

Optimalizacja procesu mrożenia górotworu w aspekcie minimalizacji kosztów przy jednoczesnym wzroście wydajności

Optimization of the rock mass freezing process in the aspect of minimizing costs and increasing efficiency at the same time



*Mgr inż. Sławomir Fabich**



*Dr inż. Joanna Świtoń**



*Dr inż. Sławomir Świtoń**



*Mgr inż. Aldona Waligóra**

Treść: Wyrobiska udostępniające funkcjonujące w kopalniach LGOM z racji swojej lokalizacji w mocno zawodnionych i luźnych skałach kenozoicznych wymagały stosowania specjalnej metody ich głębenia. Technologią, którą wykorzystywano od samego początku eksploatacji złoża na monoklinie przedsudeckiej było mrożenie górotworu. Od początku lat 80. ubiegłego wieku stosowane są identyczne parametry tej metody, z nieznaczną modyfikacją wprowadzoną w roku 2000 umożliwiającą wykonanie tzw. mrożenia głębokiego. W ostatnich latach pojawiło się jednak wiele narzędzi umożliwiających modelowanie numeryczne procesu mrożenia, co w sposób szybki i stosunkowo prosty pozwala na wykonanie symulacji narastania płaszcza mroźniowego w czasie. Z pomocą takich modeli numerycznych możliwe jest wytypowanie najbardziej efektywnej pod kątem czasowym i kosztowym konfiguracji instalacji mroźniowej. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki uzyskane w trakcie realizacji Zadania 4 Projektu I-MORE (w ramach programu CuBR). Optimalizacja procesu mrożenia dotyczyła aspektu jego wydajności oraz energochłonności i objęła m.in.: geometrię kręgu mroźniowego, instalację obiegu solanki wraz ze zbiornikiem na solankę oraz parametry przepływu czynnika chłodzącego w otworach mroźniowych, jak i w Stacji Agregatów Mroźniowych.

Abstract: LGOM mines are placed in loose Cenozoic rocks, saturated with water. Due to this, the sinking shafts require the use of special methods of rock mass treatment. The technology that has been used since the very beginning was the artificial ground freezing. Since the beginning of the 80s of the last century, the same configuration of this method has been used, with a slight modification in 2000, allowing the implementation of the so-called deep freezing. In recent years, numerical modeling software showed up, which enables the possibility to estimate the rock mass freezing process. With the help of such numerical models, it is possible to select the most effective configuration of the freezing installation in terms of time and cost. This paper presents the results obtained during the implementation of task 4 of the I-MORE project (as part of the CuBR program). The optimization of the freezing process will concern the aspect of its efficiency and energy intensity and include, among others: the geometry of the freezing circle, the installation of the brine circuit along with the brine tank, and the flow parameters of the brine in the freezing pipes as well as in the Freezing Plant Station.

Słowa kluczowe:

wyrobiska udostępniające, przygotowanie górotworu do głębenia, mrożenie górotworu, głębenie szybów z wykorzystaniem metody mrożeniowej

Keywords:

opening-out heading, preparation of rock mass for shaft sinking, artificial ground freezing, shaft sinking with artificial rock mass freezing

1. Wstęp

Metoda mrożeniowa jest nieodłącznym elementem technologicznym podczas głębenia szybów w rejonie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Jej stosowanie wiąże się jednak z dużymi nakładami pieniężnymi na budowę instalacji mrożeniowej oraz na jej użytkowanie podczas procesu mrożenia górotworu trwającego około 30 miesięcy. Z tej też przyczyny należy zastanowić się nad potencjalnymi elementami instalacji, które można poddać działaniom optymalizacyjnym, tak aby nie zmniejszając poziomu bezpieczeństwa prowadzonych prac w wyrobisku szybowym, możliwym było zminimalizowanie kosztów związanych z mrożeniem górotworu. Analizując ostatnio dokonane zmiany w zakresie mrożenia masywu skalnego na potrzeby głębenia szybów na przykładzie polskich kopalń rud miedzi, można stwierdzić, iż w chwili obecnej stan zaawansowania technologicznego w zakresie wyposażenia i budowy Stacji Agregatów Mrożeniowych, czy konstrukcji orurowania jest optymalny. Potencjał w dziedzinie możliwej optymalizacji upatrywać można w kwestii dopasowania parametrów przepływu czynnika chłodzącego w instalacji mrożeniowej, doboru wyższej sprawności sprężarek, modyfikacji obwodu wyrównawczego solanki oraz optymalizacji średnicy kręgu otworów mrożeniowych wraz z ich liczbą w przedmiotowym kręgu.

2. Obecnie stosowana konfiguracja instalacji mrożeniowej

W obecnie stosowanej konfiguracji instalacji mrożeniowej średnica kręgu otworów mrożeniowych wynosi 16 m, Stacja Agregatów Mrożeniowych wyposażona jest w sprężarki dwustopniowe, co umożliwia obniżenie temperatury czynnika chłodzącego do -30°C (Fabich, Świtoń, 2011). Solanka w przestrzeni pomiędzy zewnętrzną a wewnętrzną rurą mrożeniową uzyskuje przepływ turbulenty. Realizowane jest to dzięki średnicy wewnętrznej rury obsadowej wynoszącej 75 mm, przy średnicy rury zewnętrznej wynoszącej 139,7 mm, oraz wydajności pomp solankowych w wysokości około $13\text{ m}^3/\text{min}$. Odległości pomiędzy otworami mrożeniowymi wynoszą aktualnie 1,25 m, przy liczbie otworów wynoszącej 40 sztuk. Po roku 2000, kiedy to przystąpiono do prac związanych z głębeniem szybu R-XI, zmodyfikowano system mrożenia, w celu zastosowania tzw. głębokiego mrożenia, aby objęło ono swym zasięgiem skały środkowego pstręgo piaskowca (trias dolny). W tym celu wykonano instalację mrożeniową opartą na 40 otworach mrożeniowych umieszczonych na kręgu o średnicy 16 metrów, z czego połowa wykonana była jako otwory długie, a druga połowa jako krótkie. Oznaczało to, iż do około 400 metrów skały mrożone były 40 otworami, natomiast poniżej jedynie 20 z nich. Rozwiązanie takie zastosowano również z powodzeniem w dwóch ostatnich szybach, tj. szybie SW-4 oraz GG-1, gdzie nie zaobserwowano praktycznie żadnych poważnych usterek. Drugą ważną zmianą jaką zaimplementowano było zwiększenie średnicy zewnętrznej rury mrożeniowej do 85 mm, co w połączeniu ze zwiększeniem wydajności pomp zatłaczających czynnik chłodzący do około $15\text{ m}^3/\text{min}$ poskutkowało prawie dwukrotnym zwiększeniem ilości ciepła odbieranego przez rurę mrożeniową z górotworu (Fabich, Świtoń, 2012).

3. Optymalizacja konfiguracji instalacji mrożeniowej

Działania związane z realizacją niniejszego tematu rozpoczęto od prac studialnych mających na celu optymalizację procesu mrożenia. Ich celem było poszukiwanie najefektywniejszej konfiguracji instalacji mrożeniowej uzyskiwanej poprzez odpowiedni dobór średnicy kręgu otworów mrożeniowych oraz liczby otworów na nim lokalizowanych. W tym celu posłużono się modelowaniem numerycznym. W pierwszym etapie zbudowano model, następnie skalibrowano go z rzeczywistymi danymi pochodzącymi ze Stacji Agregatów Mrożeniowych przy szybie GG-1, po czym prowadzono prace optymalizujące geometrię kręgu otworów mrożeniowych.

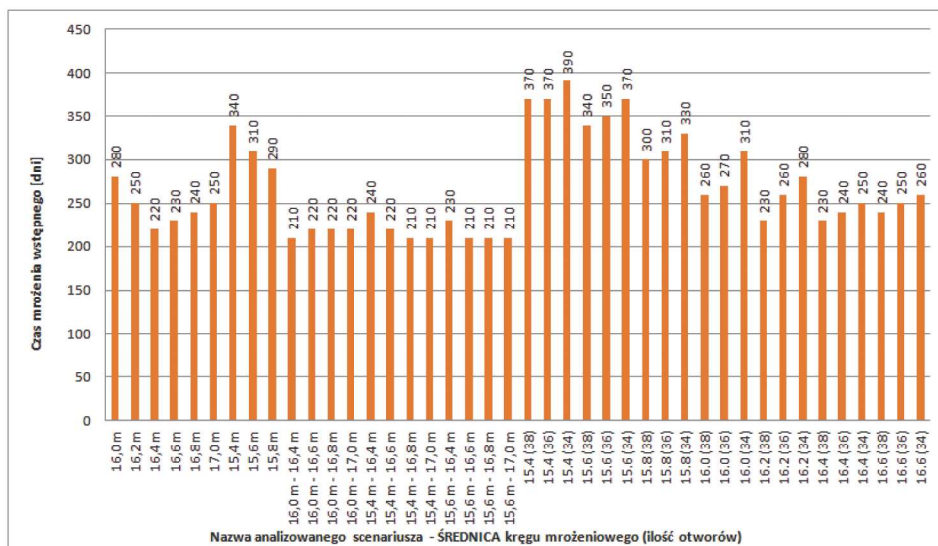
3.1. Modelowanie numeryczne procesu mrożenia górotworu

Zbudowany model po skalibrowaniu go z rzeczywistymi pomiarami przyrostu płaszcza mrożeniowego w szybie GG-1 posłużył do wykonania szeregu analiz mających na celu znalezienie optymalnego pod względem długości czasu trwania, mocy Stacji Agregatów Mrożeniowych oraz kosztu całkowitego mrożenia wstępnego. Analizy te podzielono na trzy główne grupy, które wyróżniały się następującymi konfiguracjami:

- zmienny promień kręgu otworów mrożeniowych przy zachowaniu aktualnej liczby otworów (40 sztuk);
- dwa kręgi otworów mrożeniowych o różnych promieniach;
- zmienne promienie kręgu otworów mrożeniowych oraz liczba otworów.

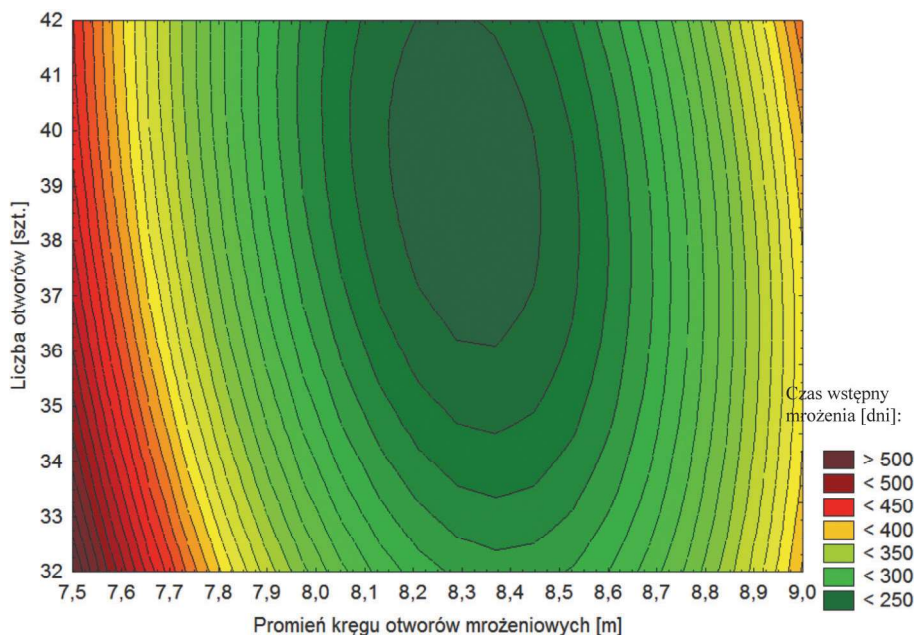
W każdej z powyższych grup scenariuszy modyfikowano średnicę kręgu otworów mrożeniowych w kroku co 0,2 m. Liczbę otworów mrożeniowych modyfikowano natomiast w taki sposób, aby była ona parzysta. Wynikało to z geometrii zbudowanego modelu osiowo-symetrycznego oraz z konieczności wykonania analizy w dwóch opcjach, tzn. do 430 metrów pełną liczbą otworów mrożeniowych, natomiast poniżej – ich połową. Takie podejście umożliwiło szacunkową ocenę czasu trwania mrożenia wstępnego w taki sposób, by proces głębenia szybu nie był wstrzymywany na skutek nieuzyskania przez płaszcz mrożeniowy wymaganych parametrów. W wyniku wspomnianego modelowania numerycznego zestawiono czasy niezbędne do uzyskania wymaganego stanu zamrożenia dla całego profilu szybowego, w porównaniu z prognozowanym postępem głębenia szybu. Kierowano się tutaj kryterium, iż w momencie dojścia spągami wyrobiska szybowego do stropu danej warstwy musi osiągnąć ona docelowy stan zamrożenia, tj. wymaganą grubość płaszcza lub/ oraz zamrożenie ociosów wyłomu tegoż wyrobiska. Sposób ten posłużył do określenia czasów opóźnienia rozpoczęcia głębenia szybu w stosunku do momentu włączenia Stacji Agregatów Mrożeniowych. Analizę taką wykonano dla każdego ze scenariuszy i zbiorcze wyniki zestawiono na wykresie (rys. 1).

Wykorzystując wyniki modelowania numerycznego, przeprowadzono analizę statystyczną w celu określenia równania opisującego zależność pomiędzy liczbą otworów mrożeniowych, promieniem kręgu otworów mrożeniowych oraz czasem mrożenia wstępnego, tj. czasem pomiędzy rozpoczęciem mrożenia a rozpoczęciem głębenia szybu. Z wykorzystaniem oprogramowania statystycznego STATISTICA 10 opracowano wykres trójwymiarowy (rys. 2).



Rys. 1. Zestawienie czasów mrożenia wstępnego dla przeprowadzonych analiz

Fig. 1. Initial freezing time for the performed analyses



Rys. 2. Zależność pomiędzy liczbą otworów mroźniowych, promieniem kręgu otworów mroźniowych a czasem wstępnym mrożenia

Fig. 2. The relationship between the number of freezing holes, the radius of the freezing holes circle and the initial freezing time

Powyższy wykres przedstawiający zależność pomiędzy czasem wstępnym mrożenia a promieniem kręgu otworów mroźniowych oraz ilością otworów wskazuje, że optymalny promień wynosi od 8,2 do około 8,5 m, przy liczbie otworów równej od 36 do 42. Czas w tym przypadku jest mniejszy od 250 dni.

W oparciu o wyniki wszystkich przeprowadzonych analiz zauważono, iż w aspekcie optymalizacji czasu niezbędnego do uzyskania wymaganego stanu zamrożenia górotworu najbardziej efektywnymi konfiguracjami są te, gdzie:

- średnica kręgu otworów mroźniowych wynosi 16,4 m, przy liczbie otworów 40 sztuk – czas wymagany wynosi 220 dni;
- średnica kręgu otworów mroźniowych wynosi 16,2 lub 16,4 m, przy liczbie otworów 38 sztuk – czas wymagany wynosi 230 dni;

- średnica wewnętrznego kręgu otworów mroźniowych wynosi od 15,4 do 16,6 m, a średnica zewnętrznego kręgu od 16,8 do 17,0 m, przy zachowaniu liczby otworów 40 sztuk – czas wymagany wynosi 210 dni.

Na podstawie powyższych wniosków stwierdzić można, iż w odniesieniu do optymalizacji czasu trwania procesu mrożenia najefektywniejszym rozwiązaniem jest wariant, w którym zastosowane zostaną dwie średnice kręgu otworów mroźniowych. Niemniej jednak, w pozostałych dwóch konfiguracjach czasy, jakie wymagane są do uzyskania odpowiedniego stopnia zamrożenia górotworu różnią się jedynie o 10 i 20 dni. W dalszym etapie prac optymalizacyjnych przeprowadzono kolejne analizy w celu wskazania modelu optymalnego pod kątem zapotrzebowania na moc chłodniczą oraz kosztów wykonania instalacji mroźniowej.

3.2. Analiza zapotrzebowania na moc chłodniczą

W kolejnym etapie optymalizowania procesu mrożenia górotworu z wykorzystaniem modelowania numerycznego przeprowadzono analizę zapotrzebowania systemu na moc chłodniczą. W pierwszej kolejności odczytano prędkości przepływu ciepła (zimna) z otworów mrożeniowych do górotworu. Parametr ten charakteryzuje elementarną ilość ciepła przekazaną do górotworu w jednostce czasu i wyrażony jest w watach. Omawiane obciążenie cieplne wyliczane jest dla jednego metra bieżącego rury mrożeniowej, dlatego też koniecznym było przeliczenie mocy całkowitej układu. Dokonano tego wykorzystując zależność (1) (Fabich, Świtoń 2010):

$$P = \dot{Q} \cdot N \cdot l [W]$$

gdzie:

- \dot{Q} – wielkość maksymalnego zarejestrowanego strumienia przepływu ciepła [W/m],
- N – liczba otworów mrożeniowych [szt.],
- l – długość otworu mrożeniowego (w danym pakiecie skalnym) [m].

W efekcie zastosowania powyższego równania otrzymano cały szereg wartości strumienia przepływu ciepłego \dot{Q} odczytanego dla każdej z warstw i dla miąższości każdej z nich (przyjętej jako długość otworów mrożeniowych). Na tej podstawie wyliczono moc całkowitą układu (z uwzględnieniem liczby otworów). Następnie zsumowano wszystkie wartości mocy, jaka wymagana jest w poszczególnych warstwach. Suma ta przyjęta została jako całkowite zapotrzebowanie na moc chłodniczą systemu mrożeniowego, która zaspokojona musi być przez Stację Agregatów Mrożeniowych. Wyniki tych obliczeń dla każdego scenariusza zestawiono na wykresie (rys. 3).

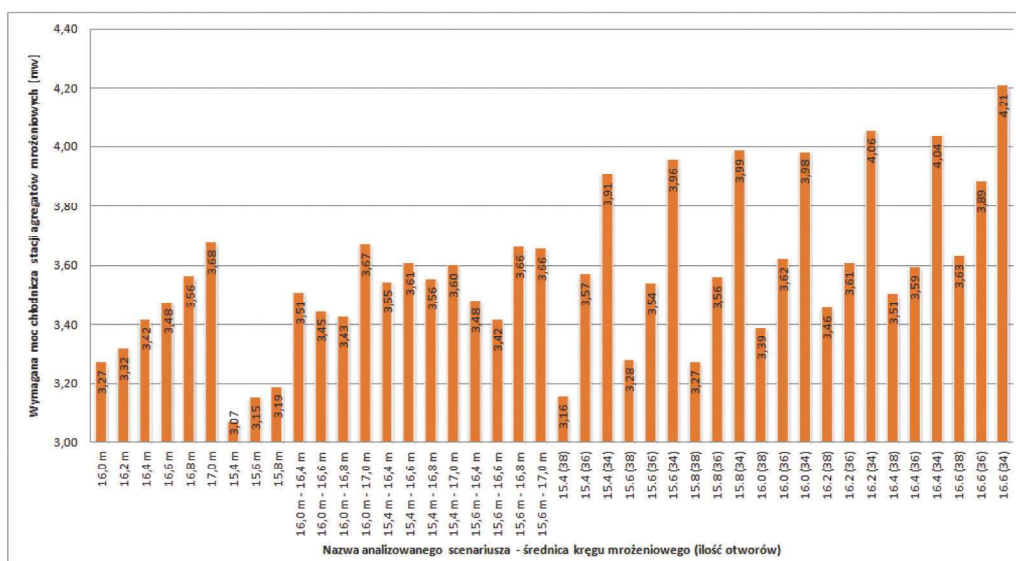
Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazują, iż w przypadku scenariusza bazowego, czyli stosowanego obecnie w praktyce (średnica wynosząca 16,0 m i liczba otworów mrożeniowych 40 szt.), całkowita moc chłodnicza netto wymagana do uzyskania odpowiedniego stopnia zamrożenia górotworu w określonym czasie wynosi 3,27 MW (ok. 3,5 MW brutto). Jest to zbieżne z wcześniejszymi analizami, jakie poczyniono metodą bilansu cieplnego i zgodnie z rzeczywistą mocą Stacji Agregatów Mrożeniowych zainstalowaną przy szybie GG-1. Moc ta wynosi bowiem 3,22 MW (netto). Podczas analizy

otrzymanych wyników stwierdzono, iż zapotrzebowanie na moc chłodniczą rośnie wraz ze wzrostem promienia kręgu otworów mrożeniowych, przy zachowaniu stałej liczby otworów mrożeniowych w tym kręgu. Jest to zjawiskiem oczekiwanym ze względu na zwiększenie odległości pomiędzy otworami, co przekłada się bezpośrednio na wzrost strumienia ciepłego emitowanego przez każdy z otworów. Zaobserwowane wartości mocy wymaganej wahają się od 3,07 MW przy średnicy kręgu otworów mrożeniowych wynoszącej 15,4 m, do 3,68 MW przy średnicy wynoszącej 17,0 m. W przypadku scenariuszy, gdzie zastosowano dwa kręgi otworów mrożeniowych o różnych promieniach, zauważono, iż zapotrzebowanie na moc chłodniczą jest niemalże stałe i waha się od 3,42 do 3,67 MW. W wariantach rozwiązań, w których modyfikowano liczbę otworów mrożeniowych oraz średnicę kręgu otworów mrożeniowych, wraz ze wzrostem średnicy oraz zmniejszeniem liczby otworów zapotrzebowanie na moc znacząco rośnie. Spowodowane jest to zwiększaniem się odległości pomiędzy otworami, co przekłada się na większy strumień ciepły emitowany przez każdy z nich.

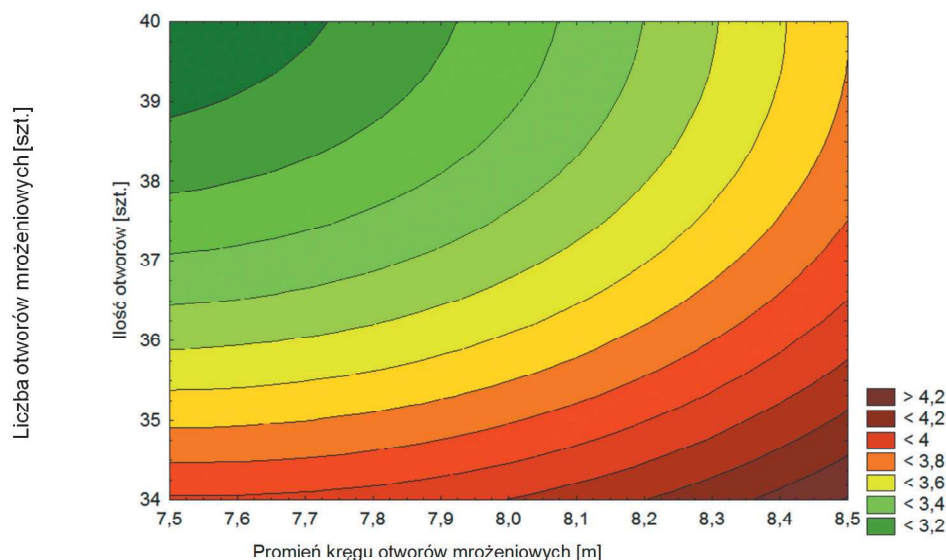
Po zbadaniu zapotrzebowania na moc chłodniczą przystąpiono do statystycznej analizy otrzymanych wyników. W tym celu wygenerowano wykres obrazujący zależność pomiędzy liczbą otworów mrożeniowych, promieniem kręgu otworów mrożeniowych a zapotrzebowaniem na moc chłodniczą (rys. 4).

Na opracowanym wykresie zaobserwować można, iż wraz ze zmniejszaniem promienia kręgu otworów mrożeniowych oraz ze zwiększaniem liczby otworów w tym kręgu zapotrzebowanie na moc chłodniczą maleje. Przy 34 otworach w kręgu mrożeniowym o promieniu wynoszącym 8,5 metra, zapotrzebowanie to przekracza 4,2 MW. Drugi biegun wartości osiągany jest przy 40 otworach rozlokowanych w kręgu mrożeniowym o promieniu 7,5 metra. Zapotrzebowanie na moc w tym wariantcie wynosi 3,2 MW.

Podsumowując wyniki analizy zapotrzebowania na moc chłodniczą dla wszystkich badanych konfiguracji rozmieszczenia otworów mrożeniowych, stwierdzić można, iż najmniejsze jego wartości osiągane są w momencie, gdy zachowana jest aktualna liczba otworów mrożeniowych oraz zmniejszany jest promień kręgu otworów mrożeniowych. Zapotrzebowanie na moc rośnie w momencie, gdy liczba otworów mrożeniowych jest zmniejszana, a promień kręgu



Rys. 3. Zestawienie zapotrzebowania na moc chłodniczą dla analizowanych scenariuszy
Fig. 3. Comparison of cooling power demand for the analyzed scenarios



Rys. 4. Wykres zależności pomiędzy liczbą otworów mroźniowych, promieniem kręgu otworów mroźniowych a zapotrzebowaniem na moc chłodniczą

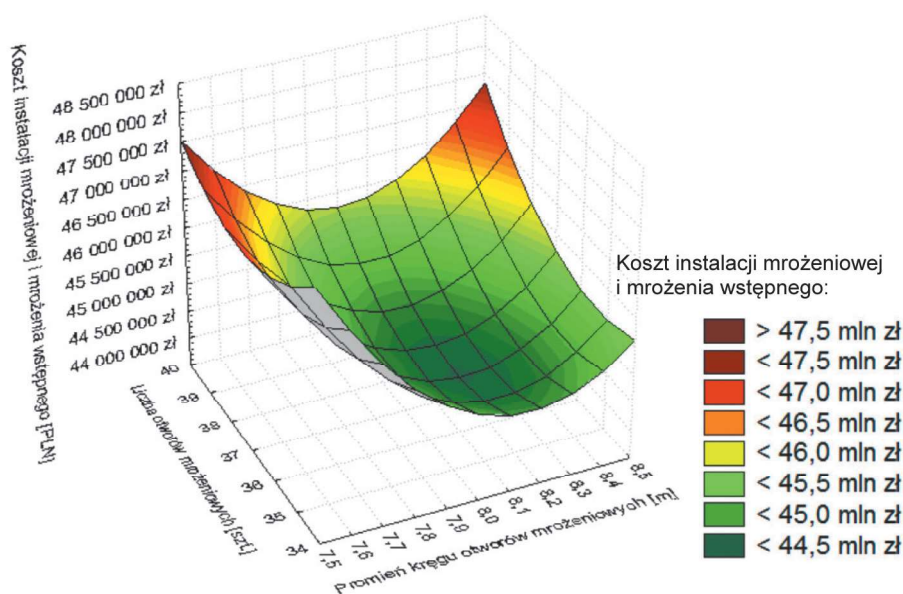
Fig. 4. The graph of dependencies between the number of freezing holes, the radius of the freezing holes circle, and the demand for cooling power

otworów mroźniowych zwiększany. Zjawisko to jest naturalne, ze względu na to, iż w sytuacji takiej rośnie odległość pomiędzy otworami mroźniowymi, a wraz z nią ilość strumienia ciepła jaki transferowany jest przez rury mroźniowe. Dodatkowo wyprowadzono zależność służącą do określania zapotrzebowania na moc chłodniczą w funkcji promienia kręgu otworów mroźniowych oraz liczby otworów.

3.3. Analiza ekonomiczna przeprowadzonych badań

Po wykonaniu wszystkich dotychczasowych analiz niemożliwym było określenie w sposób jednoznaczny, która z rozpatrywanych konfiguracji pozwoli zoptymalizować proces mrożenia górotworu. W związku z tym postanowiono wykonać uproszczony model ekonomiczny, w celu wska-

zania wspólnego punktu odniesienia dla analizowanych przypadków. Model ten zakłada, iż połowa z liczby otworów mroźniowych uwzględnionych w danej konfiguracji będzie miała długość 430 metrów (otwory krótkie), natomiast reszta będzie otworami długimi (do 690 m). W zbudowanym modelu ekonomicznym wzięto pod uwagę zatem koszty wykonania zarówno otworów długich jak i krótkich. Rozważono również koszty budowy Stacji Agregatów Mroźniowych oraz koszty mrożenia wstępnego, a także koszty wynikające z opóźnienia w głębinie szybu, czyli takie, które generowane są w sytuacji, gdy firma wybrana jako generalny wykonawca prac związanych z wykonaniem obiektu szybowego nie może rozpocząć robót, pomimo pełnej mobilizacji. Na podstawie przeprowadzonej analizy wykonano statystyczną interpretację otrzymanych wyników. Wyniki powyższej analizy przedstawiono na wykresie (rys. 5).



Rys. 5. Wykres zależności pomiędzy liczbą otworów mroźniowych, promieniem kręgu otworów mroźniowych a kosztami instalacji mroźniowej oraz mrożenia wstępnego

Fig. 5. Graph of dependencies between the number of freezing holes, the radius of the freezing holes circle and the costs of the freezing installation and the initial freezing

Na przedstawionym powyżej wykresie zaobserwować można, iż koszty instalacji mroźniowej oraz mrożenia wstępного rosą w momencie, gdy średnica kręgu otworów mroźniowych rośnie bądź maleje od wartości 16,4 m oraz wówczas, gdy liczba otworów rośnie od wartości 36.

4. Możliwość optymalizacji parametrów pracy instalacji solankowej

Parametrem, który opisuje zdolność chłodniczą funkcjonujących instalacji mroźniowych jest wydajność cieplna, czyli ilość chłodu wyprodukowana w jednostce czasu. Chłód ten transportowany jest na pośredniczący czynnik chłodzący, przepływający w ściśle określonej ilości przez wymiennik parowników Stacji Agregatów Mroźniowych. Zdolność chłodnicza instalacji mroźniowej jest tym większa, im większą ilość solanki schłodzimy w danym czasie do jak najniższej temperatury. Z tego też względu bardzo ważnym jest ustalenie potrzeb w tym zakresie. Muszą one uwzględniać podstawowe, obowiązujące tu założenie, że projektowana instalacja mroźniowa musi być zdolna do zamrożenia górotworu w różnych zastosowaniach inżynierskich. W celu określenia możliwości optymalizacji parametrów pracy instalacji solankowej dokonano statystycznej analizy danych pochodzących ze Stacji Agregatów Mroźniowych przy szybie GG-1. Miały one na celu wyznaczenie zależności:

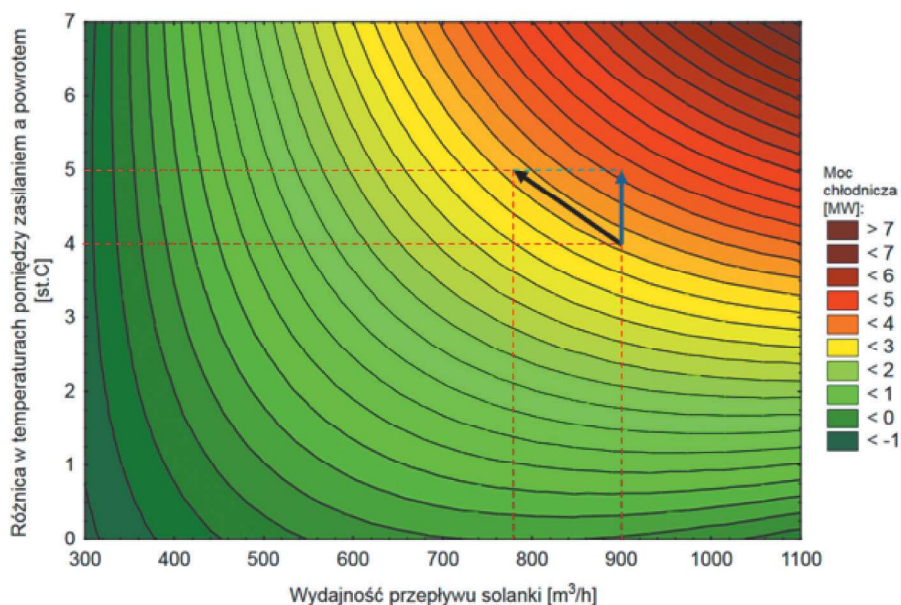
- pomiędzy mocą chłodniczą, wydajnością przepływu oraz różnicą w temperaturach pomiędzy zasilaniem a powrotem (rys. 6);
- pomiędzy wydajnością przepływu solanki, mocą chłodniczą oraz różnicą w temperaturach pomiędzy zasilaniem a powrotem (DT) (rys. 7).

Pierwsza zależność obrazująca zapotrzebowanie na moc chłodniczą w funkcji wydajności przepływu oraz różnicy w temperaturach pomiędzy zasilaniem a powrotem (rys. 6) ukazuje, iż bazując na stanie obecnym tj. przepływie

wynoszącym około 900 m³/h i różnicy temperatur wynoszącej około 4 stopnie, wymagana moc chłodnicza mieści się w przedziale od 3 do 4 MW. Analizując zatem możliwości stacji przy zachowaniu stałej wartości przepływu oraz zwiększeniu różnicy temperatur pomiędzy zasilaniem a powrotem do Stacji Agregatów Mroźniowych do 5°C, moc stacji wzrośnie do około 5 MW. W przypadku mrożenia górotworu na potrzeby głębienia szybów taka moc stacji nie jest potrzebna. Dlatego też sprawdzono drugą zależność pomiędzy wydajnością przepływu solanki, mocą chłodniczą oraz różnicą w temperaturach pomiędzy zasilaniem a powrotem (DT) (rys. 7). Wynika z niej, iż przy utrzymaniu stałego zapotrzebowania na moc chłodniczą wynoszącego 3,27 MW (aktualna moc netto stacji) i zwiększeniu różnicy temperatur pomiędzy zasilaniem a powrotem (z 4 do 5 stopni Celsjusza) można zmniejszyć wydajność przepływu solanki w otworach mroźniowych z 950 m³/h do około 750 m³/h.

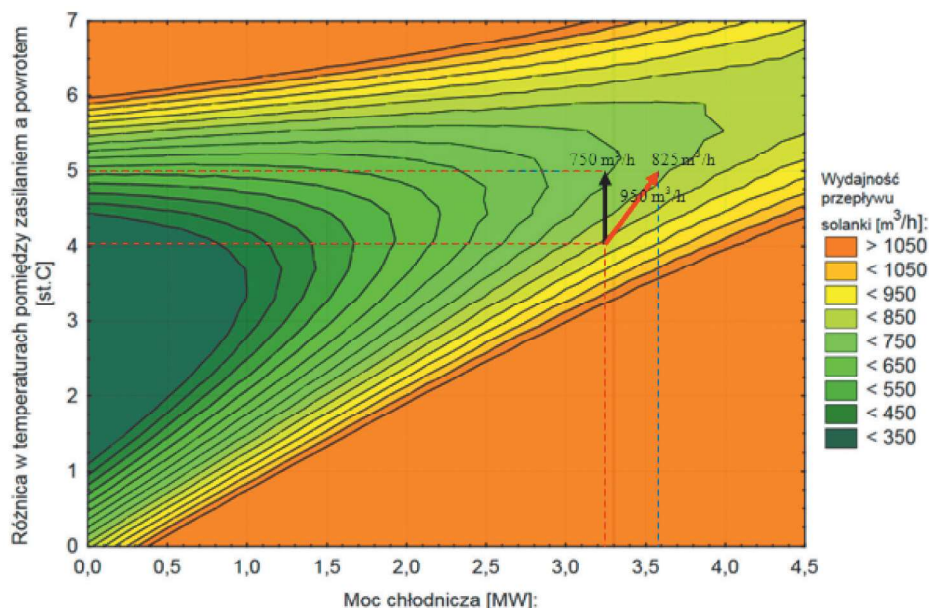
5. Podsumowanie

Szereg analiz mających na celu optymalizację konfiguracji instalacji mroźniowej wykazał, iż modyfikacja aktualnie stosowanego rozmieszczenia otworów mroźniowych jest możliwa i może przynieść wymierne skutki zarówno w postaci oszczędności czasu wstępnego mrożenia, jak i jego kosztów. Z analizy tej wynika, iż najefektywniejszym i pod kątem skrócenia czasu wstępnego mrożenia są warianty, w których zastosowane są dwie różne średnice kręgu otworów mroźniowych. Czas ten wynosi w przypadku większości z analizowanych konfiguracji 210 dni (skrócenie z 280 dni, które stosowane są w aktualnie stosowanym rozwiązaniu). Warianty te z racji stosowania dwóch średnic kręgów otworów mroźniowych (co znacznie utrudnia ich wykonanie oraz komplikuje konstrukcję kolektorów mroźniowych) nie są zalecane. Wariantem, który jest znacznie prostszy do wykonania, a czas mrożenia wstępnego jest jedynie o 10 dni dłuższy



Rys. 6. Zależność pomiędzy mocą chłodniczą a wydajnością przepływu oraz różnicą w temperaturach pomiędzy zasilaniem a powrotem – na podstawie danych ze stacji mroźniowej przy szybie GG-1

Fig. 6. Relationship between cooling capacity and flow capacity and the difference in temperatures between the supply and return – based on data from the freezing station at the GG-1 shaft



Rys. 7. Zależność pomiędzy wydajnością przepływu solanki a mocą chłodniczą oraz różnicą w temperaturach pomiędzy zasilaniem (DT) – na podst. danych ze stacji mrozeniowej przy szybie GG-1

Fig. 7. The relationship between the brine flow capacity and cooling power and the difference in temperatures between the supply and return (DT) – based on data from the freezing station at the GG-1 shaft

jest ten, w którym średnica kręgu otworów mrozeniowych wynosi 16,4 m, a liczba otworów wynosi 40 szt. W wariancie tym wymagana moc Stacji Agregatów Mrozeniowych wynosi 3,42 MW. W momencie, gdy jako główne kryterium wyboru posłuży koszt, jaki ponoszony jest na mrożenie górotworu, najbardziej optymalnym wariantem jest ten, w którym średnica kręgu otworów mrozeniowych wzrośnie do 16,4 m, ale liczba otworów mrozeniowych zostanie zmniejszona do 36 szt. Taki stan rzeczy podyktowany jest tym, iż głównym czynnikiem generującym koszty w przypadku mrożenia górotworu jest koszt wykonania otworów mrozeniowych. W przypadku tego wariantu wymagana moc Stacji Agregatów Mrozeniowych wynosi 3,59 MW.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych analiz danych archiwalnych pochodzących ze stacji mrozeniowej wykorzystywanej do mrożenia górotworu na potrzeby głębienia szybu GG-1, można stwierdzić, iż w przypadku, gdy zapotrzebowanie na moc chłodniczą nie ulega wzrostowi, przy jednoczesnym zwiększeniu różnicy temperatur pomiędzy wejściem a wyjściem solanki z obwodu parownikowego z 4

do 5 stopni, istnieje realna możliwość obniżenia wydajności przepływu czynnika pośredniczącego w obwodzie solankowym z 950 do 750 m³/h. To przełoży się na oszczędności w koszcie zakupu pomp solankowych, oraz koszcie późniejszej ich eksploatacji.

Literatura

- FABICH, S., ŚWITOŃ, S. 2010 - Projekt techniczny mrożenia górotworu dla potrzeby głębienia szybu GG-1. Niepublikowany. Archiwum KGHM Cuprum.
- FABICH, S., ŚWITOŃ, S. 2011 - Projekt kontroli płaszcza mrozeniowego. Wrocław.
- FABICH, S., ŚWITOŃ, S. 2012 - Aspekty projektowania płaszcza mrozeniowego dla potrzeb głębienia szybów w warunkach zawodnionego górotworu. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków.

Artykuł wpłynął do redakcji – kwiecień 2018
Artykuł akceptowano do druku 11.07.2018