



12

**SZKOŁA AEROLOGII GÓRNICZEJ
KOMITET GÓRNICTWA PAN
TARGANICE**

12-14 czerwca 2024



Możliwości wykorzystania lodu zawieszinowego dla poprawy warunków klimatycznych w wyrobiskach podziemnych

***Nikodem Szlązak
Justyna Swolkień
Marek Korzec***



**WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
i GOSPODARKI ZASOBAMI**

PLAN PREZENTACJI



- 1. Wprowadzenie**
- 2. Stan zagrożenia klimatycznego w kopalniach**
- 3. Charakterystyka zagrożenia klimatycznego**
- 4. Charakterystyka układów klimatyzacji stosowanych w kopalniach**
- 5. Parametry pracy układów klimatyzacji**
- 6. Uwarunkowania zastosowania zawiesziny lodowej**
- 7. Podsumowanie i wnioski**



- Eksploatacja w polskich kopalniach podziemnych związana jest z występowaniem **coraz trudniejszych warunków klimatycznych**.
- Warunki te wiążą się przede wszystkim ze wzrostem głębokości eksploatacji i co za tym idzie ze wzrostem **temperatury pierwotnej górotworu**.
- Oprócz temperatury pierwotnej górotworu na warunki klimatyczne w wyrobiskach wpływają **inne czynniki**, takie jak zabudowane w wyrobiskach maszyny, temperatura powietrza dopływającego do wyrobisk, czas przewietrzania wyrobiska, transportowany urobek, utleniające się skały, rurociągi z mediami, parująca woda, zmiany ciśnienia powietrza, desorpcja metanu.
- W przyszłych latach należy spodziewać się **dalszego pogarszania warunków klimatycznych** w kopalniach.

STAN ZAGROŻENIA KLIMATYCZNEGO



- W 2023 r. w kopalniach węgla kamiennego, **w około 514 wyrobiskach wystąpiły warunki uprawniające do skrócenia czasu pracy.** Szacunkowa liczba zatrudnionych w tych wyrobiskach w ciągu doby wynosiła około **5400 pracowników.**
- W kopalniach rud miedzi (w tym w wyrobiskach wykonanych w soli kamiennej) w 2023 r. **przekroczenie temperatury stwierdzono w 280 wyrobiskach i rejonach,** w których zatrudniano około **7800 pracowników.**





Rozwiązania klimatyzacji koplań

Klimatyzacja lokalna

- wykorzystuje się niestacjonarne, indywidualne urządzenia chłodnicze przeznaczone do schładzania powietrza w jednym wyrobisku,
- urządzenia chłodnicze mogą być urządzeniami o działaniu pośrednim lub bezpośrednim,
- moc chłodnicza urządzeń nie przekracza kilkuset kW.

Klimatyzacja grupowa

- wykorzystuje się stacjonarne urządzenia chłodnicze (jeden lub kilka w układzie równoległym) schładzające wodę dostarczaną rurociągami do kilku wodnych chłodnic powietrza,
- sumaryczna moc chłodnicza urządzeń wynosi zazwyczaj od 600 kW do 3000 kW.

Klimatyzacja centralna

- urządzenia chłodnicze lokalizuje się na powierzchni, pod ziemią lub na powierzchni i pod ziemią,
- urządzenia odbierające ciepło skraplania lokalizuje się na powierzchni,
- układ klimatyzacji składa się z obiegów niskiego i wysokiego ciśnienia (obiegi rozdzielone są reduktorem ciśnienia lub wysokociśnieniowym wymiennikiem ciepła),
- moc chłodnicza urządzeń przekracza zazwyczaj 5MW i kierowana jest do kilku rejonów eksploatacji.

Dążenie do poprawy warunków klimatycznych w najbardziej zagrożonych kopalniach wiąże się przede wszystkim ze **stosowaniem urządzeń chłodniczych**.

- W 2023 r. w pięciu kopalniach węgla kamiennego stosowano centralną klimatyzację, a w pięciu klimatyzację grupową.
- Na koniec 2023 r. w kopalniach węgla kamiennego czynnych było **około 374 urządzeń chłodniczych klimatyzacji indywidualnej i klimatyzacji grupowej lub centralnej**.

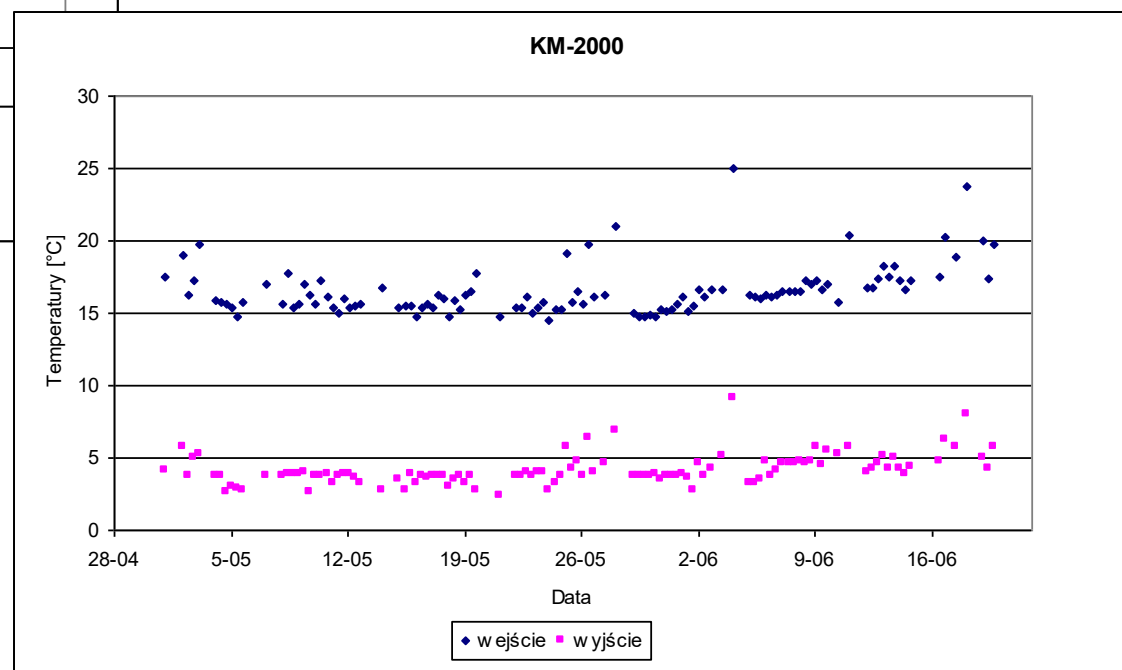
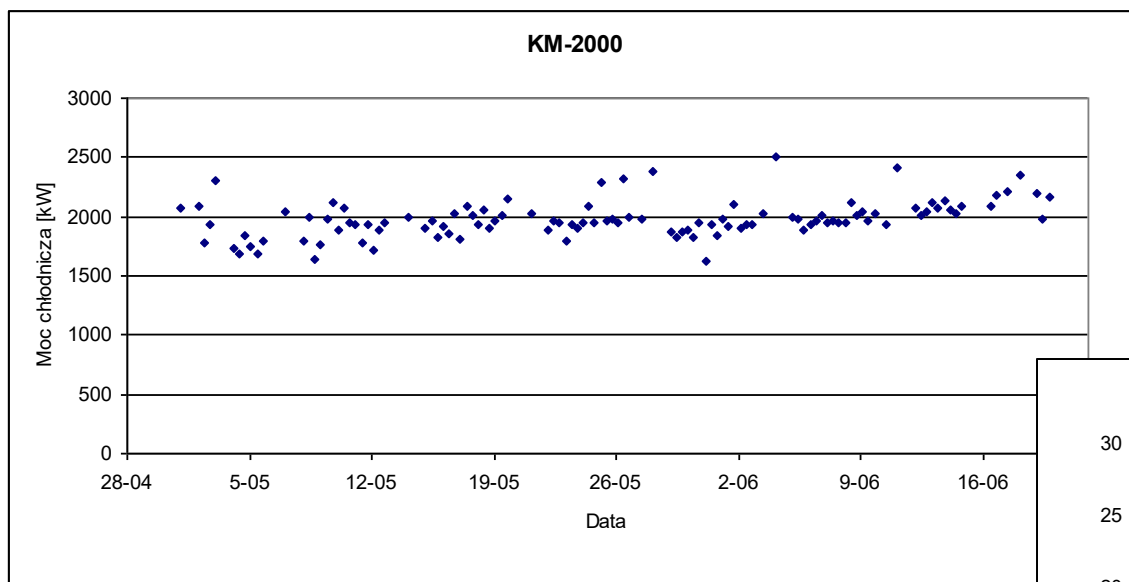


- W KGHM Polska Miedź S.A. w 2023 r. stosowano **centralną klimatyzację w O/ZG „Rudna” i O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”**.
- W O/ZG „Lubin” wykorzystywano 170 samojezdnych maszyn górniczych wyposażonych w klimatyzację, w tym:
 - **139 posiadały klimatyzację zamkniętej kabiny operatora,**
 - **31 posiadało klimatyzację nawiewną (kabina otwarta);**
- W O/ZG „Rudna” wykorzystywano 324 samojezdnych maszyn górniczych wyposażonych w klimatyzację, w tym:
 - **277 posiadały klimatyzację zamkniętej kabiny operatora,**
 - **47 posiadało klimatyzację nawiewną (kabina otwarta);**
- W O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” wykorzystywano 330 samojezdnych maszyn górniczych wyposażonych w klimatyzację, w tym:
 - **293 posiadały klimatyzację zamkniętej kabiny operatora,**
 - **37 posiadało klimatyzację nawiewną (kabina otwarta).**

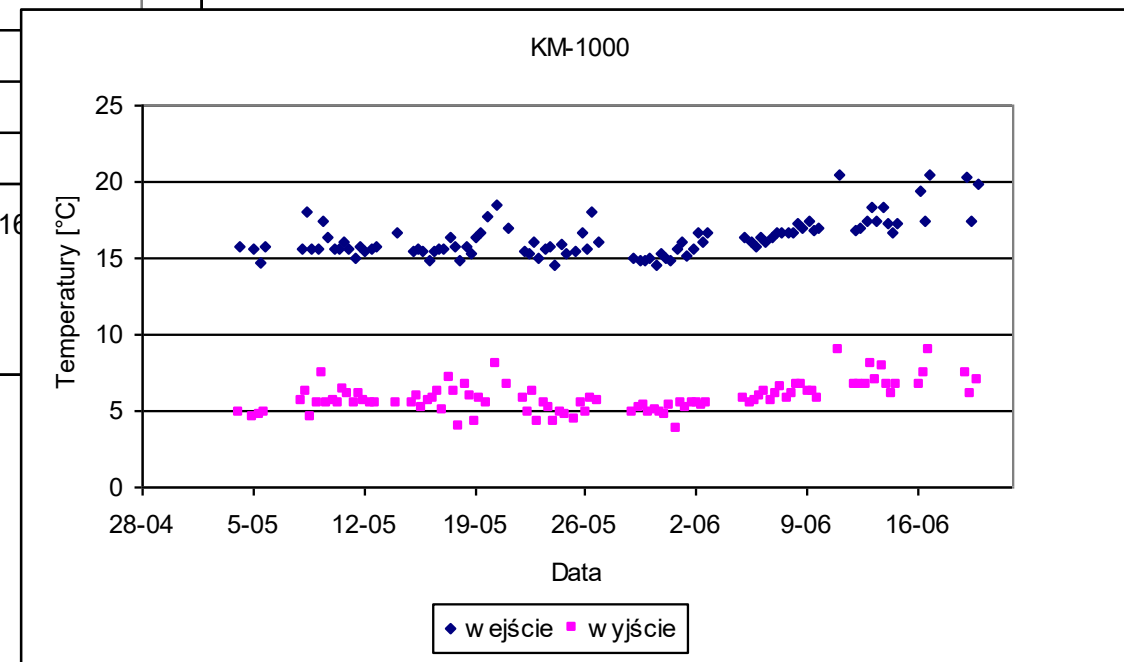
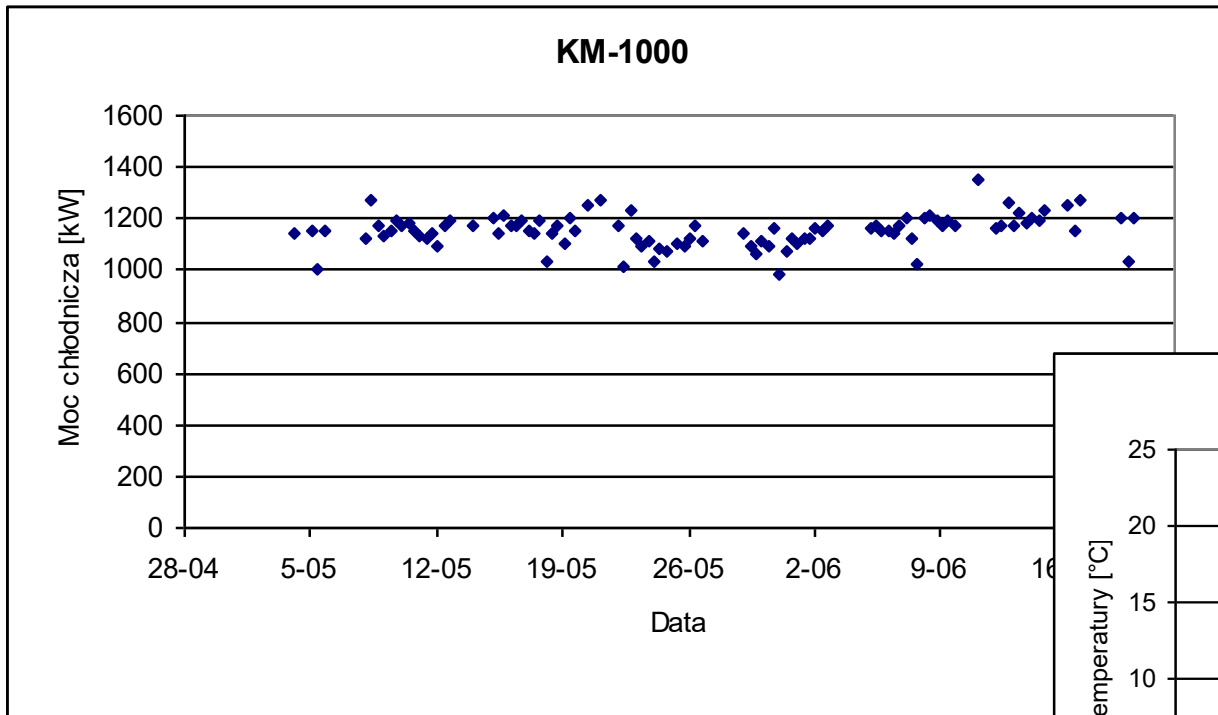
- Każdy układ klimatyzacji dostosowany jest do przeniesienia pewnej **projektowanej mocy chłodniczej**.
- Na efekt działania układów klimatyzacji ma **wpływ wiele czynników**.
- Istotnym problemem jest **efektywność odbioru ciepła od powietrza w chłodnicach**.
- W polskich kopalniach rozważa się coraz częściej **zastosowanie w układach klimatyzacji lodu**.



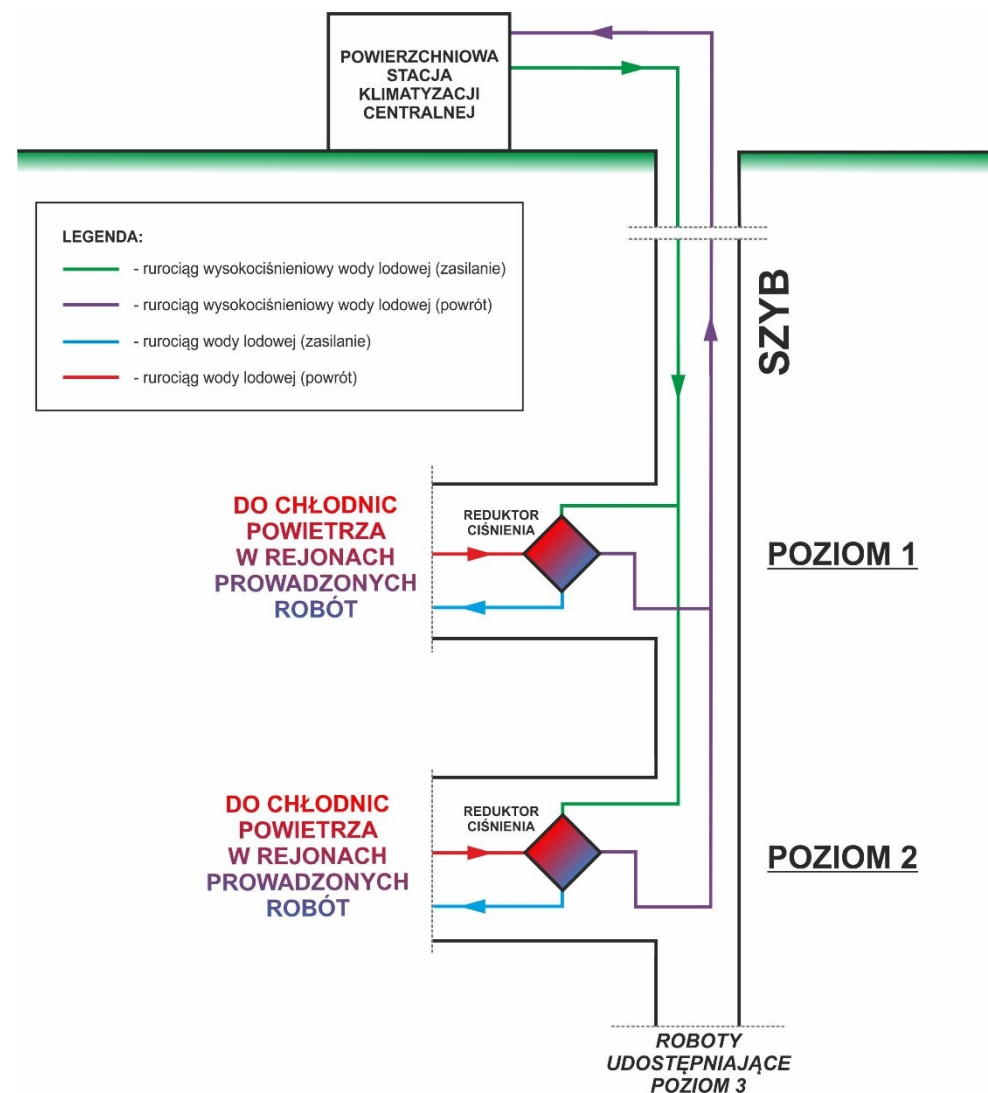
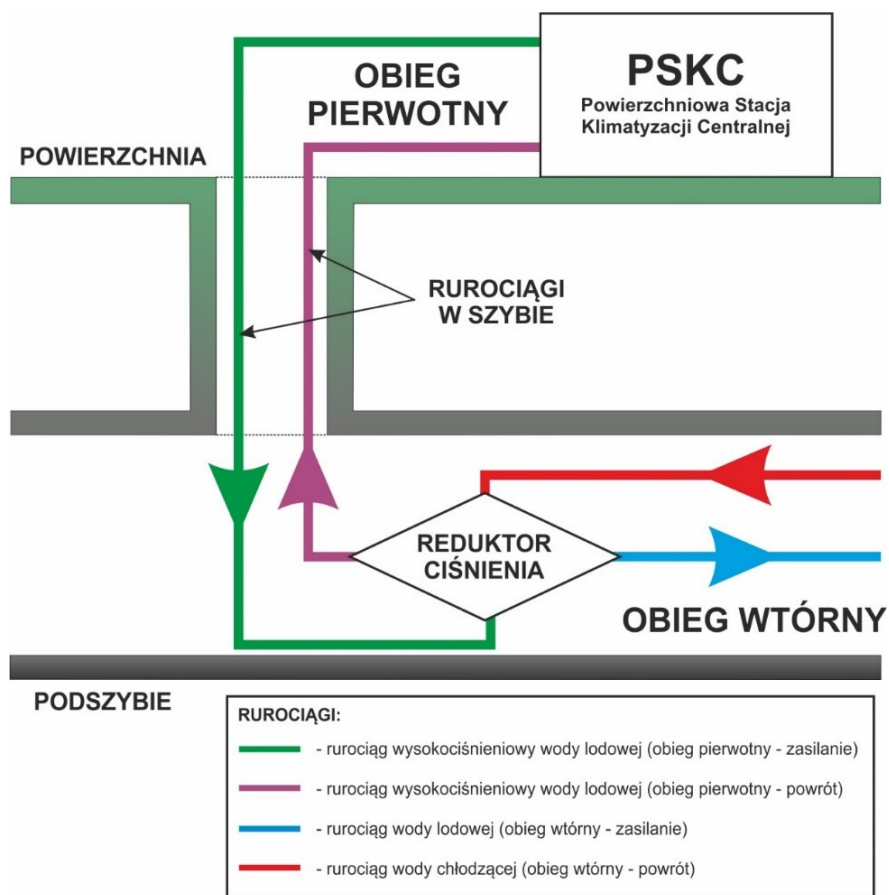
PARAMETRY PRACY AGREGATÓW KLIMATYZACJI GRUPOWEJ



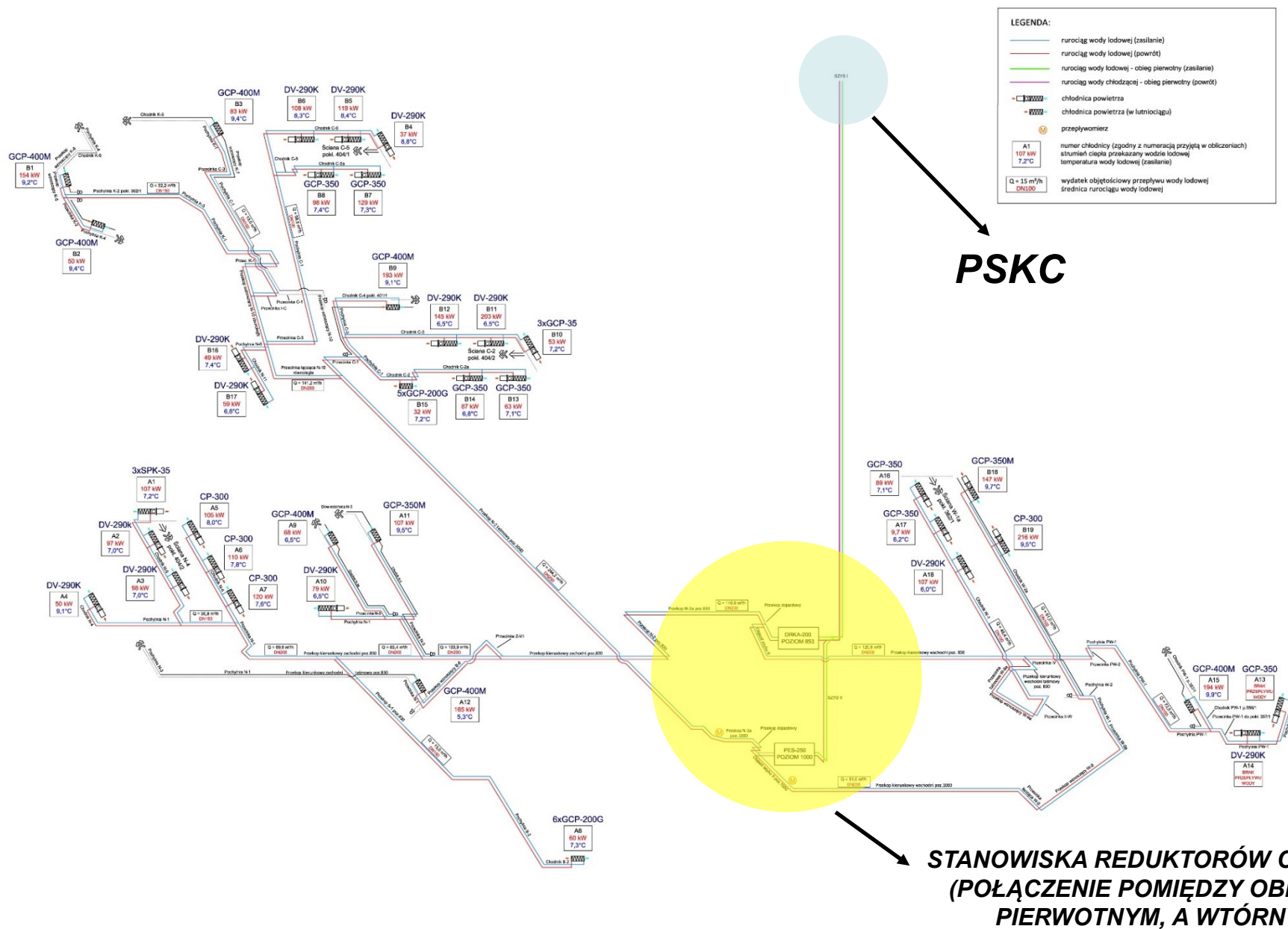
PARAMETRY PRACY AGREGATÓW KLIMATYZACJI GRUPOWEJ



CHARAKTERYSTYKA UKŁADU KLIMATYZACJI CENTRALNEJ



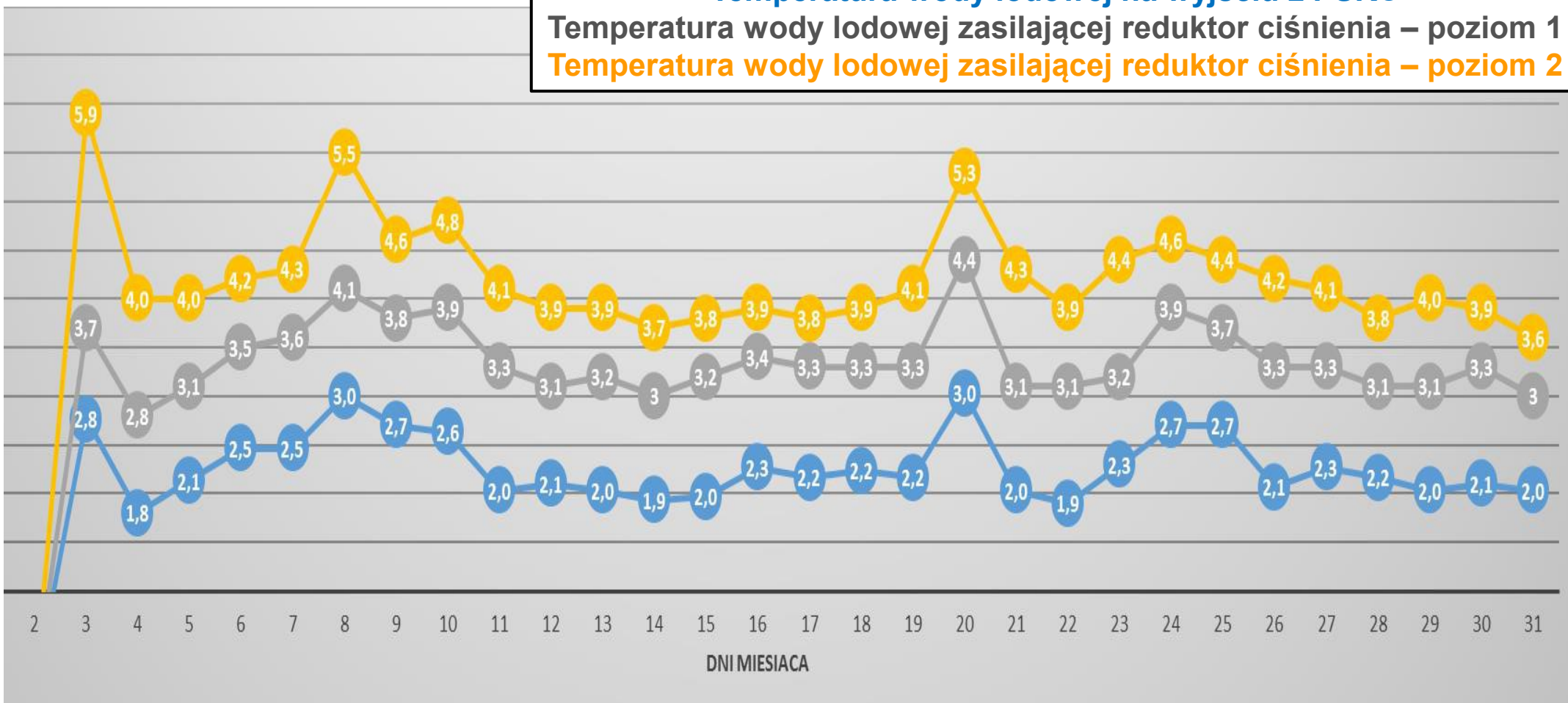
CHARAKTERYSTYKA UKŁADU KLIMATYZACJI CENTRALNEJ



PARAMETRY PRACY UKŁADU KLIMATYZACJI CENTRALNEJ



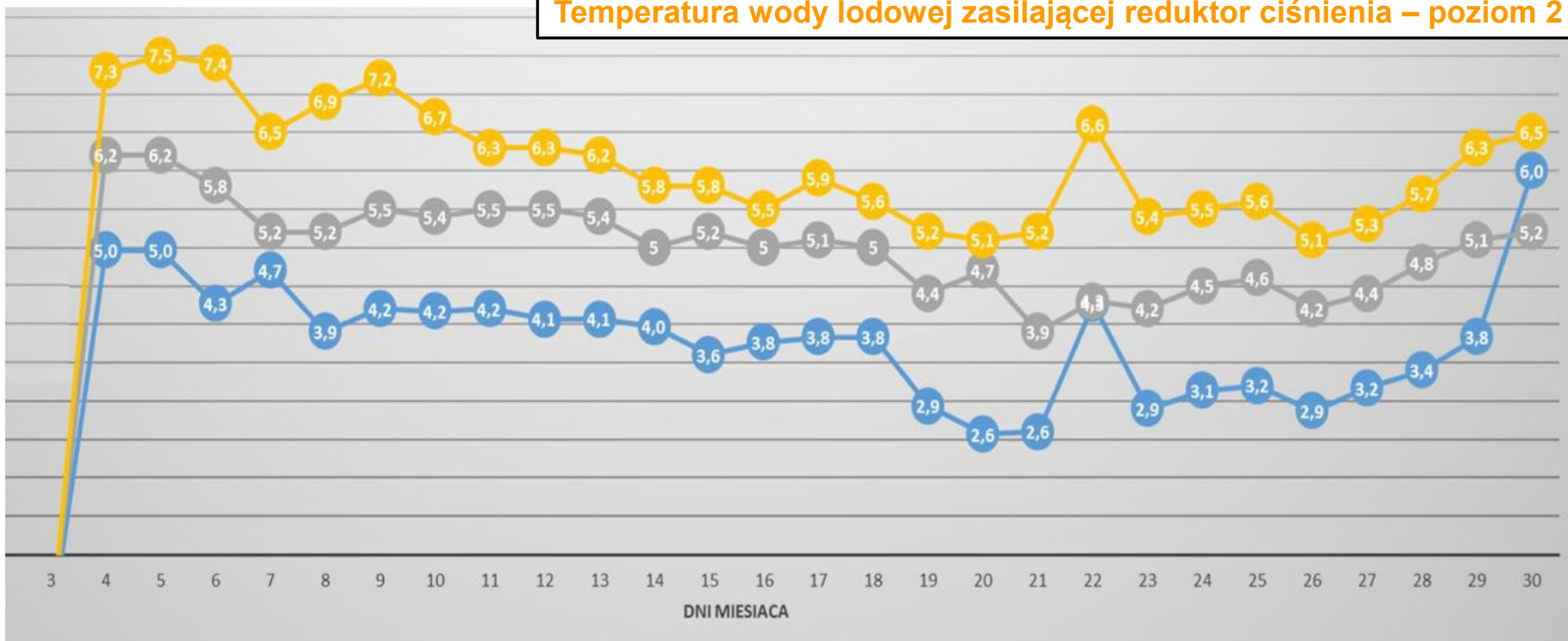
Temperatura wody lodowej na wyjściu z PSKC
 Temperatura wody lodowej zasilającej reduktor ciśnienia – poziom 1
 Temperatura wody lodowej zasilającej reduktor ciśnienia – poziom 2



PARAMETRY PRACY UKŁADU KLIMATYZACJI CENTRALNEJ

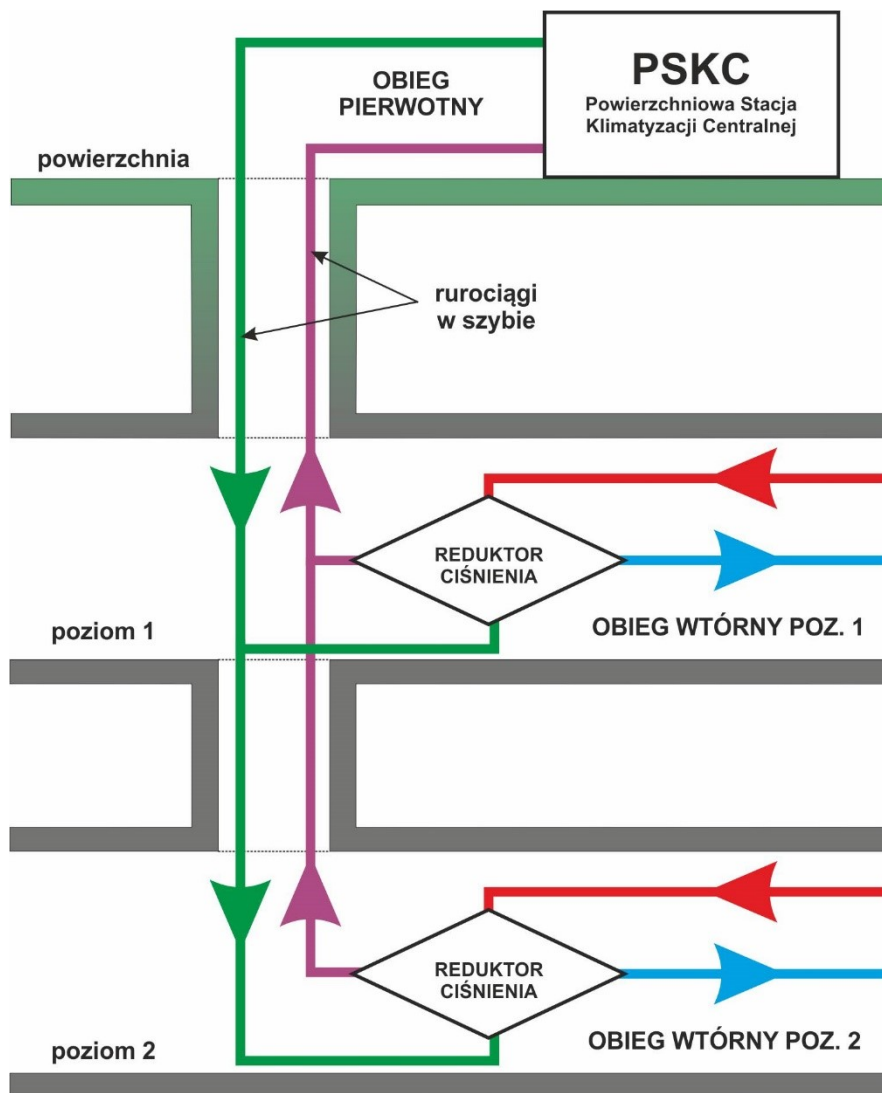


Temperatura wody lodowej na wyjściu z PSKC
 Temperatura wody lodowej zasilającej reduktor ciśnienia – poziom 1
 Temperatura wody lodowej zasilającej reduktor ciśnienia – poziom 2



STAN AKTUALNY

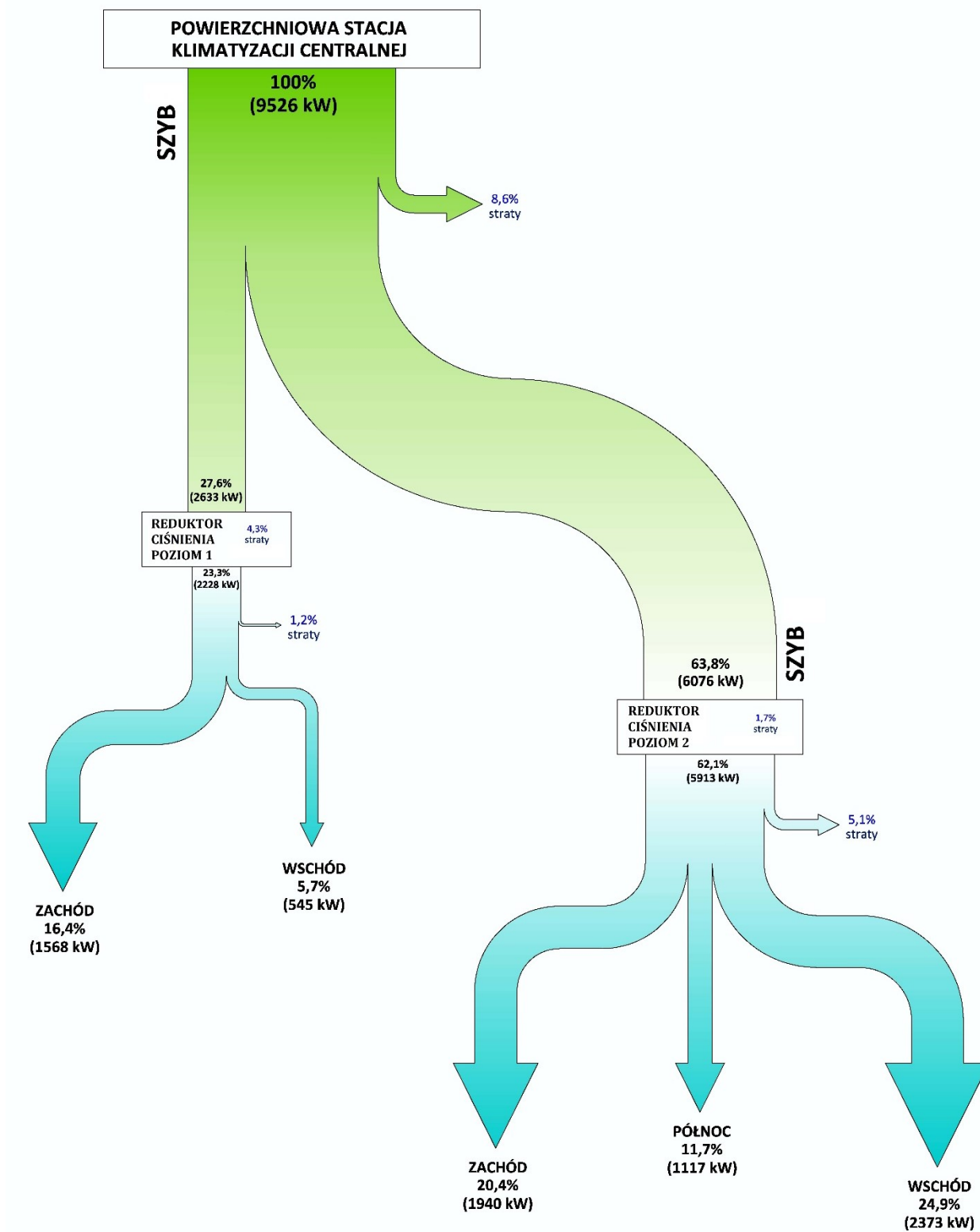
KLIMATYZACJI - POMIARY



RUROCIĄGI:	
—	- rurociąg wysokociśnieniowy wody lodowej (obieg pierwotny - zasilanie)
—	- rurociąg wysokociśnieniowy wody lodowej (obieg pierwotny - powrót)
—	- rurociąg wody lodowej (obieg wtórny - zasilanie)
—	- rurociąg wody chłodzącej (obieg wtórny - powrót)

Poziom	Rejon	Wyniki pomiarów		Sumaryczna moc chłodnicza za punktami rozdziału, kW
1	Wschód	Wydatek wody, m ³ /h	41	2113
		Temp. wody zimnej, °C	5,5	
		Temp. wody powrotnej, °C	16,9	
		Moc chłodnicza, kW	545	
	Zachód	Wydatek wody, m ³ /h	128	
		Temp. wody zimnej, °C	5,6	
		Temp. wody powrotnej, °C	16,1	
		Moc chłodnicza, kW	1568	
2	Wschód	Wydatek wody, m ³ /h	180	5429
		Temp. wody zimnej, °C	4,8	
		Temp. wody powrotnej, °C	16,1	
		Moc chłodnicza, kW	2373	
	Zachód	Wydatek wody, m ³ /h	175	
		Temp. wody zimnej, °C	4,9	
		Temp. wody powrotnej, °C	14,4	
		Moc chłodnicza, kW	1940	
	Północ	Wydatek wody, m ³ /h	110	
		Temp. wody zimnej, °C	4,9	
		Temp. wody powrotnej, °C	13,6	
		Moc chłodnicza, kW	1117	

STAN AKTUALNY KLIMATYZACJI - POMIARY



WNIOSKI Z AUDYTÓW KLIMATYZACJI



- Trudności w uzyskiwaniu odpowiednich wydajności chłodniczych w rejonach prowadzenia robót wynikają z wielu czynników. Należą do nich:
- uzyskanie **wymaganego przepływu wody w obiegach** (pierwotnym, wtórnym),
 - zbyt **wysoka temperatura wody** opuszczającej powierzchnię stację klimatyzacji centralnej,
 - zabudowa **większej liczby chłodnic powietrza** w wielu rejonach kopalni:
 - brak możliwości zapewnienia odpowiedniego wydatku wody dopływającej do chłodnic,
 - w przypadku pojedynczych chłodnic intensyfikacja strat ciepła w rurociągach,
 - trudności w **zapewnieniu odpowiedniego wydatku wody** (brak regulacji sieci) oraz uzyskiwanie w miejscu zabudowy chłodnic zbyt wysokiej temperatury wody lodowej,
 - zbyt **niski odbiór ciepła od powietrza** do wody lodowej przez wodę lodową powracającą do PSKC ma niską temperaturę (niższą od projektowanej).

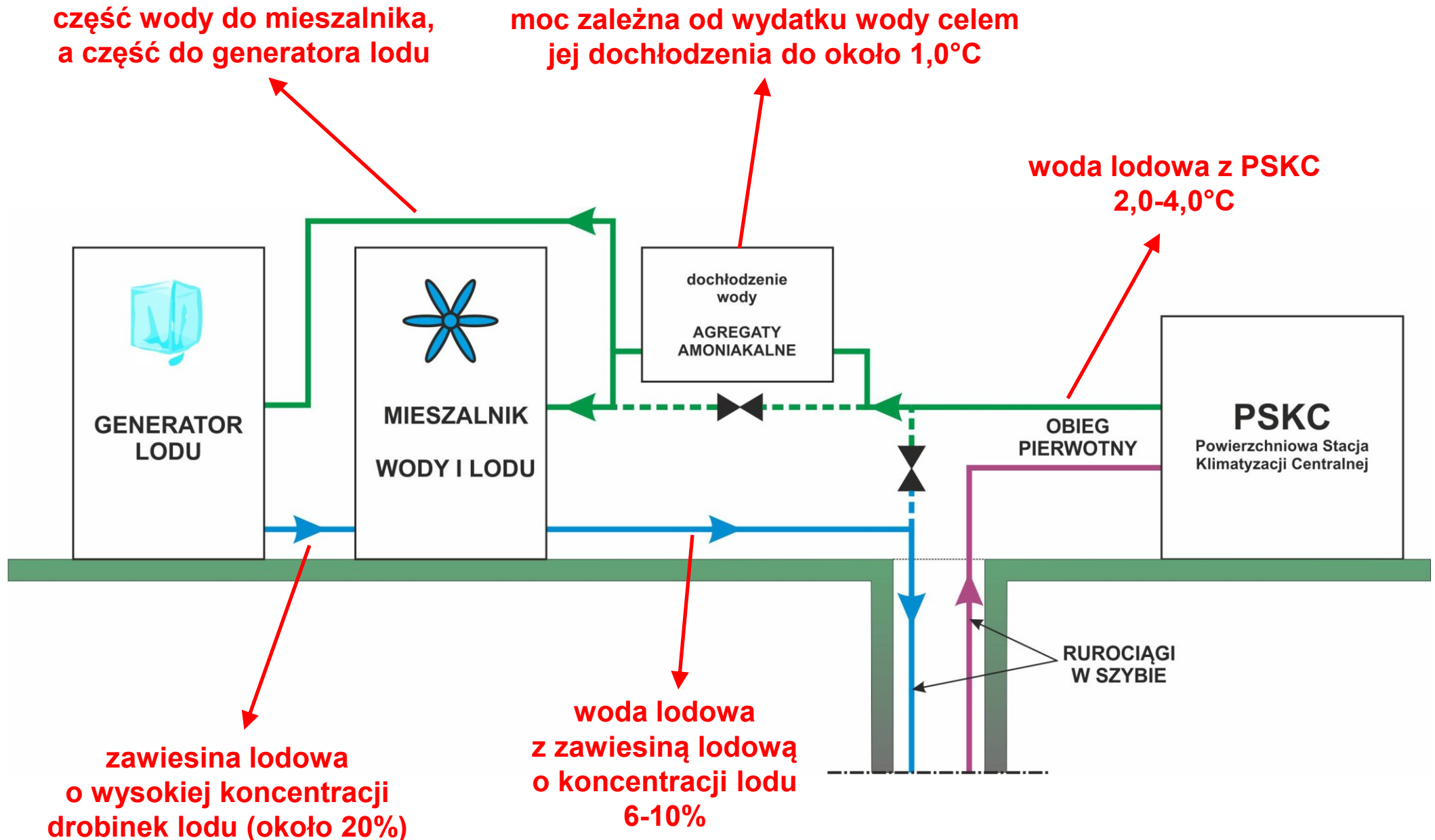
ROBUDOWA ISTENIĄCYCH UKŁADÓW KLIMATYZACJI



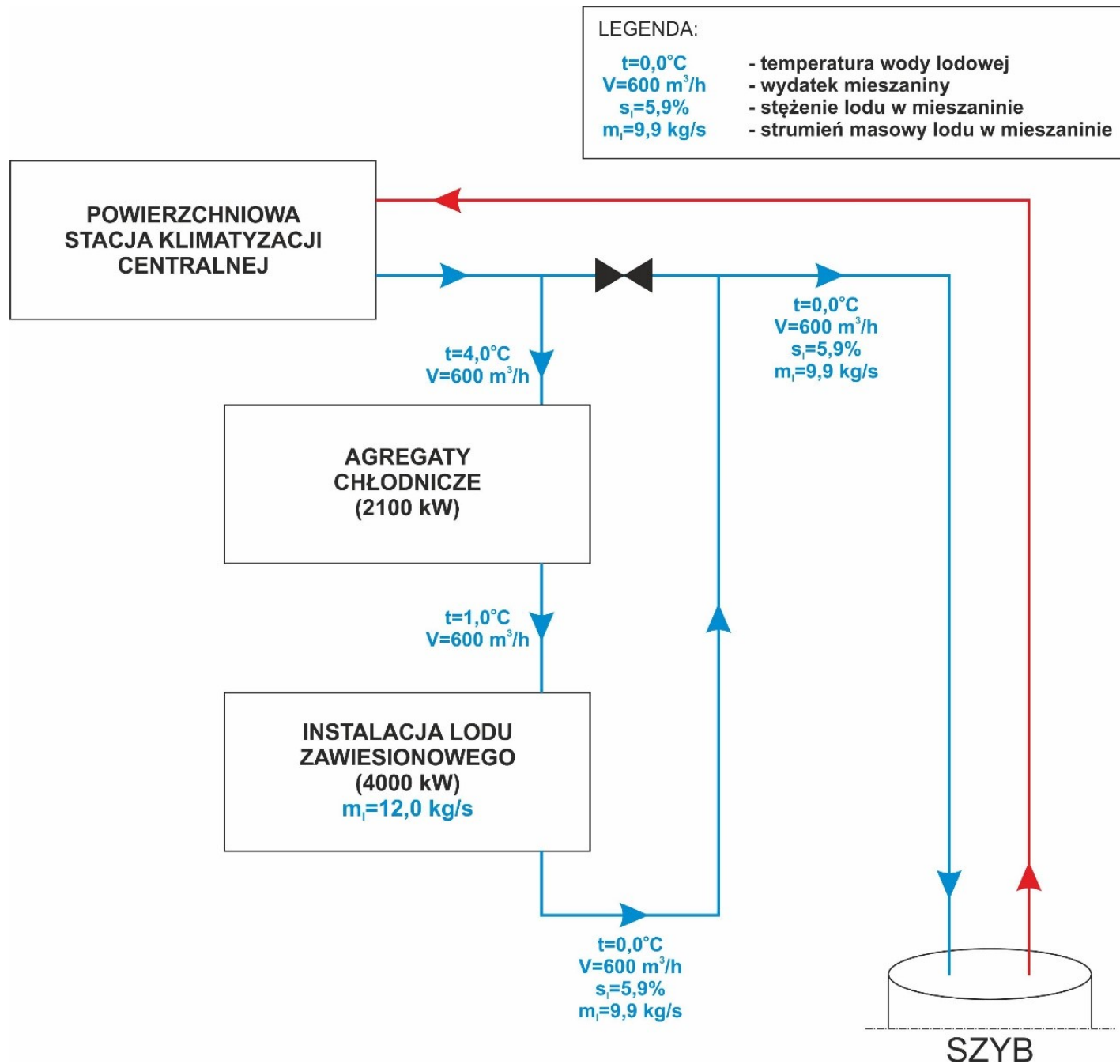
➤ Dla zwiększenia efektywności schładzania powietrza w rejonach w kopalniach rozważa się różne **rozwiązania rozbudowy**, czy też **wprowadzania modyfikacji wykorzystywanych instalacji**:

- **wykonanie kolejnej nowej instalacji** dla nowo projektowanych rejonów (najczęściej znajdujących się w dużej odległości lub poza zasięgiem wykorzystywanych instalacji klimatyzacji),
- **dobudowa urządzeń chłodniczych** do istniejących układów (często brak możliwości zwiększenia wydatku wody),
- **stosowanie urządzeń lokalnych** włączanych do układów (chłodzenie skraplaczy wodą lodową powrotną),
- **dochładzanie wody lodowej** kierowanej do odległych rejonów prowadzenia robót górniczych eksploatacji (urządzenia chłodnicze budowane w wyrobiskach blisko tych rejonów).

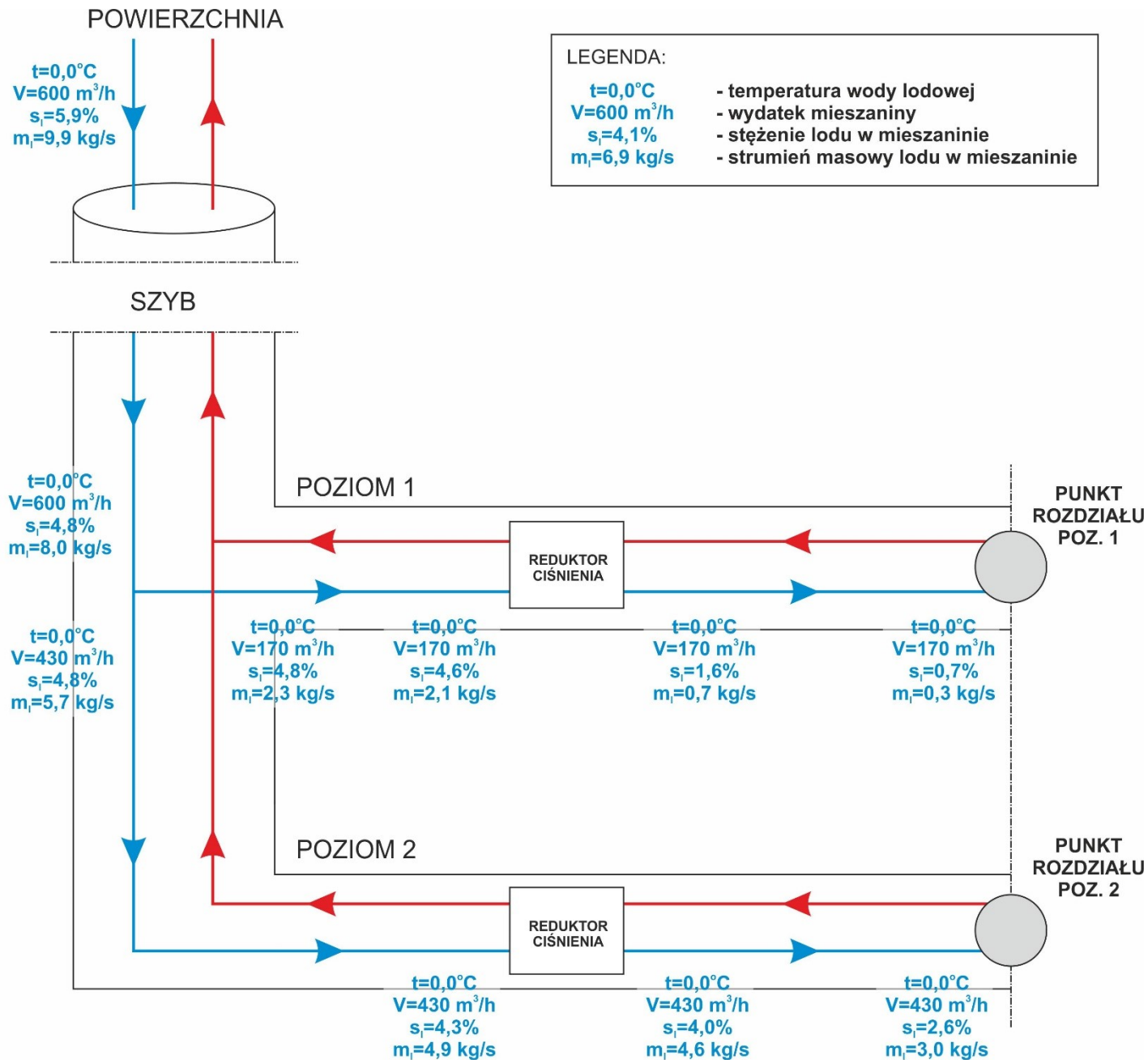
ROZWIĄZANIE – LÓD ZAWIESIONOWY



ROZWIĄZANIE – LÓD ZAWIESIONOWY



ROZWIĄZANIE – LÓD ZAWIESIONOWY



UWARUNKOWANIA STOSOWANIA LODU



Podczas rozważania transportu zawiesiny lodowej siecią rurociągów w instalacji należy rozwiązać pewne problemy, które związane są przede wszystkim z:

- **koagulacją i aglomeracją cząstek lodu**, które mogą powodować niebezpieczeństwo powstania „zatorów lodowych” w rurociągach podczas zapowietrzania instalacji, co w warunkach kopalnianych często występuje;
- **niebezpieczeństwem oblodzenia kołnierzy** (uszczerek) lub kompensatorów w trakcie zmian prędkości przepływu zawiesiny, co związane jest z efektem wyporowym lodu w rurociągach pionowych i powodować może powstanie „korka lodowego” w trakcie awaryjnego zatrzymania przepływu zawiesiny w rurociągu;
- **trudnościami w parametryzacji medium dwufazowego** w wyniku różnych gęstości zawiesiny w rurociągu zasilającym i wody w rurociągu powrotnym, co zaburzać może „efekt U-rurki” i wymagać będzie konieczności regulacji pracy podajników cieczy.

UWARUNKOWANIA STOSOWANIA LODU



Zastosowanie zawiesiny lodowej w układach klimatyzacji centralnej wymaga działań technicznych. W zakres prac celem dostosowania instalacji do wykorzystania w niej zawiesiny lodowej będzie wchodzić:

- **budowa powierzchniowej stacji wytwarzania lodu;**
- **budowa instalacji do oczyszczania lodu** z soli wykorzystywanej przy produkcji zawiesiny lodowej (głównie w metodzie próżniowej);
- **dostosowanie układów pompowych** obiegu pierwotnego i wtórnego;
- **dostosowanie układów regulujących** rozpyw zawiesiny lodowej w instalacji rurowej;
- **dostosowanie układów pomiarowych** kontroli przepływu i temperatury płynu dwufazowego;
- **dostosowanie układów uzupełniania zawiesiny lodowej** w obiegu wtórnym w miejsce dotychczasowych rozwiązań (filtracja, stabilizacja ciśnienia, zawory, przepływomierze),
- **dostosowanie parametrów pracy reduktora ciśnienia** do zasilania zawiesiną lodową.

UWARUNKOWANIA STOSOWANIA LODU



Osiągnięcie wysokiej efektywności układu klimatyzacji zależy w znacznym stopniu od stanu sieci rurociągów wody lodowej transportujących schłodzone medium od miejsca jego wytwarzania do odbiorników ciepła, jakimi są przeponowe chłodnice powietrza zabudowane w rejonach prowadzenia robót górniczych.

Z doświadczenia autorów w projektowaniu układów klimatyzacji kopalń podziemnych wynika, że projektowa „strata chłodu” w wyniku dopływu ciepła do rurociągów obiegu pierwotnego i wtórnego, wynosi najczęściej w zakresie 20-25% wytwarzanej mocy chłodniczej i związana jest głównie z preizolowanymi rurociągami zasilającymi. Prowadzone przez autorów audyty energetyczne instalacji klimatyzacyjnych w kopalniach wykazały, że **rzeczywiste straty ciepła są znacznie wyższe i w wielu przypadkach osiągają 40-55%**.

UWARUNKOWANIA STOSOWANIA LODU



Wiadomym jest, że podczas transportu wody lodowej z zawiesiną lodową wystąpi intensyfikacja „strat chłodu” na drodze przepływu wody lodowej od miejsca wytworzenia chłodu do miejsc zabudowy chłodnic powietrza. Obniżenie temperatury medium w rurociągach wpłynie na intensyfikację wymiany ciepła pomiędzy wodą lodową, a powietrzem w wyrobiskach.





- Aktualnie **w wielu kopalniach panują trudne warunki klimatyczne.**
- Aktualnie **w kopalniach stosuje się układy klimatyzacji** (centralnej, grupowej, indywidualnej).
- Dalsza eksploatacja będzie skutkować **pogarszaniem się warunków klimatycznych w wyrobiskach.**
- Stosowane układy w wielu przypadkach **nie uzyskują odpowiedniej efektywności.**
- Możliwości **rozbudowy stosowanych układów są ograniczone.**
- Rozważa się **zastosowanie w układach klimatyzacji lodu zawieszinowego.**
- **Zastosowanie lodu i wybór rozwiązania powinien być poprzedzony audytem oraz szczegółową analizą wyboru rozwiązania.**



12-14 czerwca 2024

**DZIĘKUJEMY
ZA UWAGĘ**

