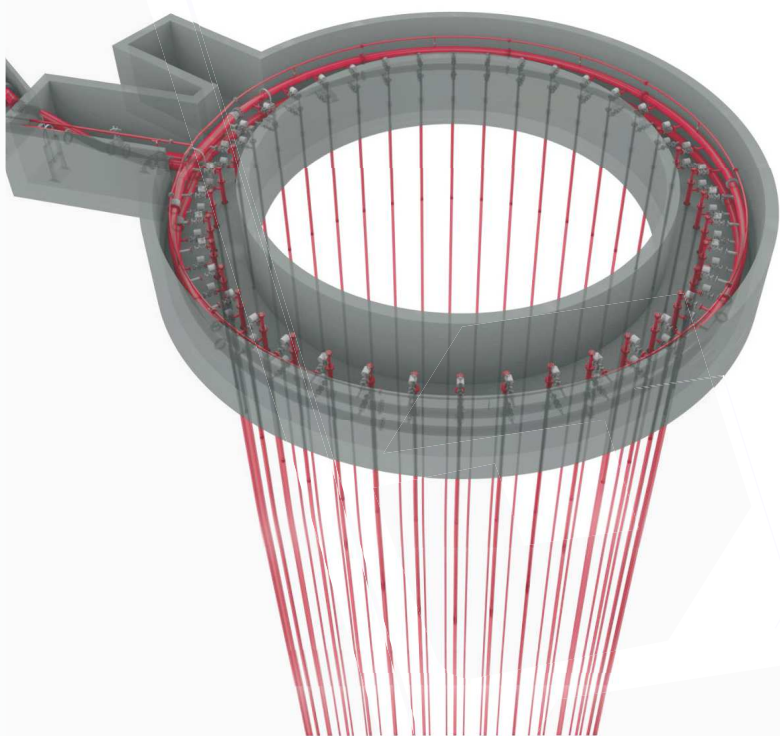


# 1

## Technologia mrożenia górotworu dla potrzeb głębienia szybu Grzegorz



## 1.1 Wprowadzenie

Szyb *Grzegorz* jest jedną z największych współczesnych inwestycji w polskim przemyśle wydobywczym. Z racji trudnych warunków występujących w jego projektowanym profilu konieczne było zastosowanie specjalnej metody głębienia szybu, jaką jest mrożenie górotworu. Metoda ta, będąca niegdyś w powszechnym użyciu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym do głębienia szybów w tamtejszych kopalniach węgla kamiennego, przez ostatnie lata nie była w tym rejonie stosowana, głównie ze względu na niewielką ilość inwestycji zakresie w głębienie szybów górniczych. Realizacja tego przedsięwzięcia została powierzona do realizacji Przedsiębiorstwu Budowy Szybów SA. [1].

Trudne warunki, w postaci znacznego zawodnienia górotworu oraz występowania skał o bardzo niskiej odporności na rozmakanie w profilu szybu *Grzegorz*, uniemożliwiają skuteczne głębienie z zastosowaniem metody zwykłej. Spośród rozważanych metod odrzucono metody drenażu górotworu oraz jego iniekcji, ze względu na ich spodziewaną niską skuteczność. Za najbardziej korzystną została uznana metoda mrożenia górotworu, bowiem zapewnia ona wymagany poziom bezpieczeństwa i wydajności. Metodę tę, której istotą jest wytworzenie płaszcza zamrożonego górotworu, tzw. lodogruntu, realizuje się bardzo ogólnie poprzez tłoczenie cieczy chłodzącej do otworów mrożeniowych. W przygotowanym w ten sposób górotworze głębi się szyb z zastosowaniem tradycyjnych metod. Zamrożony górotwór zapobiega wlewaniu się wód do przodka szybowego, czasem także pełni rolę wzmocnienia słabych skał, w których wyrobisko jest wykonywane. Wytrzymałość takich zamrożonych skał czy w szczególności gruntów jest wyższa niż w stanie naturalnym [1-3].

Szyb *Grzegorz* będzie docelowo szybem wdechowym, zjazdowo-materiałowym. Będzie miał przekrój kołowy o średnicy 7,5 m w świetle obudowy. Projektowana rzędna zrębu szybu wynosi +258,0 m n.p.m., natomiast głębokość -870,0 m. Do głębokości 522 m szyb zabezpieczony będzie obudową dwuwarstwową z hydroizolacją oraz zespoloną, natomiast poniżej tej głębokości wykonana zostanie obudowa zespolona z drenażem oraz pojedyncza na odcinkach wlotów. Wysokie zawodnienie górotworu wymusza także wykonanie obudowy z betonu o wysokim wskaźniku wodoszczelności - W8 do głębokości 90,6 m i W12 od głębokości 90,6 do 522 m [1, 4].

Projekt szybu *Grzegorz* jest pierwszym w Polsce szybem, w którym zastosowano tzw. ostateczną wieżę szybową do procesu głębienia, co oznacza, że jedna wieża wyciągowa zostanie wykorzystana zarówno w procesie głębienia szybu jak i jego późniejszej eksploatacji. Pośród innych innowacji należy wymienić technologię zabudowy folii hydroizolacyjnej z zastosowaniem urządzenia specjalnej konstrukcji, a także przeprowadzone badania geofizyczne w celu określenia możliwości optymalizacji monitoringu procesu mrożenia górotworu.

## 1.2 Warunki geologiczno-górnice

### 1.2.1 Budowa geologiczna

Warunki hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie w rejonie projektowanego szybu *Grzegorz* określono na podstawie rozpoznania prowadzonego za pomocą otworu badawczego G-8 oraz otworu badawczego G-8bis. Na podstawie danych uzyskanych z otworu G-8bis, w profilu projektowanego szybu stwierdzono występowanie następujących warstw litologicznych:

- **utwory czwartorzędu**, na głębokości od 0,00 m do 40,43 m, wykształcone jako warstwy piasku, gliny, pyłu, pospółki i żwiru,
- **utwory trzeciorzędu**, na głębokości od 40,43 m do 114,43 m, wykształcone jako warstwy iłu, sporadycznie przewarstwione żwirowcem, pyłem, iłowcem, gliną i wapieniem,
- **utwory triasu**, na głębokości od 114,43 m do 234,93 m, wykształcone jako warstwy dolomitu i wapienia (wapień muszlowy w górnej części profilu) oraz warstwy iłu, piaskowca i mułowca (pstry piaskowiec w dolnej części profilu),
- **utwory karbonu**, na głębokości poniżej 234,93 m, wykształcone jako warstwy piaskowców z przewarstwieniami żwirowców, iłowców oraz pokładów węgla.

### 1.2.2 Warunki hydrogeologiczne

W profilu szybu *Grzegorz* występują cztery piętra wodonośne, obejmujące szesnaście horyzontów wodonośnych. W piętrze wodonośnym czwartorzędu występują dwa horyzonty wodonośne, zasilane wodami z opadów atmosferycznych. Skałami zbiornikowymi są słabo przepuszczalne pyły oraz średnio przepuszczalne piaski, pospółki i żwiry. Piętro wodonośne trzeciorzędu tworzy tylko jeden horyzont wodonośny o zwierciadle naporowym, również zasilany wodami opadowymi. Skąły zbiornikowe stanowią średnio przepuszczalne utwory zbrekjonowanego wapienia. W piętrze wodonośnym triasu występują trzy horyzonty wodonośne, wszystkie są horyzontami o piezometrycznym zwierciadle naporowym, zasilanymi wodami z opadów atmosferycznych. Skałami zbiornikowymi są słabo przepuszczalne dolomity, wapienie, piaskowce i mułowce. W piętrze wodonośnym karbonu występuje aż dziesięć horyzontów wodonośnych. Skąły zbiornikowe reprezentowane są przez słabo przepuszczalne i półprzepuszczalne piaskowce. Horyzonty karbońskie są horyzontami o piezometrycznym zwierciadle naporowym wody, zasilane poprzez infiltracje ze skał nadległych, na wychodniach oraz przez szczeliny uskokowe.

Na podstawie rozpoznania przeprowadzonego w otworze G-8bis oszacowano dopływy wód do szybu z poszczególnych horyzontów wodonośnych, kształtujący się na poziomie od 0,057 m<sup>3</sup>/min do 0,926 m<sup>3</sup>/min. Całkowity przewidywany dopływ wody do rury szybowej wyniósł 5,957 m<sup>3</sup>/min.

### 1.2.3 Warunki geologiczno-inżynierskie

Na podstawie obserwacji wykonanych w trakcie wiercenia otworu G-8bis oraz badań laboratoryjnych rdzenia w profilu szybu *Grzegorz* rozróżniono siedem stref geotechnicznych, charakteryzujących się zróżnicowanymi parametrami geologiczno-inżynierskimi.

W strefach geotechnicznych I, III, V i VI występują trudne warunki geologiczne, związane z niską odpornością skał na rozmakanie oraz znacznym zawodnieniem. Wykonywanie wyrobiska w takich warunkach jest praktycznie niemożliwe bez zastosowania dodatkowych środków, istnieje bowiem poważne ryzyko wystąpienia problemów z utrzymaniem ociosów. To właśnie te strefy wymuszają stosowanie specjalnej metody głębiania szybu.

## 1.3 Mrożenie górotworu

### 1.3.1 Dobór metody głębiania szybu

Z uwagi na znaczne zawodnienie górotworu przy jednoczesnym wystąpieniu pakietów skał o bardzo niskiej odporności na rozmakanie, w profilu szybu *Grzegorz* spodziewano się wystąpienia trudnych warunków geologicznych, uniemożliwiających skuteczne prowadzenie głębiania szybu metodą zwykłą.

Metoda drenażu górotworu nie mogła zostać zastosowana z uwagi na występowanie w profilu szybu luźnych i słabo spoistych utworów, skłonnych do zaciskania, tworzenia korków, rozmakania i wynoszenia zawieszin, a w konsekwencji wystąpienia zjawiska kolmatacji pomp. Ponadto dla dostępnych na rynku pomp drenaż przeprowadzony z powierzchni możliwy byłby do zastosowania jedynie do głębokości 300÷350 m, obejmując tym samym tylko część stref geotechnicznych, charakteryzujących się trudnymi warunkami geologicznymi.

Metoda iniekcji górotworu w utworach silnie zawodnionych, luźnych i rozsypliwych również charakteryzuje się ograniczoną skutecznością.

W związku z powyższym, na podstawie przeprowadzanej analizy przyjęto, iż w celu zapewnienia wymaganej bezpieczeństwa i wydajności robót zostanie zastosowana metoda specjalna głębiania szybu, polegająca na mrożeniu górotworu.

Istotą metody mrożenia górotworu jest wytworzenie wokół osi szybu płaszcza mroźniowego, zabezpieczającego wyrobisko przed dopływem wód oraz wzmacniającego odcinki górotworu o obniżonych parametrach wytrzymałościowych. W celu wytworzenia płaszcza mroźniowego odwiercone zostają otwory mroźniowe, do których wprowadzony jest czynnik chłodzący. W wyniku wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem chłodzącym a górotworem wokół każdego otworu powstają słupy lodogruntu, stopniowo powiększające swoją objętość, aż do połączenia w szczelną pierścien [5-12].

Głębokość otworów mroźniowych należy ustalić na podstawie analizy hydrogeologicznej i geologicznej górotworu w profilu projektowanego szybu. Rozchodzenie się zimna poniżej poziomu dna otworów mroźniowych przebiega słabiej, aniżeli na boki. Z tego względu za głębokość zamrożenia skał należy przyjąć poziom, do którego sięgają dna otworów mroźniowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy hydrogeologicznej i geologicznej dla szybu *Grzegorz* przyjęto głębokość mrożenia do poziomu spągu VI strefy geotechnicznej, tj. 465 m, ponadto ze względów technologicznych głębokość mrożenia wydłużono o kolejne 10 m, w związku z czym ostateczna głębokość mrożenia wyniosła 475 m. Z uwagi na konieczność wykonania korka z zaczynu cemen-

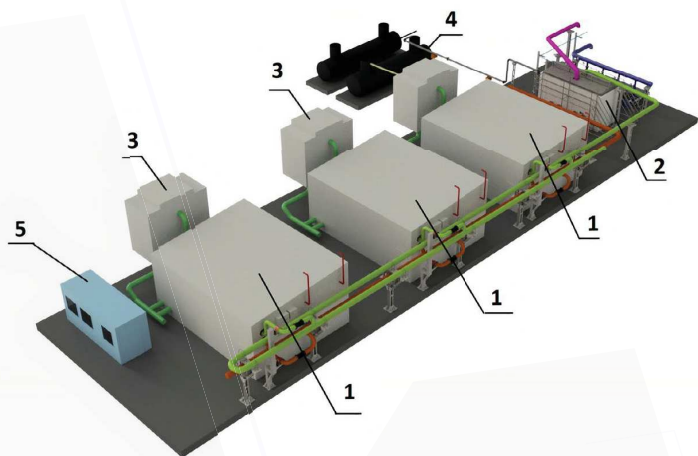
towego o długości 10 m na spodzie otworu, jako ostateczną głębokość otworów mrozeniowych przyjęto 485 m [13].

W celu określenia grubości ścianki cylindra zamrożonej skały należy wyznaczyć wartości obciążeń normowych i obliczeniowych, pochodzących od górotworu, natomiast w warstwach zawodniomych dodatkowo od ciśnienia wody. Obliczenia obciążeń płaszcza mrozeniowego przeprowadzono z wykorzystaniem normy: „PN-G-05016:1997 Szyby górnicze. Obudowa. Obciążenia.”.

### 1.3.2 Instalacja mrozeniowa

Instalacja mrozeniowa składa się z układu pierwotnego, obejmującego instalacje na płycie fundamentowej oraz układu wtórnego, obejmującego instalacje w kanale mrozeniowym i piwnicy mrozeniowej. Przystosowana jest do schładzania roztworu chlorku wapnia do temperatury ( $-35^{\circ}\text{C}$ ).

Układ pierwotny, przedstawiony na rysunku 1.1, składa się z trzech zespołów kontenerowych agregatów mrozeniowych – chillerów (PAC SAB 283 E eco), w których pierwotnym środkiem mrozeniowym jest amoniak. Agregaty chłodzone są za pomocą wyparnych chłodziw wody (Evapco AT 18-3M14). Ponadto w skład układu pierwotnego wchodzi izolowane rury transportujące solankę, zbiornik solanki, zbiornik spustowy, stacja uzdatniania wody, osiem pomp oraz armatura [3].



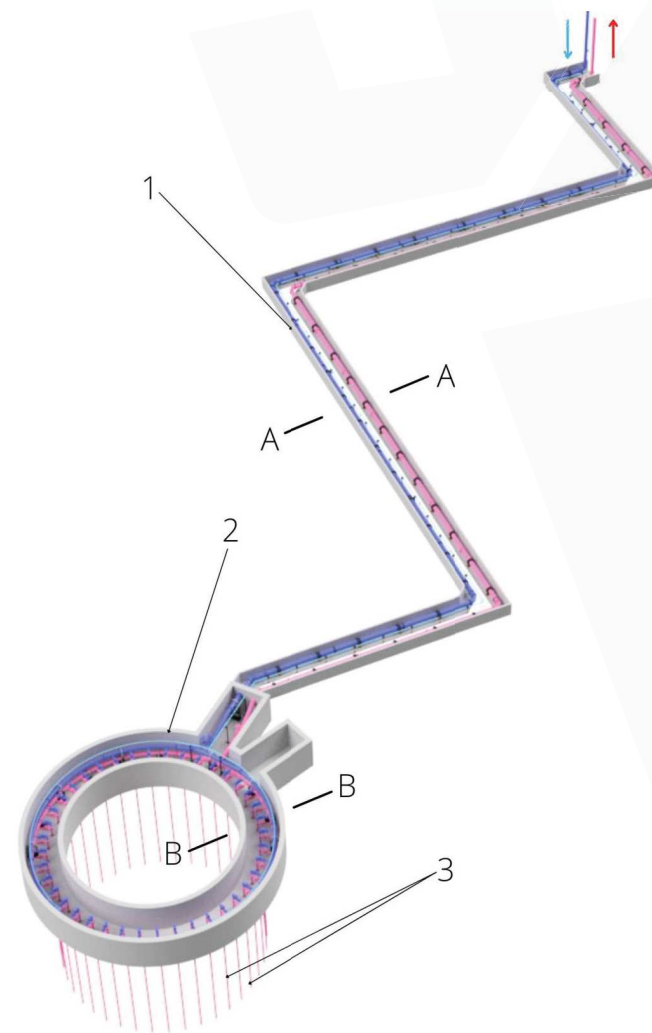
Rys. 1.1 Układ pierwotny zespołu mrozenia [3]

1 – agregaty mrozeniowe, 2 – zbiornik solanki, 3 – chłodziwa wentylatorowe, 4 – zbiornik spustowy, 5 – stacja uzdatniania wody

Układ wtórny składa się z dwóch głównych części: kanału mrozeniowego oraz piwnicy mrozeniowej. Jego model został przedstawiony na rysunku 1.2.

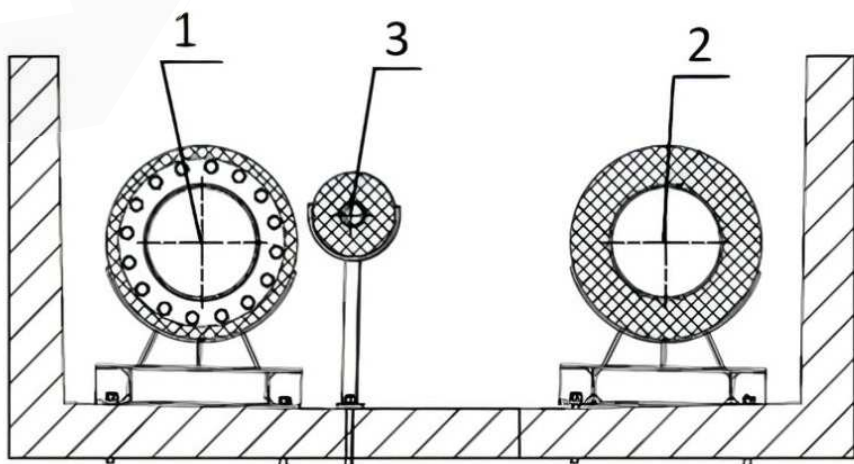
W kanale mrozeniowym zaprojektowano dwa izolowane rurociągi średnicy DN350 przeznaczone do transportu roztworu chlorku wapnia do pierścienia mrozeniowego rozdzielczego zasilającego oraz powrotu roztworu do agregatów mrozeniowych z pierścienia rozdzielczego powrotnego. Rurociągi ułożone są na podporach ślizgowych. Ponadto w kanale mrozeniowym znajduje się rurociąg średnicy DN65 przeznaczony do odpowietrzenia mrozeniowego pierścienia zasilającego.

Rurociągi w miejscu wejścia do piwnicy mrozeniowej ustawione są na podporach, które umożliwiają połączenie ich z instalacją piwnicy mrozeniowej [3]. Przekrój przez kanał mrozeniowy przedstawiono na rysunku 1.3.



Rys. 1.2 Układ wtórny zespołu mrozenia [3]

1 – kanał mrozeniowy, 2 – piwnica mrozeniowa, 3 – otwory mrozeniowe



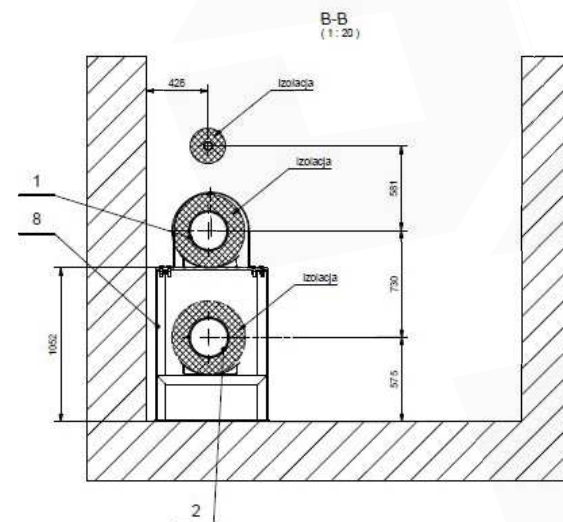
Rys. 1.3 Przekrój przez kanał mroźniowy;

1 – rurociąg zasilający, rurociąg powrotny, 3 – rurociąg odpowietrzający

W piwnicy mroźniowej znajduje się pierścień rozdzielczy zasilający wraz z pierścieniem odpowietrzającym, pierścień rozdzielczy powrotny, głowice mroźniowe, zespół mroźniowy i dwie studzienki kanalizacyjne.

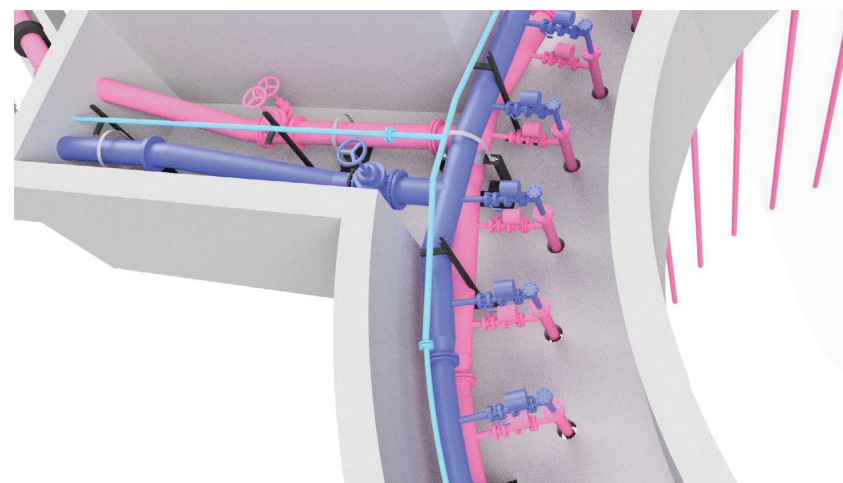
Pierścień rozdzielczy zasilający składa się z 10 segmentów: jednego segmentu o średnicy DN350 połączonego za pomocą odcinka rury z rurociągiem zasilającym oraz 9 segmentów o średnicy DN250. Każdy z nich jest izolowany i posiada 4 króćce DN65, z których każdy połączony jest z zaworem kulowym i przepływomierzem, a następnie z głowicą mroźniową. Pierścień odpowietrzający zaprojektowano z 9 segmentów: segmentu podstawowego o średnicy 76,4 mm i grubości ścianki 4 mm wyposażonego w odcinek rury służący do połączenia pierścienia z rurociągiem odpowietrzającym oraz 8 segmentów o średnicy 60,3 mm i grubości ścianki 4 mm.

Pierścień rozdzielczy powrotny składa się z 10 segmentów: jednego segmentu o średnicy DN350 połączonego za pomocą odcinka rury z rurociągiem odprowadzającym oraz 9 segmentów o średnicy DN250. Każdy z nich jest izolowany i wyposażony jest w 4 króćce DN65. Przekrój przez piwnicę mroźniową przedstawia rysunek 1.4, zaś na rysunku 1.5 pokazano jej model.



Rys. 1.4 Przekrój przez piwnicę mroźniową;

1 – pierścień zasilający, 2 – pierścień powrotny, 8 – stojak



Rys. 1.5 Model 3D piwnicy mroźniowej [3]

Głowica mroźniowa służy do połączenia pierścieni rozdzielczych z rurami mroźniowymi. Składa się z rur o średnicy 76,1 mm i grubości ścianki 4 mm. W górnej części zaprojektowano kotłierz zaślepiający, natomiast w dolnej kotłierz specjalny, przez który możliwe jest poprowadzenie rur o średnicy 76,1 mm. Powrót solanki realizowany jest rurami o średnicy 139,7 mm i grubości ścianki 8 mm połączonymi z pierścieniem rozdzielczym powrotnym.

Ponadto zaprojektowano dwie studzienki kanalizacyjne, które są połączone z piwnicą mrozeniową rurociągiem DN150, w celu usuwania z niej wody pochodzącej z opadów atmosferycznych oraz ewentualnych wycieków cieczy. Ciecz ze studzienek jest wypompowywana pompą typu nurek [13].

### 1.3.3 Technologia procesu mrożenia

W fazie rozruchu urządzeń uruchamiane są jednostki podstawowe instalacji mrozeniowej. Przed włączeniem dopływu czynnika chłodzącego (solanki) do pierścienia rozdzielczego należy wykonać wszystkie prace związane z kontrolą poprawności działania agregatów mrozeniowych, docieraniem sprężarek, odpowietrzeniem przewodów, sporządzeniem roztworu zamrażającego i próbnym biegiem pomp. Po stwierdzeniu poprawności działania wszystkich elementów instalacji mrozeniowej otwory mrozeniowe włącza się do obiegu solanki, po czym rozpoczyna się wziębianie roztworu zamrażającego od temperatury naturalnej do temperatury poniżej (0°C). Faza rozruchu charakteryzuje się wysoką chłonnością cieplną otworów mrozeniowych oraz wysoką temperaturą solanki schładzanej w parownikach. Praca sprężarek przebiega w warunkach mała stabilnych, ale przy maksymalnej wydajności cieplnej. Pod koniec fazy rozruchu temperatura solanki spada poniżej (-20°C).

Faza mrożenia aktywnego jest najdłuższym etapem procesu mrożenia. W jego trakcie średnia temperatura solanki osiąga (-32°C). Najniższa temperatura osiągana jest na wyjściu z parowników (-35°C), natomiast najwyższa na wyjściu z otworów (-27°C). Dla efektywności tego procesu kluczowe jest zapewnienie właściwych przepływów solanki w obiegu pierwotnym i wtórnym. Zamrażanie aktywne trwa do czasu osiągnięcia grubości ściany zamrożonej skały, umożliwiając bezpieczne głębianie szybu. W fazie tej następuje zamknięcie płaszczka mrozeniowego i jego stopniowy przyrost zarówno w kierunku osi szybu jak i na zewnątrz kręgu otworów mrozeniowych.

Faza mrożenia pasywnego prowadzona jest po osiągnięciu projektowanej grubości ściany zamrożonej skały. W tym okresie dąży się do utrzymania osiągniętej uprzednio grubości płaszczka mrozeniowego. W trakcie fazy mrożenia pasywnego należy utrzymać w pracy taką ilość sprężarek, aby temperatura solanki utrzymała się na stałym poziomie, wyższym aniżeli w trakcie fazy mrożenia aktywnego.

W trakcie trwania procesu mrożenia konieczne jest prowadzenie wzmożonej kontroli poprawności pracy agregatów mrozeniowych. Temperaturę solanki na wejściu do otworów mrozeniowych należy obniżać stopniowo, w taki sposób aby temperaturę docelową (-35°C) osiągnąć w trzecim miesiącu mrożenia.

Dla celów prowadzenia bezpiecznego głębiania szybu *Grzegorz* w strefie mrożonej należy spełnić następujące warunki:

- w chwili rozpoczęcia głębiania ociosy szybu muszą być zamrożone w każdej warstwie skalnej,
- przed dojściem przodka głębionego szybu do danej warstwy skalnej musi zostać osiągnięta wymagana grubość płaszczka mrozeniowego, charakterystyczna dla danej warstwy.

### 1.3.4 Kontrola procesu mrożenia

Celem kontroli jest potwierdzenie skuteczności procesu mrożenia zawadzionego górotworu oraz prawidłowości przyrastania płaszczka lodogruntu na kręgu mrozeniowym. Kontrola odbywa się za pomocą:

- pomiarów kontrolnych temperaturowych,
- otworów wiertniczych „odprężająco-odwadniających i kontrolnych”,
- pomiarów temperatury i obserwacji płaszczka mrozeniowego w przodku głębionego szybu.

Pomiary kontrolne temperaturowe polegają na pomiarze temperatury w otworach mrozeniowych oraz kontrolno-temperaturowych. Podstawę sieci pomiarowej stanowią otwory na promieniu kontrolnym, oraz dodatkowe otwory kręgu mrozeniowego. Celem pomiarów jest obserwacja przyrostu i stwierdzenie uzyskania wymaganej grubości płaszczka lodogruntu w poszczególnych warstwach skalnych. Zmiany temperatury będą rejestrowane w wyznaczonych do tego celu otworach w określonych cyklach pomiarowych. Pomiar temperatury należy prowadzić w kierunku z góry w dół, w interwałach co 5 m, od powierzchni terenu do głębokości 465 m. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów dla poszczególnych cykli pomiarowych należy wykreślić izoliny temperatury zamarzania skał w płaszczyźnie wyznaczonej przez promień kontrolny i oś szybu, następnie zaś obliczyć grubość płaszczka na poszczególnych głębokościach. W efekcie możliwe jest prowadzenie bieżącej kontroli zmian grubości płaszczka mrozeniowego. W celu zapewnienia poprawności przebiegu pomiarów należy:

- otwory mrozeniowe wyłączyć z obiegu solanki na 24-48 godzin przed pomiarem temperatury,
- w otworach kontrolno-temperaturowych pomiar prowadzić nie wcześniej niż po upływie 5 dni od wymiany stojącej solanki,
- liczbę cykli pomiarowych dostosować do rzeczywistego czasu prowadzenia mrożenia górotworu,
- w przypadku niewłaściwego przyrostu grubości ścianek płaszczka mrozeniowego częstotliwość i zakres pomiarów dostosować do aktualnej sytuacji.

Otwory wiertnicze „odprężająco-odwadniające i kontrolne” należy wiercić z dna szybu przed rozpoczęciem głębiania na kolejnych odcinkach. Długość otworów zawiera się w zakresie 80-300 m. Głębianie szybu będzie możliwe wyłącznie wtedy, gdy wyprzedzenie otworem „odprężająco-odwadniającym i kontrolnym” wyniesie, co najmniej 20m. Wiercenie otworów będzie prowadzone także poniżej głębokości mrożenia, aż do osiągnięcia docelowej głębokości szybu, w związku z występującym na całej długości głębiania szybu *Grzegorz* - III stopnia zagrożenia wodnego. Kontrola szczelności płaszczka mrozeniowego prowadzona będzie na podstawie obserwacji hydrogeologicznych w otworach. Po zakończeniu wiercenia danego otworu przeprowadzona zostanie próba szcerpania cieczy z otworu do dna oraz kontrola ewentualnego dopływu wód do otworu. W czasie kontroli mierzony będzie poziom cieczy w otworze lub ciśnienie hydrostatyczne na wy-

locie otworu. Przeprowadzone obserwacje umożliwią stwierdzenie istnienia łączności hydraulicznej pomiędzy jądrem płaszczka mroźeniowego, a warstwami wodonośnymi po zewnętrznej stronie płaszczka. Ponadto otwory „odprężająco-odwadniające i kontrolne” będą dodatkowo służyć do redukcji ciśnienia wody z soczewek niezamrożonej, przechłodzonej wody, które mogą utworzyć się w jądrze płaszczka, w związku ze wzrostem objętości lodu.

Pomiary temperatury i obserwacji płaszczka mroźeniowego w przodku przeprowadza osoba doзору górniczego. Pomiary temperatury prowadzić należy na ociosach w czterech miejscach na obwodzie szybu oraz w jądrze szybu we wszystkich warstwach skalnych danego zaboru. Ponadto należy odnotować wszystkie zjawiska występujące w przodku związane z procesem mrożenia górotworu takie jak wystąpienie gniazd niezamarzniętej wody, kropel solanki, wyciskania i pęknięcia ociosów oraz spągu.

Rozpoczęcie procesu rozmrażania należy uzależnić od czasu i warunków wynikających z głębienia szybu. Przewiduje się zastosowania rozmrażania naturalnego na skutek dootywu ciepła z niezamrożonego górotworu oraz z szybu. Kontrola rozmrażania ma na celu weryfikację poprawności przebiegu procesu oraz jego oddziaływania na górotwór. Podczas rozmrażania szybu Grzegorz zastosowana zostanie metoda pomiarów kontrolnych temperaturowych, analogiczna jak przy procesie mrożenia. Pomiary temperatury należy prowadzić w całym okresie rozmrażania w cyklach dwumiesięcznych.

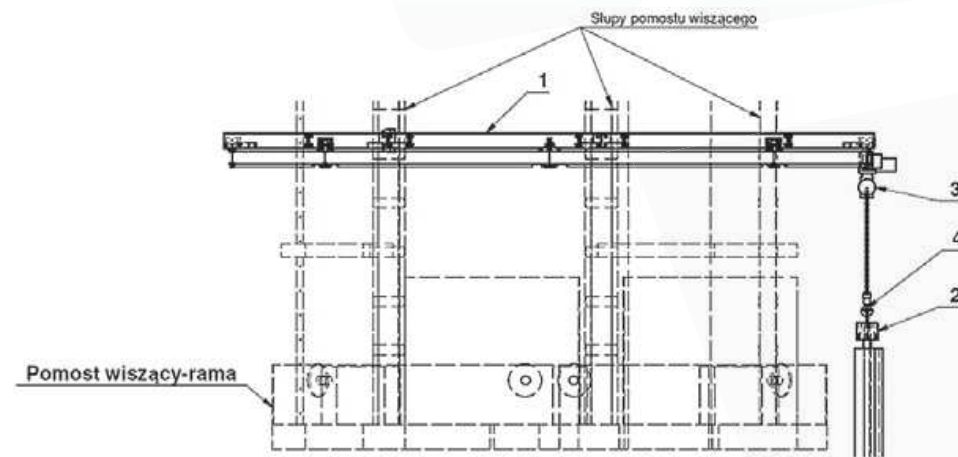
## 1.4 Urządzenie do zabudowy folii hydroizolacyjnej

Znaczne zawodnienie górotworu w rejonie szybu Grzegorz wymusiło zastosowanie w szybie warstwy hydroizolacyjnej. Obudowa szybu wykonana zostanie jako dwuwarstwowa z hydroizolacją oraz zespolona do głębokości 522 m, zaś poniżej jako zespolona z drenażem. Na odcinkach wlotów szyb będzie zabezpieczony obudową jednowarstwową.

Pomiędzy kolumnami obudowy zastosowana zostanie membrana hydroizolacyjna Sikaplan, w celu zapewnienia pełnej szczelności obudowy szybowej. Na każdym kolejnym odcinku przewidzianym do betonowania, gdzie uprzednio zdemontowano spinki do tężenia paneli, wykonuje się hydroizolację. Prace przy wykonaniu hydroizolacji („rozwijaniu folii” i zgrzewaniu) są prowadzone z podestu pomostu wiszącego – ramy napinającej oraz alternatywnie z podestów zabudowanych na odeskowaniu stalowym. Montaż hydroizolacji jest prowadzony z zastosowaniem urządzenia do podwieszania folii hydroizolacyjnej zabudowanego pod górnym podestem pomostu wiszącego – ramy napinającej. W celu wykonania hydroizolacji na zawieszeniu kubłowym na środkowy podest pomostu wiszącego – ramy napinającej opuszcza się przygotowaną na powierzchni rolkę z folią hydroizolacyjną. Po opuszczeniu rolki należy przepiąć ją na wciągnik zabudowany na jezdni urządzenia do podwieszania folii. Po rozwinięciu folii na całym obwodzie rury szybowej wykonuje się zgrzewanie poziome rozwiniętej folii na rurze szybowej z folią wykonaną przy poprzednim kroku betonowania. W kolejnym kroku prowadzi się zgrzewanie pionowe na tężeniu jej końców. Wysokość jednocześnie zgrzewanej folii wynosi około 4 m [4].

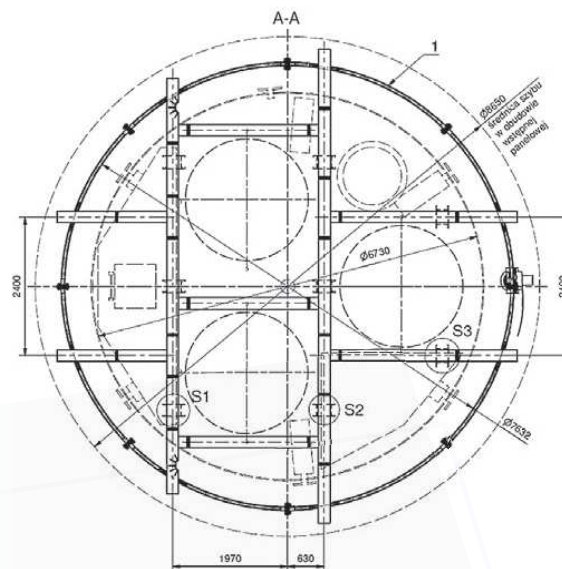
Urządzenie do podwieszania folii hydroizolacyjnej składa się z jezdni wykonanej z profilu walco-

wanego I155 podwieszanej do pomostu wiszącego – ramy napinającej. Po jezdni przemieszczać się będzie pneumatyczny wciągnik samojezdny PWS-3. Na haku wciągownika PWS-3 umieszczona będzie rolka do zawieszania folii hydroizolacyjnej. Zawieszenie jezdni do pomostu wiszącego zrealizowane będzie za pomocą ramy z profili walcowanych HEB200 wspartych na przewiązkach ośmiu słupów łączących. Przed zabudową urządzenia do podwieszania folii hydroizolacyjnej pomost należy odciążyć poprzez demontaż zbędnego wyposażenia o równoważnej masie, np. czerpaka ładowarki szybowej [4]. Konstrukcję urządzenia przedstawiono na rysunkach 1.6 i 1.7, zaś fotografię urządzenia zabudowanego w szybie, na rysunku 1.8.



Rys. 1.6 Rzut pionowy urządzenia do zabudowy folii hydroizolacyjnej zabudowanego na pomoście roboczym [4];

1 – jezdnia pneumatycznego wciągownika samojezdnego PWS-3, 2 – rolka do zawieszania folii hydroizolacyjnej, 3 – pneumatyczny wciągnik samojezdny PWS-3, 4 – szakła o nośności min. 1 t



Rys. 1.7 Rzut poziomy urządzenia do zabudowy folii hydroizolacyjnej zabudowanego na pomoście roboczym [4];

1 – jezdnia pneumatycznego wciągownika samojezdnego PWS-3



Rys. 1.8 Trasa urządzenia do rozwijania folii wraz z wciągnikiem PWS-3 [4]

## 1.5 Badania geofizyczne

Kontrola zjawisk zachodzących w zamrożonym górotworze jest istotna dla zapewnienia bezpieczeństwa całego przedsięwzięcia głębinienia szybów z zastosowaniem tej metody specjalnej. Nie jest to jednak łatwe zadanie. W celu usprawnienia monitoringu lodogruntu oraz samego procesu mrożenia przeprowadzono szereg badań geofizycznych i sprawdzono, które z nich mogą mieć zastosowanie do opisanych celów.

Do potencjalnych metod sejsmicznych, które uwzględniono należały [14-15]:

- pionowe profilowania prędkości średniej i interwałowej,
- tomografia międzyotworowa,
- interferometria fal rozproszonych,
- sejsmika fal powierzchniowych (tunelowych),
- sejsmika refleksyjna.

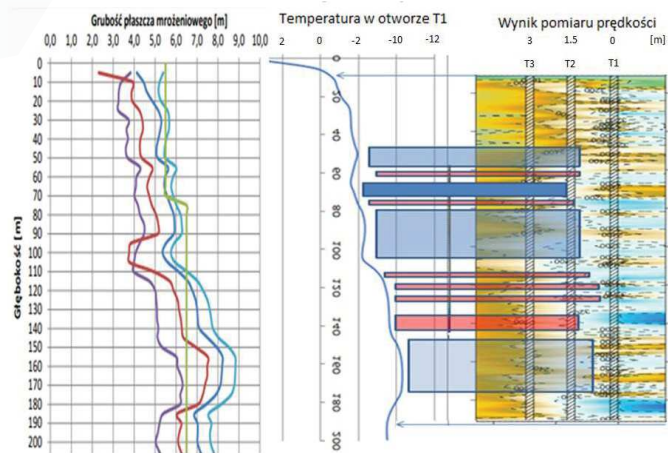
Spśród zaproponowanych, przedstawionych powyżej metod geofizycznych, które potencjalnie mogłyby znaleźć zastosowanie do monitoringu procesu mrożenia górotworu, za szczególnie obiecujące uznano metody interferometrii fal rozproszonych oraz pionowe profilowanie prędkości interwałowej.

Zastosowanie fal powierzchniowych pozwala estymować prędkość fali poprzecznej za obudową szybu, w obrębie kilku metrów. Natomiast obrazowanie sejsmiczne (sejsmika refleksyjna) na wybiegu głębinionego szybu pozwala zlokalizować występujące w górotworze zaburzenia oraz niektóre parametry warstw skalnych. Wczesne określenie zaburzeń, zwłaszcza w postaci uskoków może mieć kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa załogi pracującej w przodku szybowym, ale także mieć wpływ na kwestie ekonomiczne. Dokładne aplikacje opisanych metod należy rozważyć, odpowiednio zaprojektować i przetestować w warunkach rzeczywistych.

Zastosowanie metod interferometrii fal rozproszonych jest korzystne ze względu na możliwość prowadzenia monitoringu w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Wysoka wrażliwość na temperaturę może skutkować bardzo dokładnymi wskazaniami nieprawidłowości występujących w pracy instalacji mroźniowej. Kontrola prowadzona w ten sposób wymaga dalszych, długotrwałych badań oraz rozważenia kwestii finansowych. Finalnie można dojrzeć perspektywę jej zastosowania w przyszłych inwestycjach wykorzystujących metodę zamrażania górotworu [14-15].

Profilowanie prędkości interwałowej fali daje natomiast pogląd na kształt i wymiary płaszcza mroźniowego. Monitorowanie nie jest prowadzone w sposób ciągły, jednak okresowe pomiary mogą znaleźć zastosowanie, szczególnie, przy określeniu stanu płaszcza mroźniowego na kilkadziesiąt metrów poniżej przodka szybowego. Przykład korelacji mapy prędkościowej, rozkładu temperatury oraz wykresu rozrostu płaszcza mroźniowego przedstawiono na rysunku 1.9. Metoda ta pozwala przewidzieć ewentualne zagrożenia przed rozpoczęciem kolejnych etapów drążenia. Podobnie jak w przypadku interferometrii fal rozproszonych konieczne jest dopracowanie sposobu moni-

toringu oraz dokładna analiza opłacalności wykorzystywania takiego rozwiązania. Jest to jednak propozycja perspektywiczna i należy rozważyć jej zastosowanie podejmując w przyszłości prace z wykorzystaniem metody mrożenia górotworu [14-16].



Rys. 1.9 Korelacja graficzna mapy prędkościowej, rozkładu temperatury oraz wykresu rozrostu płaszcza mroźniowego

## 1.6 Podsumowanie

Każda duża inwestycja górnicza czy budowlana, mimo pozornych podobieństw, różni się od innych pod wieloma względami. Za taki stan rzeczy odpowiadają szczególnie zmieniające się warunki geologiczno-górniczne i indywidualne wymagania stawiane poszczególnym konstrukcjom. Nie inaczej sytuacja wygląda w przypadku szybu *Grzegorz*. To głębiane wyrobisko cechują wyjątkowo trudne warunki geologiczne, objawiające się przede wszystkim znacznym zawodnieniem. Przedsiębiorstwo Budowy Szybów SA ma w swoim portfolio ogromną ilość zgłębianych szybów, z których znakomita większość powstała na Śląsku, często także w niezwykle trudnych warunkach. Jednak czasy i uwarunkowania gospodarczo-polityczne zmieniają się, co sprawiło, że w ostatnich latach firma nie wykonywała zbyt wiele podobnych zadań. Stąd głębianie szybu *Grzegorz* stało się ogromnym wyzwaniem, któremu sprostać musieli projektanci oraz pracownicy dotowi PBSz. Obecna załoga przedsiębiorstwa musiała pozyskać niezbędną wiedzę w zakresie zastosowania metody specjalnej jaką jest mrożenie górotworu, gdyż nie miała możliwości wcześniej udziału w projektowaniu oraz głębianiu szybu z zastosowaniem tak rzadko stosowanej obecnie metody. Tymczasem projekt oraz prace dotyczące szybu *Grzegorz* cechuje wysoki poziom innowacyjności. Pośród nich wymienić należy zastosowanie ostatecznej wieży szybowej do głębiania szybu. Sam proces mrożenia także jest w pewnym sensie nowością w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, ponieważ w tym tysiącleciu jest to pierwsze zastosowanie tej metody. Gnający postęp technologiczny na rynku przemysłowym sprawił, że wymagania inwestora oraz specyfika zadania wymogła na załodze PBSz SA podjęcie innowacyjnych wyzwań. Efektem ich pracy jest znakomicie działająca technologia mrożenia górotworu oraz kontroli tego procesu. Przeprowadzono

także badania, które przyniosły ciekawe efekty w postaci perspektywicznych metod monitoringu zamrożonego górotworu. Innowacyjność cechuje nawet najmniejsze elementy technologii, w postaci urządzenia służącego do rozkładania folii hydroizolacyjnej, co pozwoliło zoptymalizować ten proces.

## 1.7 Bibliografia

- [1] Jara Ł., Beck M., Drabek J., Kuźma K., Wójcik P., Martyka J., Hajok M., Kamiński P.: *Szyb Grzegorz – raport z budowy*, Inżynieria Górnicza 1/2020, s. 32-37
- [2] Izidorczyk P., Kamiński P., Cichoń P.: *Szyb Grzegorz – raport z budowy. Wieża wyciągowa oraz górnice wyciągi szybowe*, Inżynieria Górnicza 4/2018, s. 60-62
- [3] Jara Ł., Beck M., Kamiński P.: *Szyb Grzegorz – raport z budowy. Instalacja mroźniowa*, Inżynieria Górnicza 2-3/2018, s. 47-49
- [4] Drabek J., Kuźma K., Kamiński P.: *Szyb Grzegorz – raport z budowy. Zabudowa folii hydroizolacyjnej*, Inżynieria Górnicza 4/2019, s. 54-58
- [5] Kostrz J.: *Głębianie szybów metodami specjalnymi*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1964
- [6] Kostrz J.: *Głębianie szybów*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2014
- [7] Harris J.S.: *Ground Freezing in Practice*, Thomas Telford Ltd., Londyn 1995
- [8] Więckowski A., Hajto D., Proficz P.: *Technika zamrażania gruntów i skał luźnych*, Przegląd budowlany, 3/2018, s. 16-19
- [9] Alzoubi M.A., Xu M., Hassani F., Poncet S., Sasmito A.: *Artificial ground freezing: a review of thermal and hydraulic aspects*, Tunnelling and Underground Space Technology, 104, 2020, 103534
- [10] Schmall P., Braun B.: *Ground Freezing - a Viable and Versatile Construction Technique*, Proceedings of the International Conference on Cold Regions Engineering. 1.11.2006, 10.1061/40836(210)29
- [11] Sanger, F.J.: *Ground Freezing in Construction*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 94, s. 131-158, 1968
- [12] Williams P.: *Frozen Ground Engineering (Second edition)*, Chichester: John Wiley & Sons, Hoboken 1994, ISBN 0-471-61549-8
- [13] Owczarek D., Wójcik P.: *Wiercenie otworów mroźniowych*, prezentacja na: International Mining Forum 2019, 11-12.04.2019, Katowice
- [14] Kamiński P.: *Optimization Directions for Monitoring of Ground Freezing Process for Grzegorz Shaft Sinking* IntechOpen, 2021, DOI: 10.5772/intechopen.95885
- [15] Matuła R., Czarny R.: *Raport. Wyniki zastosowania metod sejsmicznych podczas drążenia szybu Grzegorz. Etap I*, Kraków 2019 [niepublikowana]
- [16] Matuła R.: *Raport. Wykorzystanie metod sejsmicznych podczas drążenia szybu Grzegorz. Etap II*, Kraków 2019 [niepublikowana]