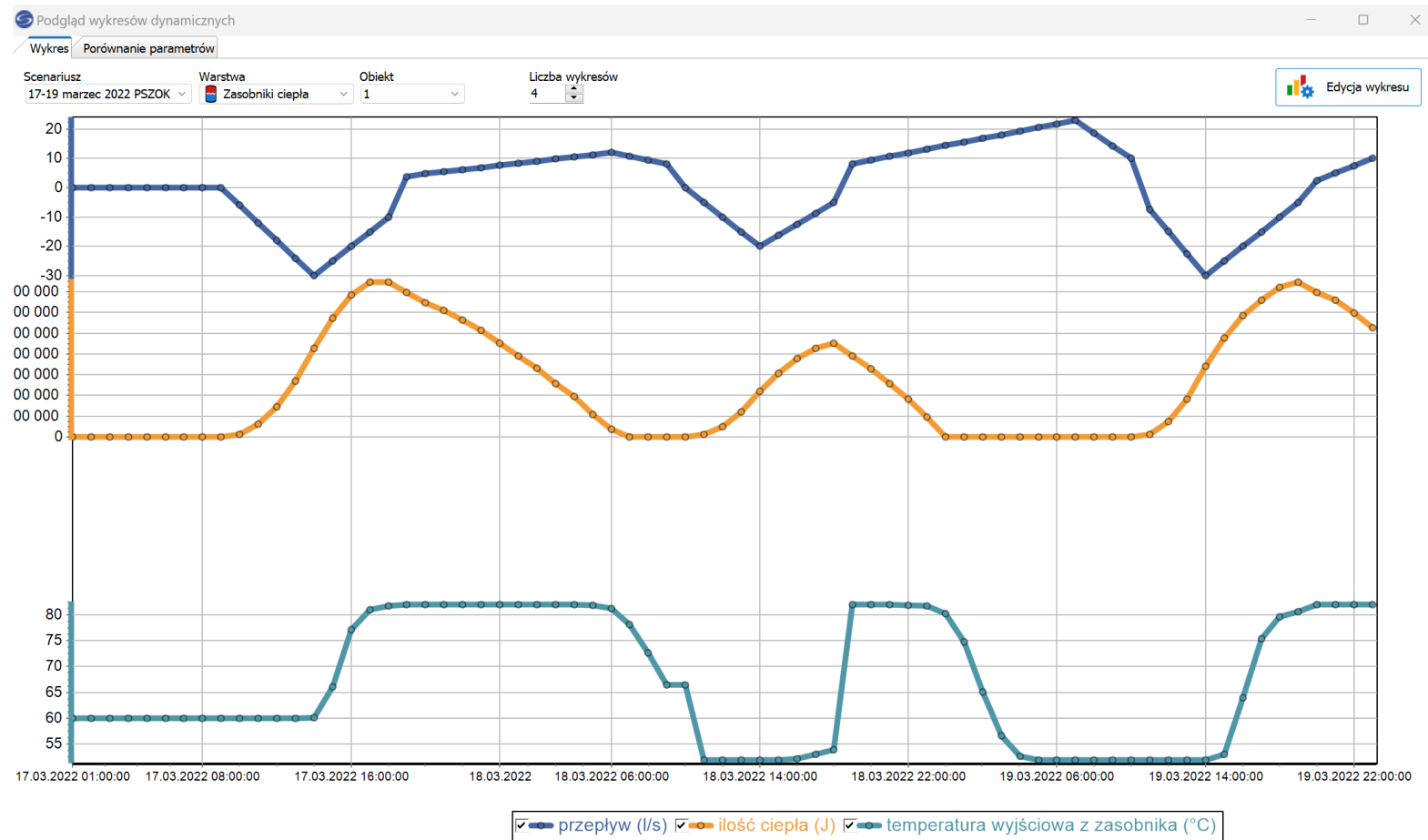
Bez zasobnika



Z zasobnikiem



# Symulacja pracy zasobnika ciepła „PSZOK”





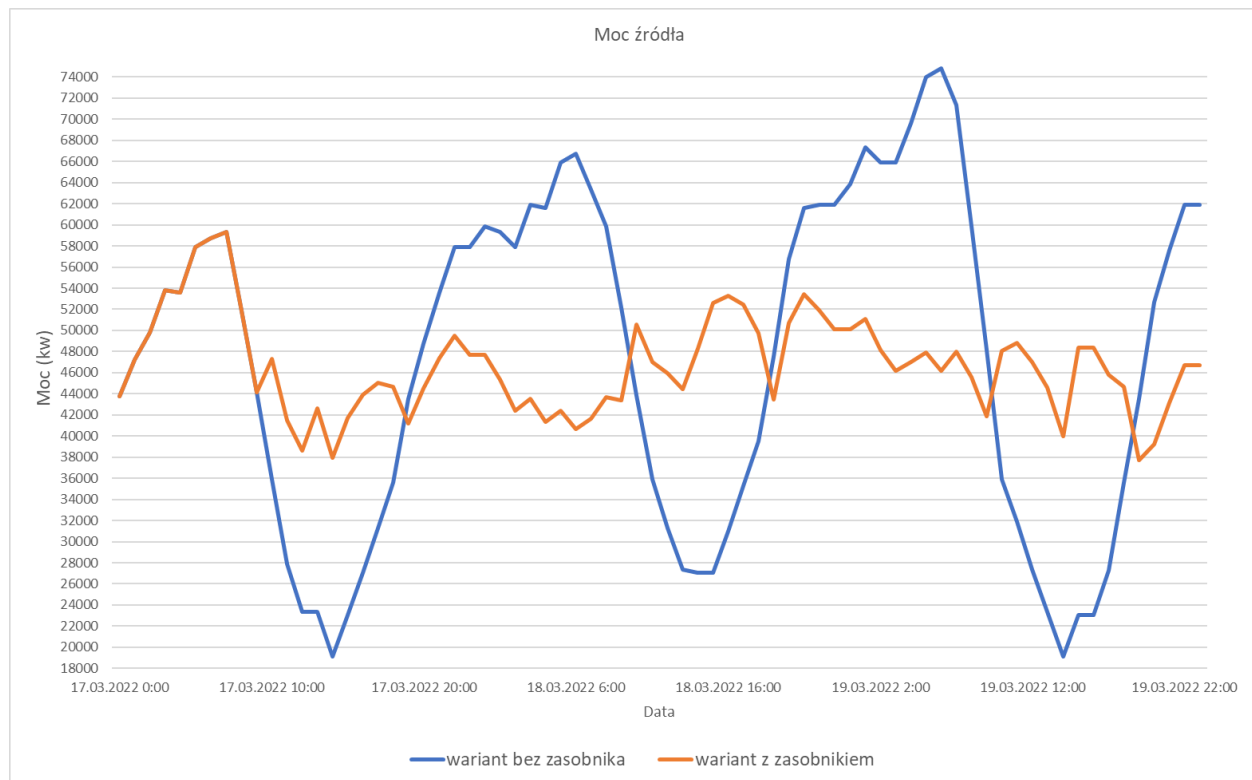
# Parametry pracy sieci bez zasobnika

|                  |                            | luty    | marzec  | czerwiec | październik |
|------------------|----------------------------|---------|---------|----------|-------------|
| <b>Centralny</b> | zakres mocy (MW)           | 58 - 62 | 20 - 75 | 18 - 22  | 20 - 45     |
|                  | nierównomierność mocy (MW) | 4       | 55      | 4        | 25          |

Analizowane warianty pracy zasobnika centralnego dla dobowego cyklu pracy uwzględniając sezonowość w 2022 r.



# Wyniki symulacji sieci z zasobnikiem



Współpraca zasobnika centralnego ze źródłem (ciepłownią) w marcu 2022 r.



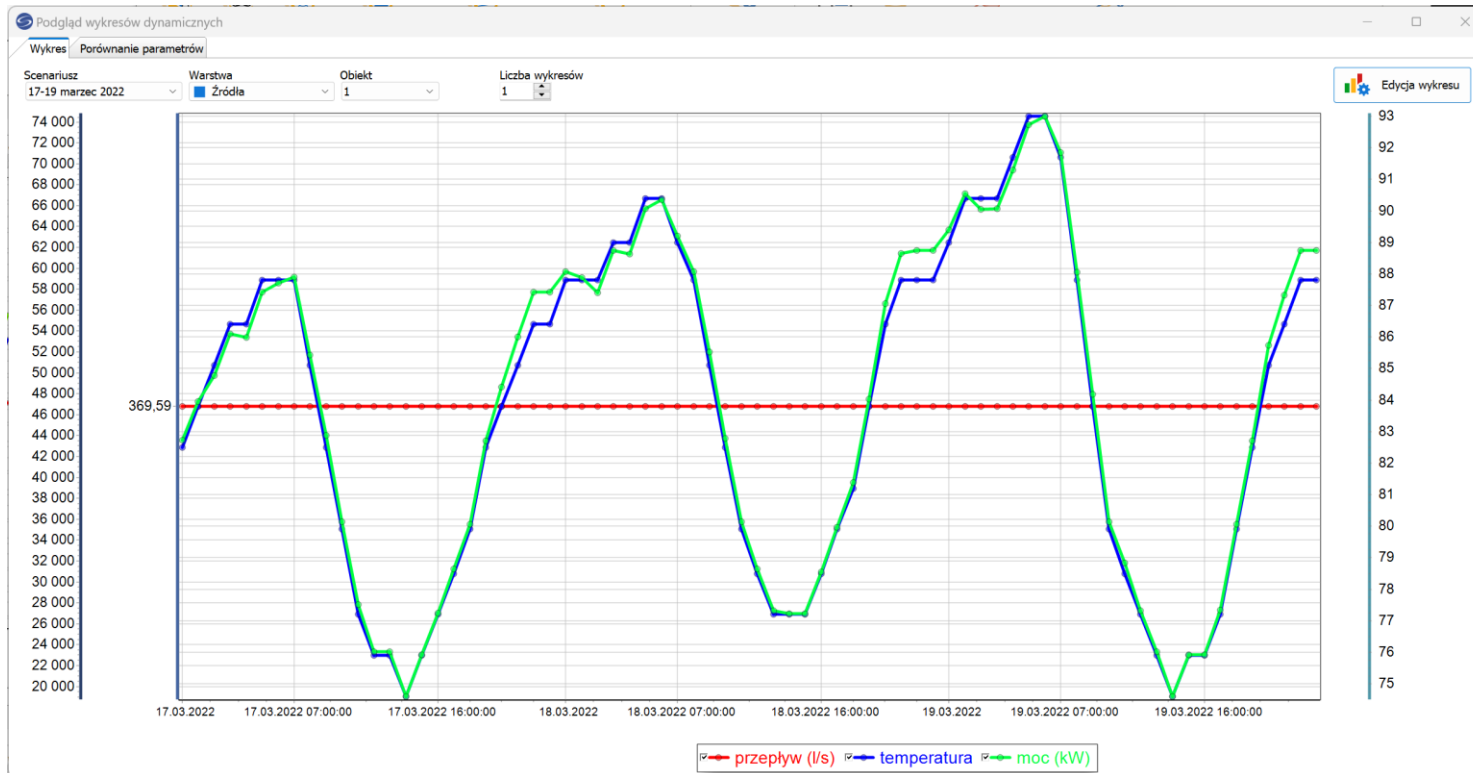
# Zestawienie wyników w odniesieniu do 24h

| Wariant pracy                                   | Produkcja ciepła | Straty ciepła | Energia pompowania | Redukcja strat ciepła |        | Wzrost energii pompowania |       |
|---|------------------|---------------|--------------------|-----------------------|--------|---------------------------|-------|
|   | (MWh)            | (MWh)         | (kWh)              | (MWh)                 | (zł)   | (kWh)                     | (zł)  |
| Bez zasobników                                  | 1181             | 58,03         | 3000               | -                     | -      | -                         | -     |
| Zasobnik centralny                              | 1086             | 57,30         | 3302               | 0,73                  | 132,13 | 302                       | 64,73 |
| Zasobnik centralny + zasobnik rozproszony PSZOK | 1060             | 56,75         | 3279               | 1,28                  | 231,68 | 279                       | 59,80 |
| Zasobnik rozproszony PSZOK                      | 1162             | 57,48         | 2977               | 0,55                  | 99,55  | -23                       | -4,93 |
| Zasobnik rozproszony Żwirowa                    | 1176             | 54,75         | 3002               | 3,28                  | 593,68 | 2                         | 0,43  |
| Zasobniki rozproszone PSZOK + Żwirowa           | 1158             | 56,38         | 2979               | 1,65                  | 298,65 | -21                       | -4,50 |





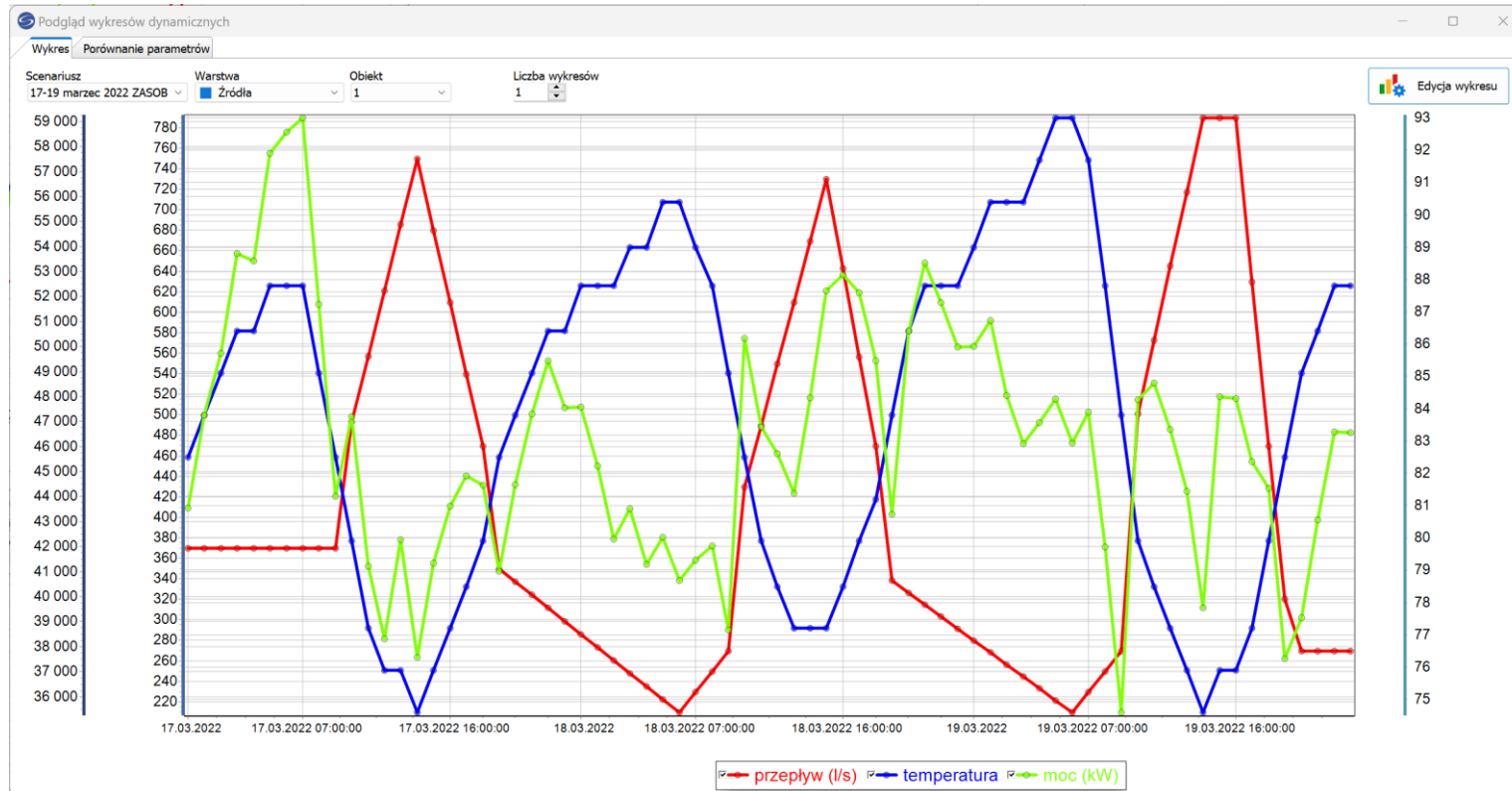
# Praca źródła bez zasobnika centralnego



Parametry pracy źródła (ciepłowni) (moc, temperatura na wyjściu i przepływ) nie współpracującego z zasobnikami na przykładzie marca 2022 r.



# Praca źródła z zasobnikiem centralnym



Parametry pracy źródła (ciepłowni) (moc, temperatura na wyjściu i przepływ) współpracującego z zasobnikiem centralnym na przykładzie marca 2022 r.



# Zestawienie wyników dla zasobnika centralnego

| Wariant pracy                       | Moc szczytowa (MW) | Redukcja mocy szczytowej (MW) | Redukcja mocy szczytowej (%) | Nierównomierność mocy źródła ciepła* |             |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|
|                                     |                    |                               |                              | (MW)                                 | zakresowość |
| Bez zasobnika                       | 75                 | -                             | -                            | 18 - 75                              | 1 : 4,1     |
| Zasobnik centralny                  | 59                 | 16                            | 21%                          | 35 - 59                              | 1 : 1,7     |
| Zasobnik centralny + zasobnik PSZOK | 59                 | 16                            | 21%                          | 34 - 59                              | 1 : 1,7     |

Przykładowe korzyści ze współpracy źródła z zasobnikiem centralnym i zasobnikiem PSZOK na przykładzie analizowanych 72h w marcu 2022 r. (czas obserwacji trzy doby).

- Zakres - (Pmin - Pmaks), Zakresowość - 1 : (Pmaks / Pmin)



# Zestawienie wyników dla zasobnika „PSZOK”

| Wariant pracy       | Moc szczytowa (MW) | Redukcja mocy szczytowej (MW) | Redukcja mocy szczytowej (%) | Nierównomierność lokalnego strumienia ciepła |             |
|---------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|--|-------------|
|                     |                    |                               |                              | (MW)   | zakresowość |
| Bez zasobnika PSZOK | 7,8                | -                             | -                            | 2,8 - 7,8                                    | 1 : 2,8     |
| Z zasobnikiem PSZOK | 5,7                | 2,1                           | 27%                          | 4,2 - 5,7                                    | 1 : 1,4     |

Przykładowe korzyści ze współpracy sieci z zasobnikiem rozproszonym PSZOK na przykładzie analizowanych 72h w marcu 2022 r. (czas obserwacji trzy doby).



# Zestawienie wyników dla zasobnika „Żwirowa”

| Wariant pracy             | Moc szczytowa (MW) | Redukcja mocy szczytowej (MW) | Redukcja mocy szczytowej (%) | Nierównomierność lokalnego strumienia ciepła |             |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|--|-------------|
|                           |                    |                               |                              | (MW)   | zakresowość |
| Bez zasobnika ul. Żwirowa | 0,64               | -                             | -                            | 0,24 - 0,64                                  | 1 : 2,7     |
| Z zasobnikiem ul. Żwirowa | 0,55               | 0,09                          | 14%                          | 0,38 - 0,55                                  | 1 : 1,4     |

Przykładowe korzyści ze współpracy sieci z zasobnikiem rozproszonym ul. Żwirowa na przykładzie analizowanych 72h w marcu 2022 r. (czas obserwacji trzy doby).



# Podsumowanie

1. Poprawne wykorzystanie modelu zasobnika oraz wykonanie symulacji w stanie nieustalonym wymaga rzeczywistych pomiarów z sieci – więcej danych = dokładniejsze wyniki.
2. Lokalizacja zasobnika uzależniona jest od struktury sieci oraz dostępnego terenu pod budowę zasobnika.
3. Wielkość zasobnika może zostać oszacowana na podstawie aktualnych danych ale trzeba również uwzględnić ewentualną rozbudowę sieci i dołączanie nowych odbiorców – potrzebna większa pojemność zasobnika.
4. Efekt działania uzyskany przy zastosowaniu zasobnika zależy od wielu czynników i bez symulacji w stanie nieustalonym dla konkretnych warunków trudno jest go określić.



# Podsumowanie

Korzyści wynikające z zastosowania zasobników rozproszonych:

- Zmniejszenie nierównomierności pracy źródła
- Stabilizacja parametrów ciepła dostarczanego do odbiorców
- Redukcja mocy szczytowej na kierunku zasilania odpowiednim do lokalizacji zasobnika (możliwość podłączenia nowych odbiorców)
- Brak konieczności przegrzewania sieci w celu zasilenia najdalszych odbiorców



# Dziękuję za uwagę

Dr inż. Łukasz Kotyński

[lukasz.kotynski@pw.edu.pl](mailto:lukasz.kotynski@pw.edu.pl)