

30

PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW KLIMATYZACJI KOPALŃ PRZY ZASTOSOWANIU PROGRAMU KlimaSystem

WSTĘP

W polskich kopalniach podziemnych eksploatacja prowadzona jest na coraz większych głębokościach. Wiąże się to z pogorszeniem warunków klimatycznych w wyrobiskach. Głębokość eksploatacji stale rośnie i wiąże się ze wzrostem temperatury pierwotnej górotworu. W najgłębszych kopalniach temperatura pierwotna górotworu przekracza 50°C. W przyszłości prognozuje się dalsze pogarszanie warunków klimatycznych w kopalniach.

Poza temperaturą pierwotną górotworu na warunki klimatyczne w wyrobiskach wpływa szereg innych czynników. Należy do nich zaliczyć:

- zabudowane w wyrobiskach maszyny i urządzenia energomaszynowe,
- temperatura powietrza dopływającego do wyrobisk,
- czas przewietrzania wyrobiska,
- transportowany urobek,
- utleniające się skały (ich parametry termofizyczne),
- rurociągi transportujące różne media,
- parująca w wyrobisku woda,
- zmiany ciśnienia powietrza podczas przepływu wyrobiskami,
- desorpcja metanu.

Na stan zagrożenia klimatycznego wpływa także właściwe planowanie wykonywania wyrobisk podziemnych, racjonalna wentylacja wyrobisk oraz organizacja procesu technologicznego, a przede wszystkim transportu urobku i lokalizacji urządzeń elektrycznych.

W związku z koniecznością utrzymywania w wyrobiskach górniczych odpowiednich parametrów powietrza, w tym utrzymywania temperatury poniżej dopuszczalnych wartości w większości kopalń podziemnych niezbędne jest i będzie stosowanie układów klimatyzacji wyrobisk. Z punktu widzenia późniejszej eksploatacji

systemu klimatyzacji ważne jest, aby w przemyślany sposób przystąpić do jego projektowania. System klimatyzacji eksploatowany jest w kopalni zazwyczaj przez długi okres czasu. Ważne jest więc aby w miarę możliwości przewidzieć wszystkie zmiany jakie będą zachodziły w kopalni. Dobór średnic rurociągów i urządzeń odpowiedzialnych za rozptyw wody w sieci powinien być tak przeprowadzony, aby zapewnić długoletnią eksploatację systemu bez konieczności ciągłej modernizacji lub przebudowy.

Zaprojektowanie i wykonanie systemu klimatyzacji w kopalni nie jest ostatecznym warunkiem uzyskania spodziewanego efektu związanego z obniżeniem temperatury powietrza w miejscach pracy. Układ klimatyzacji wymaga odpowiedniej obsługi, celem uzyskiwania planowanych efektów chłodzenia oraz poprawnej efektywności energetycznej. Trudności związane z obsługą systemu klimatyzacji w kopalniach podziemnych wiążą się z ciągłym przemieszczaniem frontów eksploatacji. Na przestrzeni lat sieć rurociągów klimatyzacji ulega znaczącej zmianie w stosunku do stanu projektowego. Eksploatacja kończy się w pewnych polach eksploatacyjnych, w innych jest rozwijana.

Przemieszczanie się frontów eksploatacji powoduje, że wiele chłodziń musi być na bieżąco przebudowywanych celem zapewnienia chłodzenia w aktualnie prowadzonych robotach górniczych. Należy pamiętać, że służby kopalniane muszą reagować na zmieniającą się w sposób ciągły sieć rurociągów klimatyzacji. Obliczenia nie mogą być prowadzone, jak w przypadku np. wentylacji lutniowej, tylko dla wybranego wyrobiska, lecz muszą zawsze uwzględniać całą sieć. Pomimo możliwości zabudowy automatyki w układach klimatyzacji ważne jest odpowiednie planowanie jej wykorzystania, poparte potwierdzeniem możliwości realizacji. W wielu przypadkach bardzo przydatny może okazać się program komputerowy KlimaSystem [1], który został przedstawiony w niniejszym artykule.

Potwierdzeniem konieczności bieżącej kontroli systemów klimatyzacji kopalń są badania przeprowadzone w kopalniach, a prezentujące efektywność ich zastosowania [2]. Badania te wykazały, że rzeczywisty efekt zastosowania klimatyzacji (w postaci obniżenia temperatury powietrza) bardzo często jest niewielki. Między innymi z powodu nieprawidłowego rozptywu wody lodowej w sieci. Odpowiednie planowanie nad rozptywem wody lodowej jest kluczowe dla działania układu klimatyzacji. W sieciach o znacznym rozbudowaniu, bez wspomaganie procesu obliczeniowego, może być jednak zagadnieniem skomplikowanym.

PROJEKTOWANIE SYSTEMU KLIMATYZACJI

Wybór odpowiedniego dla warunków danej kopalni systemu klimatyzacji jest zagadnieniem złożonym i powinien zostać poparty szeroką analizą uwzględniającą takie czynniki jak:

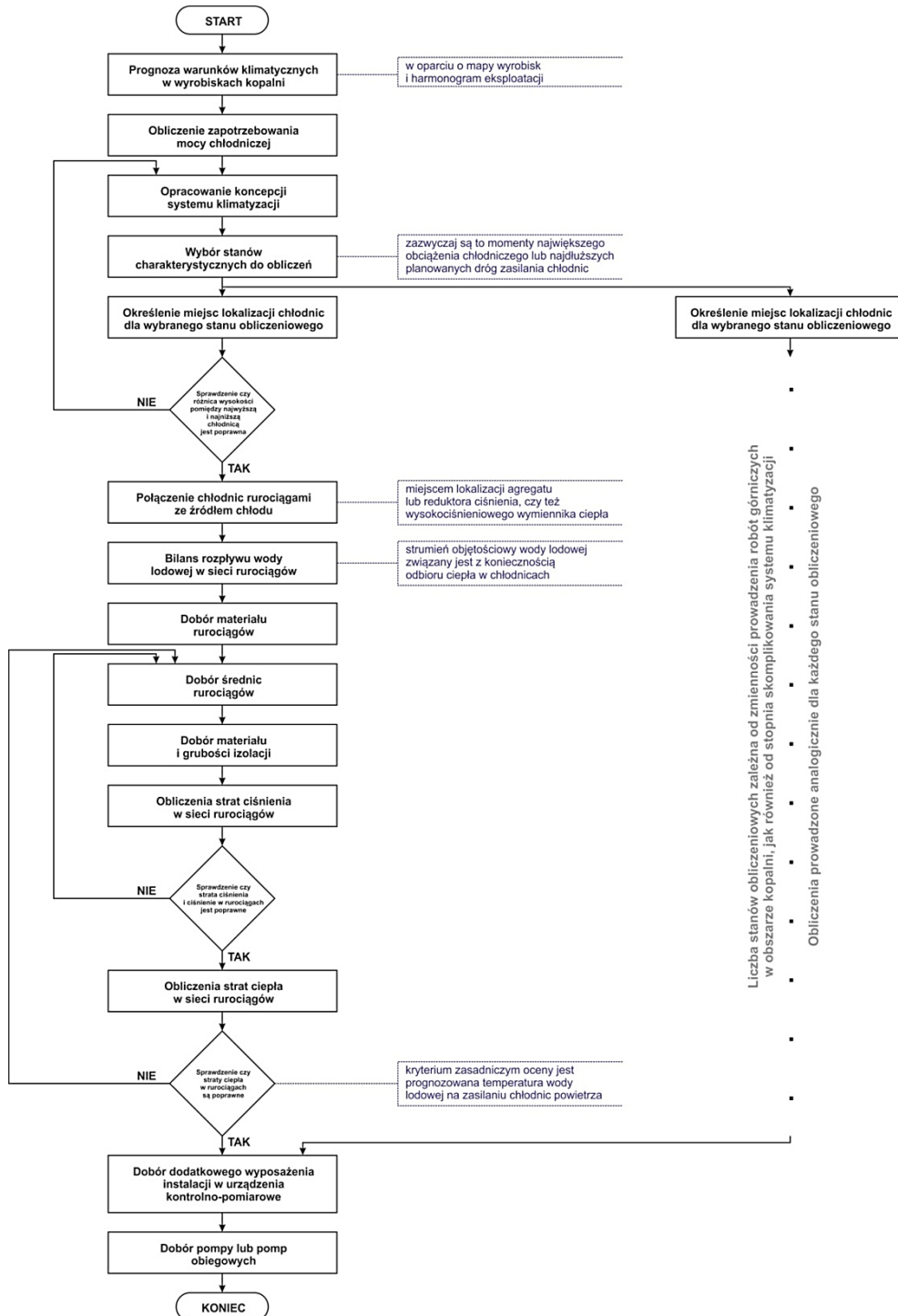
- prognozę warunków klimatycznych w wyrobiskach opartą o harmonogram robót przygotowawczych i eksploatacyjnych,
- kierunki rozwoju eksploatacji w kolejnych latach po uruchomieniu systemu klimatyzacji,
- obliczeniowe zapotrzebowanie chłodnicze w kolejnych latach eksploatacji,
- ocenę możliwości zabudowy urządzeń chłodniczych w wyrobiskach oraz na powierzchni,
- nakłady inwestycyjne.

Zdecydowanie jakie rozwiązanie systemu klimatyzacji będzie najlepiej odpowiadało warunkom danej kopalni bardzo często jest zadaniem trudnym. W takiej sytuacji opracowuje się różne koncepcje rozwiązania systemu i analizuje celem wskazania tej najbardziej dogodnej. Rozwiązanie koncepcji wiąże się w wykonaniem projektu klimatyzacji uwzględniającego szereg zagadnień. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- określenie ilości i miejsc lokalizacji chłodnic powietrza lub urządzeń chłodniczych w rejonach (w oparciu o wykonaną prognozę temperatury),
- połączenie miejsc lokalizacji chłodnic powietrza lub urządzeń chłodniczych z urządzeniem stanowiącym źródło chłodu (agregatem, reduktorem ciśnienia, wymiennikiem wysokociśnieniowym w zależności od systemu klimatyzacji) za pomocą rurociągów,
- wykonanie bilansu rozptywu wody lodowej/wody chłodzącej w sieci klimatyzacji (bilans wody wykonuje się w oparciu o zapotrzebowanie mocy chłodniczej w rejonach prowadzonej eksploatacji),
- dobór rurociągów systemu klimatyzacji (dobór średnic rurociągów, dobór materiału z jakiego wykonane są rury, określenie sposobu i parametrów izolacji rur, itd.),
- wykonanie obliczeń strat ciśnienia w sieci rurociągów klimatyzacji (w celu doboru pompy obiegowej lub pomp obiegowych zapewniających wymagany przepływ wody w sieci klimatyzacji),
- wykonanie obliczeń strat ciepła (chłodu) w sieci rurociągów klimatyzacji (obliczenie prognozowanych temperatur wody lodowej zasilającej chłodnicę oraz temperatury wody powrotnej z rejonów),
- dobór wyposażenia stanowiska klimatyzacji (filtry, armatura, zabezpieczenie instalacji),
- określenie miejsc i parametrów urządzeń odpowiedzialnych za rozptyw wody w sieci (nastawy na zasuwach/zaworach regulacyjnych).

Wszystkie obliczenia należy wykonać dla okresu, kiedy w systemie klimatyzacji wystąpią najtrudniejsze warunki związane z obciążeniem chłodniczym, długością rurociągów doprowadzających wodę do odbiorników ciepła (największym oporem

przepływu wody w instalacji).



Rys. 1 Schemat blokowy procesu projektowania systemu klimatyzacji

Bardzo ważne w czasie wykonywania projektu systemu klimatyzacji jest odpowiednie zaplanowanie przebiegu rurociągów systemu klimatyzacji do odbiorników ciepła. W praktyce w wyrobiskach dołowych nie stosuje się rurociągów przystosowanych do ciśnienia większego niż 40 bar. W związku z tym ważna jest odpowiednia lokalizacja chłodzińców powietrza względem siebie oraz względem miejsca lokalizacji źródła chłodu (agregatu chłodzińczego w klimatyzacji grupowej) czy też reduktora ciśnienia lub wysokociśnieniowego wymiennika ciepła (w klimatyzacji centralnej). W praktyce zakłada się, że różnica wysokości pomiędzy najwyższą, a najniższą zlokalizowaną chłodzińcą nie powinna przekraczać 250 m. W przeciwnym razie istnieje konieczność stosowania w obiegu dodatkowych reduktorów ciśnienia oraz dodatkowych pomp obiegowych wspomagających przepływ wody. Schemat blokowy projektowania systemu klimatyzacji przedstawiono na rysunku 1.

Oprócz projektowania systemów klimatyzacji w kopalniach bardzo często zachodzi potrzeba rozbudowy układów klimatyzacji. Powinna być ona również prowadzona zgodnie z zasadami podanymi w niniejszym artykule. Kolejnym zagadnieniem związanym z systemami klimatyzacji jest ich bieżąca rozbudowa. Rozwijająca się eksploatacja wymaga planowania zabudowy rurociągów w nowo wykonywanych wyrobiskach. Rurociągi te muszą posiadać odpowiednie średnice, takie aby straty ciśnienia w sieci rurociągów systemu klimatyzacji nie przekraczały możliwości zabudowanych zestawów pompowych. Rurociągi muszą również zapewnić odpowiednią temperaturę wody lodowej w miejscu podpięcia chłodzińców powietrza

Z uwagi na złożoność problemu związanego z projektowaniem i rozbudową systemu klimatyzacji bardzo pomocne może być zastosowanie oprogramowania komputerowego do obliczeń. Programem takim jest przykładowo program KlimaSystem [1]. Program pozwala na projektowanie nowych układów klimatyzacji, jak również rozbudowę istniejących układów. Program może być również przystosowany do współpracy z urządzeniami kontrolno-pomiarowymi zabudowanymi w układach klimatyzacji. i pozwalać przykładowo na sterowanie rozpyływem wody lodowej.

PROGRAM WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA KlimaSystem

Charakterystyka programu

Program umożliwia prowadzenie obliczeń przepływu wody w obiegach wody lodowej lub wody chłodzącej, zarówno w układach małej mocy, jak i rozbudowanych systemach klimatyzacji grupowej i centralnej. Program może być stosowany na komputerach pracujących w środowisku Windows (XP, Me, 7, 8, 8.1, 10) [1].

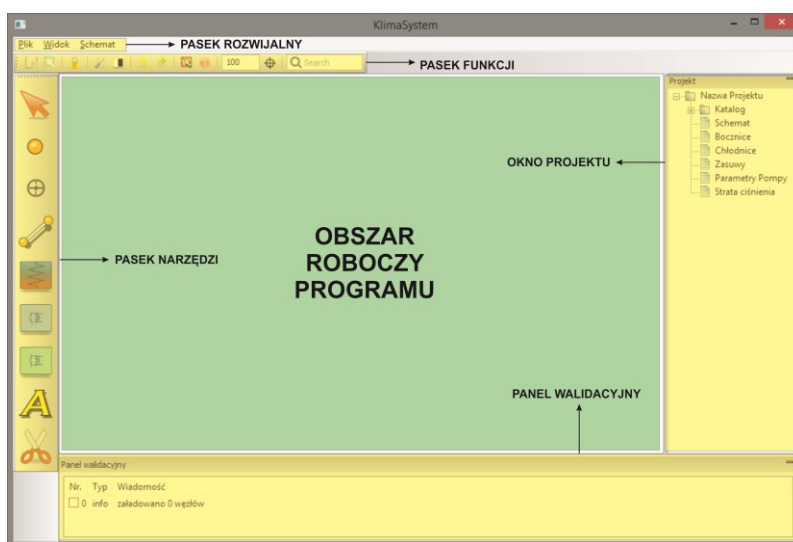
Widok okna głównego programu przedstawiono na rysunku 2.

W głównym oknie programu wyróżnić można:

- “Obszar roboczy”,
- “Pasek rozwijalny”,

- “Pasek funkcji”,
- “Pasek narzędzi”,
- “Okno projektu”,
- “Panel walidacyjny”.

Okno projektu zawiera zestawienie poszczególnych zakładek stanowiących projekt systemu klimatyzacji. Przełączanie poszczególnych zakładek w tym oknie powoduje wyświetlanie informacji w nich zawartych w obszarze roboczym programu. W oknie znajduje się również odwołanie do katalogu chłodziń i pomp, wbudowanego w programie. Na rysunku 2 przedstawiono domyślny widok okna głównego programu KlimaSystem. Program daje użytkownikowi możliwość dowolnego kształtowania układu okien.



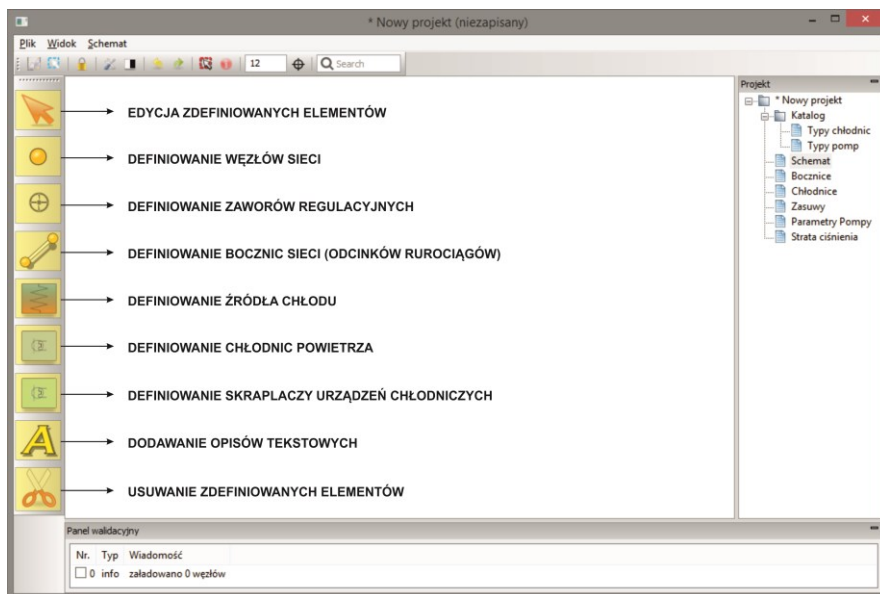
Rys. 2 Widok głównego okna programu KlimaSystem

Wprowadzenie sieci do programu odbywa się poprzez rysowanie schematu sieci (określenie lokalizacji źródła chłodu, dodawanie kolejnych węzłów, odcinków rurociągów, zabudowanych chłodziń, urządzeń chłodniczych i zaworów regulacyjnych). W czasie wprowadzania wszystkich elementów sieci program wymaga od użytkownika podania ich parametrów. Dodawanie kolejnych elementów sieci powoduje automatyczne ich wprowadzanie w poszczególnych zakładkach „Okna projektu” (zestawienie bocznice sieci, zestawienie chłodziń, zestawienie zaworów regulacyjnych). Użytkownik ma możliwość dowolnego konfigurowania wyświetlania danych na wykonanym schemacie. Obliczenia w programie wykonywane są w czasie rzeczywistym, co powoduje, że każda wprowadzona zmiana jest na bieżąco uwzględniana w obliczeniach, zarówno na schemacie graficznym, jak również w tworzonych zestawieniach tabelarycznych.

Wprowadzenie sieci do programu

W celu założenia nowej sieci klimatyzacji oraz modyfikacji wprowadzonych już sieci wykorzystywane są przede wszystkim opcje zawarte w pasku narzędzi. Powszechnie znane opcje w pasku narzędzi zostały przedstawione na rysunku 3.

Budowę i modernizację sieci klimatyzacji przeprowadza się poprzez dodawanie kolejnych jej elementów w „Obszarze roboczym programu” wybierając w „Oknie projektu” zakładkę „Schemat”. Parametry wszystkich zdefiniowanych elementów sieci są w czasie rzeczywistym tabelaryzowane i mogą być podglądane oraz edytowane za pomocą zakładek „Bocznice”, „Chłodnice” i „Zasuwy” w „Oknie projektu”. Zmiana parametrów zdefiniowanych elementów może być prowadzona również na rysunku schematu sieci klimatyzacji.



Rys. 3 Opcje paska narzędzi

Do podstawowych elementów definiowanych przez użytkownika programu należą:

- Węzły sieci – konieczne jest wprowadzenie parametrów węzła, takich jak numer węzła oraz jego kota niwelacyjna;
- Źródło chłodu – na tym etapie użytkownik musi określić:
 - typ pompy obiegowej zabudowanej w obiegu wody lodowej (pompa może być wybrana spośród pomp dostępnych z katalogu pomp dostępnych w programie, lecz w przypadku braku odpowiedniej pompy może zaistnieć konieczność dodania nowej pompy do katalogu, szczególnie w sytuacji współpracy kilku pomp pracujących w połączeniu równoległym),

- nazwę źródła chłodu,
- temperaturę wody lodowej na wejściu do sieci (temperaturę wody lodowej opuszczającej źródło chłodu),
- stratę ciśnienia związaną z przepływem wody lodowej przez źródło chłodu (strata ta powinna uwzględniać stratę związaną z dodatkowymi urządzeniami zabudowanymi na stanowisku źródła chłodu),
- maksymalny wydatek objętościowy wody w źródle chłodu (maksymalny wydatek objętościowy wody jaki może być kierowany do chłodnic powietrza zabudowanych w rejonach eksploatacyjnych);
- Bocznice sieci – dla każdej bocznicy (odcinka rurociągu) należy zdefiniować:
 - czy odcinkiem rurociągu płynie ciepła czy zimna woda (zasilanie czy powrót),
 - numer bocznicy,
 - długość odcinka rurociągu,
 - średnicę wewnętrzną rurociągu,
 - chropowatość bezwzględną rurociągu,
 - średnicę zewnętrzną rurociągu,
 - średnicę zewnętrzną rurociągu preizolowanego,
 - dodatkowy opór urządzenia zabudowanego w sieci,
 - średnią temperaturę powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,
 - strumień objętościowy powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,
 - średnią wilgotność właściwą powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,
 - średni przekrój poprzeczny wyrobiska, w którym zabudowane są rurociągi,
 - współczynnik przewodnictwa cieplnego materiału izolacji,
 - współczynnik przewodnictwa cieplnego rury;
- Chłodnice powietrza – dla każdej chłodnicy należy zdefiniować (użytkownik programu może wybrać chłodnicę z katalogu chłodnic dostępnych w programie):
 - moc chłodnicy,
 - stratę ciśnienia związaną z przepływem wody przez chłodnicę,
 - temperaturę wody lodowej na zasilaniu chłodnicy,
 - temperaturę wody lodowej na powrocie z chłodnicy,
 - strumień objętościowy wody doprowadzanej do chłodnicy (jest on obliczany w oparciu o pozostałe dane podane dla chłodnicy).

Po odpowiednim połączeniu zdefiniowanych chłodnic powietrza ze źródłem chłodu program dokonuje bilansu rozptywu wody w sieci rurociągów.

W sieci istnieje możliwość wpięcia dodatkowych elementów, takich jak chłod-

nice połączone szeregowo. Istnieje również możliwość zasilania z sieci rurociągów wody lodowej skraplaczy urządzeń chłodniczych. Wpięcie w sieć rurociągów skraplacza urządzenia chłodniczego nie powoduje zwiększenia strumienia objętości wody wymaganej w systemie klimatyzacji. Skraplacze takie są zazwyczaj chłodzone w układach klimatyzacji wodą powracającą z wodnych chłodnic powietrza. W układzie klimatyzacji istnieje możliwość zabudowania tzw. „Spinek”. Spinka ma na celu ograniczenie wzrostu ciśnienia wody w rurociągach oraz uniknięcia konieczności wyłączenia pomp obiegowych w przypadku awarii lub przebudowy chłodnic powietrza w danej partii – spełnia rolę „upustu bezpieczeństwa”. Umożliwia ona wyłączanie chłodnic w całym rejonie eksploatacji bez konieczności wyłączenia układu klimatyzacji.

W dowolnym momencie użytkownik programu może dokonać zmiany parametrów dla zdefiniowanych elementów sieci klimatyzacji. Zmiany można wykonać na rysunku sieci poprzez kliknięcie odpowiedniego elementu, którego parametry mają zostać zmienione lub poprzez zmianę parametrów w zestawieniach tabelarycznych. Elementy zdefiniowane na schemacie mogą być w dowolnym momencie przesuwane, bez konieczności ich rozbijania.

Przeglądanie danych i wyników obliczeń

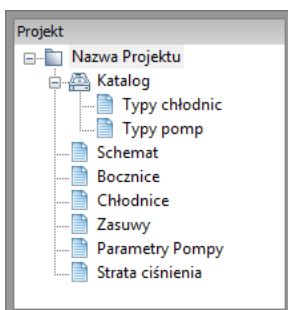
Do przeglądania i analizowania wyników obliczeń służy „Okno projektu”. W poszczególnych zakładkach „Okna projektu” komórki w zestawieniach tabelarycznych posiadają trzy kolory podświetlenia:

- kolor biały – oznacza komórki, które stanowią dane wprowadzone przez użytkownika programu (wartości w tych komórkach mogą być przez użytkownika programu edytowane),
- kolor szary – oznacza komórki, które stanowią wyniki obliczeń dokonane przez program (wartości w tych komórkach nie mogą być edytowane przez użytkownika).

W oknie projektu znajdują się następujące zakładki (widok „Okna projektu” przedstawiono na rysunku 4):

- Katalog (zdefiniowane chłodnice i zestawy pompy):
 - Typy chłodnic,
 - Typy pomp,
- Schemat,
- Bocznice,
- Chłodnice,
- Zasuwy,
- Parametry Pompy,
- Strata ciśnienia.

Przechodzenie pomiędzy poszczególnymi zakładkami „Okna projektu” powoduje wyświetlenie się danej zakładki w obszarze roboczym programu.



Rys. 4 Widok „Okna projektu”

Zakładka „Schemat” służy do rysowania oraz definiowania parametrów elementów wchodzących w skład sieci klimatyzacji. Służy ona również do późniejszego edytowania i modyfikowania sieci. Za pomocą funkcji „Zapis schematu do pliku graficznego” w „Pasku funkcyjnym” można dokonać zapisu całej sieci do pliku graficznego. Za pomocą funkcji „Zapis fragmentu schematu do pliku graficznego” w „Pasku funkcyjnym” można dokonać zapisu zaznaczonego fragmentu sieci do pliku graficznego.

Zakładka „Bocznice” stanowi zapis tabelaryczny struktury sieci klimatyzacji (przykład zapisu struktury sieci klimatyzacji przedstawiono na rysunku 5). W tabeli tej znajdują się zarówno informacje wprowadzone dla poszczególnych elementów systemu klimatyzacji, jak również wyniki obliczeń dla każdej z bocznic sieci (każdego z odcinków rurociągu). Kliknięcie w nazwę każdej z kolumn spowoduje sortowanie danych w tabeli względem wybranego parametru.

Tabela zawiera takie informacje jak:

- dane wprowadzone przez użytkownika programu:
 - numer bocznicy,
 - nazwę bocznicy,
 - numer wężła wlotowego,
 - kotę niwelacyjną wężła wlotowego,
 - numer wężła wylotowego,
 - kotę niwelacyjną wężła wylotowego,
 - długość odcinka rurociągu (długość bocznicy),
 - średnicę wewnętrzną rurociągu,
 - chropowatość bezwzględną rurociągu,
 - średnią temperaturę powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,

	Nr	Nazwa	Wlot i	Kota wlotu z m.n.p.m.	Wylot i	Kota wylotu, z m.n.p.m.	Długość rurociągu L m	Średnica wewnętrzna rurociągu d _w mm	Chropowatość bezwzględna rurociągu k mm	Średnia temperatura powietrza w wyrobisku t °C	Strumień objętościowy powietrza przepływający wyrobiskiem v m ³ /min	Wilgotność właściwa powietrza przepływającego wyrobiskiem e kg/kg	Przekrój poprzeczny wyrobiska F m ²	Średnica zewnętrzna rurociągu d _z mm	Średnica zewnętrzna rurociągu z izolacją d _z mm
1	1	01	01	-600	02	-600	50	250	0,5	20	6500	0,006	21,8	272	348
2	2	02	02	-600	01	-600	50	250	0,5	20	6500	0,006	21,8	272	272
3	3	03	02	-600	03	-600	250	250	0,5	20	6500	0,0065	21,8	272	348
4	4	04	03	-600	02	-600	250	250	0,5	20	6500	0,0065	21,8	272	272
5	5	05	03	-600	04	-600	400	250	0,5	21	6500	0,0075	21,8	272	348
6	6	06	04	-600	03	-600	400	250	0,5	21	6500	0,0075	21,8	272	272
7	7	07	04	-600	05	-680	1010	200	0,5	22	4000	0,0085	21,8	220	296
8	8	08	05	-680	04	-600	1010	200	0,5	22	4000	0,0085	21,8	220	220
9	9	09	05	-680	06	-740	1110	100	0,5	23	1500	0,015	17,8	114	190
10	10	10	06	-740	05	-680	1110	100	0,5	23	1500	0,015	17,8	114	114
11	11	11	06	-740	07	-720	1000	100	0,5	23	1500	0,014	17,8	114	190
12	12	12	07	-720	06	-740	1000	100	0,5	23	1500	0,014	17,8	114	114
13	13	13	05	-680	10	-660	125	150	0,5	23	3000	0,009	21,8	168	244
14	14	14	10	-660	05	-680	125	150	0,5	23	3000	0,009	21,8	168	168
15	15	15	10	-660	11	-780	175	150	0,5	23	2200	0,01	17,8	168	244
16	16	16	11	-780	10	-660	175	150	0,5	23	2200	0,01	17,8	168	168
17	17	17	11	-780	12	-700	815	150	0,5	23	1500	0,011	17,8	168	244
18	18	18	12	-700	11	-780	815	150	0,5	23	1500	0,011	17,8	168	168
19	19	19	12	-700	13	-800	400	150	0,5	24	1500	0,012	17,8	168	244
20	20	20	13	-800	12	-700	400	150	0,5	24	1500	0,012	17,8	168	168
21	21	21	13	-800	14	-720	350	100	0,5	24	1500	0,013	17,8	114	190
22	22	22	14	-720	13	-800	350	100	0,5	24	1500	0,013	17,8	114	114
23	23	23	14	-720	15	-820	350	100	0,5	25	1500	0,015	17,8	114	190
24	24	24	15	-820	14	-720	350	100	0,5	25	1500	0,015	17,8	114	114
25	25	25	11	-780	20	-740	515	150	0,5	24	800	0,012	17,8	168	244

	Współczynnik przewodnictwa cieplnego izolacji λx W/mk	Współczynnik przewodnictwa cieplnego rury λr W/mk	Strumień objętościowy wody Vw m ³ /h	Strumień masowy wody mw kg/s	Prędkość wody w rurociągu v m/s	Strata ciśnienia w rurociągu Ap kPa	Temperatura wody na wlocie do rurociągu tw °C	Przyrost temperatury wody w rurociągu Δtw °C	Temperatura wody na wlocie z rurociągu tz °C	Strata chłodu Δ°C kW
0,035	0,42	364,3	101,19	2,06	9,9	3,0	0,0	3,0	0,312	
0,42	0,42	364,3	101,19	2,06	9,9	19,3	0,0	19,3	0,867	
0,035	0,42	364,3	101,19	2,06	49,7	3,0	0,0	3,0	7,379	
0,42	0,42	364,3	101,19	2,06	49,7	19,3	0,0	19,3	4,297	
0,035	0,42	364,3	101,19	2,06	79,5	3,0	0,0	3,1	19,184	
0,42	0,42	364,3	101,19	2,06	79,5	19,3	0,0	19,3	17,208	
0,035	0,42	164,3	45,63	1,45	132,4	3,1	0,5	3,5	89,706	
0,42	0,42	164,3	45,63	1,45	132,4	18,4	0,3	18,7	66,298	
0,035	0,42	42,9	11,90	1,52	386,7	3,5	1,2	4,8	61,689	
0,42	0,42	42,9	11,90	1,52	386,7	18,5	0,9	19,4	45,981	
0,035	0,42	21,4	5,95	0,76	87,1	4,8	1,9	6,7	47,226	
0,42	0,42	21,4	5,95	0,76	87,1	18,7	1,5	20,2	36,847	
0,035	0,42	121,4	33,73	1,91	40,9	3,5	0,0	3,5	1,444	
0,42	0,42	121,4	33,73	1,91	40,9	18,0	0,1	18,0	10,472	
0,025	0,42	121,4	33,73	1,91	57,2	3,5	0,0	3,6	2,018	
0,42	0,42	121,4	33,73	1,91	57,2	17,9	0,1	18,0	14,380	
0,035	0,42	85,7	23,81	1,35	132,8	3,6	0,5	4,0	46,469	
0,42	0,42	85,7	23,81	1,35	132,8	17,3	0,6	17,8	35,063	
0,035	0,42	64,3	17,86	1,01	36,7	4,0	0,2	4,2	13,797	
0,42	0,42	64,3	17,86	1,01	36,7	17,2	0,5	17,7	36,075	
0,035	0,42	42,9	11,90	1,52	121,9	4,2	0,2	4,4	7,896	
0,42	0,42	42,9	11,90	1,52	121,9	17,2	0,5	17,7	26,515	
0,035	0,42	21,4	5,95	0,76	30,5	4,4	0,3	4,7	8,193	
0,42	0,42	21,4	5,95	0,76	30,5	16,7	1,2	18,0	30,796	
0,035	0,42	35,7	9,92	0,56	146,6	3,6	0,5	4,1	21,588	

Rys. 5 Widok zakładki „Bocznice”

- strumień objętościowy powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,
- średnią wilgotność właściwą powietrza przepływającego wyrobiskiem, w którym zabudowane są rurociągi,
- średni przekrój poprzeczny wyrobiska, w którym zabudowane są rurociągi,
- średnicę zewnętrzną rurociągu,
- średnicę zewnętrzną rurociągu z izolacją,
- współczynnik przewodnictwa cieplnego materiału izolacji,
- współczynnik przewodnictwa cieplnego rury,
- wyniki obliczeń wykonane przez program dla każdego odcinka sieci:
 - strumień objętościowy wody przepływającej rurociągiem,
 - strumień masowy wody przepływającej rurociągiem,
 - prędkość wody w rurociągu,
 - stratę ciśnienia w rurociągu,
 - temperaturę wody na wlocie do rurociągu,
 - przyrost temperatury wody w rurociągu,

- temperaturę wody na wylocie z rurociągu,
- stratę chłodu w rurociągu.

Zakładka „Chłodnice” stanowi spis tabelaryczny wszystkich chłodnic zabudowanych w sieci klimatyzacji (przykład przedstawiono na rysunku 6). W tabeli tej znajdują się zarówno informacje wprowadzone dla poszczególnych chłodnic, jak również wyniki obliczeń dla każdej z nich. Tabela zawiera takie informacje jak:

- dane wprowadzone przez użytkownika programu (lub wybrane z katalogu chłodnic):
 - liczba porządkowa,
 - nazwa chłodnicy lub urządzenia chłodniczego,
 - założona moc chłodnicza,
 - moc chłodnicy wynikającą z katalogu producenta,
 - założona temperatura wody na zasilaniu chłodnicy,
 - założona temperatura wody na powrocie z chłodnicy,
 - wydatek objętościowy wody lodowej zasilającej chłodnicę,
 - kota niwelacyjna lokalizacji chłodnicy,
 - strata ciśnienia w chłodnicy,
- wyniki obliczeń wykonane przez program:
 - sposób wpięcia chłodnicy lub urządzenia chłodniczego w sieć,
 - wydatek masowy wody lodowej zasilającej chłodnicę,
 - założona różnica temperatur,
 - obliczeniowa temperatura wody na zasilaniu chłodnicy,
 - obliczeniowa temperatura wody na powrocie z chłodnicy,
 - obliczeniowa moc chłodnicy,
 - strata ciśnienia w rurociągu doprowadzającym wodę do chłodnicy,
 - strata ciśnienia w rurociągu odprowadzającym wodę z chłodnicy,
 - suma strat ciśnienia na doprowadzeniu i odprowadzeniu wody z chłodnicy,
 - różnica kot niwelacyjnych pomiędzy źródłem chłodu a miejscem lokalizacji chłodnicy.

W związku z tym, że chłodnica może nie uzyskać założonej mocy chłodniczej, co może być spowodowane między innymi doprowadzeniem do niej wody o zbyt wysokiej temperaturze program prognozuje możliwą do uzyskania moc chłodniczą. W przedstawionym na rysunku 6 zestawieniu można zauważyć, że użytkownik wybrał z katalogu chłodnicę o mocy 300 kW. W związku z tym, że do chłodnic tych planuje doprowadzić mniejszy niż wynika z katalogu wydatek wody moc zmniejszy się do 210 kW, ale pod warunkiem, że parametry wody lodowej na doprowadzeniu będą odpowiednie. W związku z tym, że prognozowana temperatura wody lodowej jest wyższa niż 6°C chłodnica może nie uzyskać założonej mocy chłodniczej (na możliwość odbioru odpowiedniej mocy cieplnej wpływają jeszcze takie parametry jak:

parametry ciepłno-wilgotnościowe w miejscu lokalizacji chłodnicy, czystość jej wy-miennika, czy też wydatek powietrza przepływającego przez chłodnicę, jednak to związane już jest z lokalnymi warunkami występującymi w wyrobisku oraz sposo-bem eksploatacji urządzenia przez służby kopalniane).

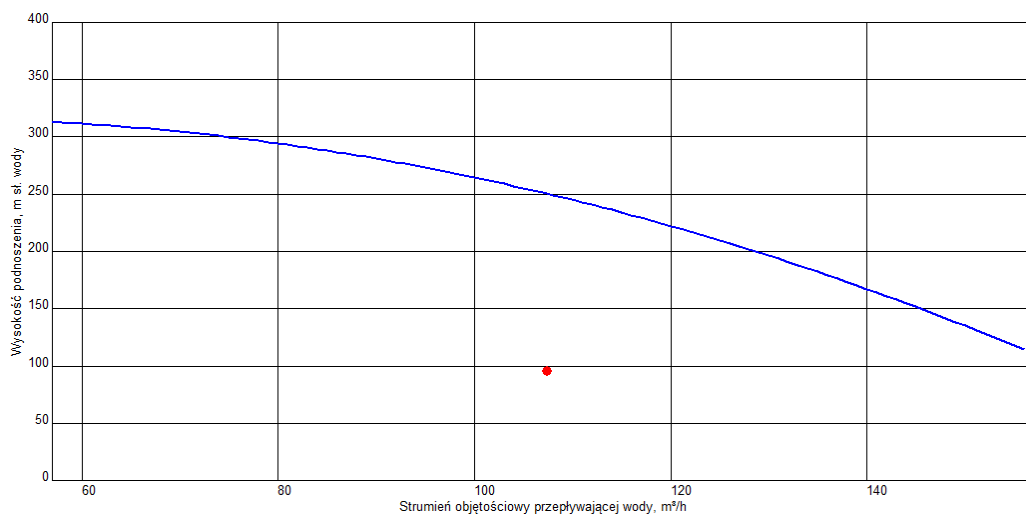
	Nazwa chłodnicy	Wpicie	Zał. Moc kW	Zał. Moc kat. kW	Zał. Temp. wody na zasilaniu °C	Zał. Temp. wody na powrocie °C	Wydatek masowy wody lodowej kg/s	Wydatek objętościowy wody lodowej m ³ /h	Kota niwelacyjna lokalizacji chłodnicy m n.p.m	Zał. różnica temperatur °C
3	CP-300 nr 1	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-600	12,0
2	CP-300 nr 2	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-685	12,0
6	CP-300 nr 3	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-630	12,0
1	CP-300 nr 4	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-620	12,0
5	CP-300 nr 5	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-590	12,0
4	CP-300 nr 6	Rown	210	300	6,0	18,0	4,17	15,00	-600	12,0
					Obliczeniowa Temp. wody na zasilaniu °C	Obliczeniowa Temp. wody na powrocie °C	Obliczeniowa moc chłodnicy kW			
					6,4	18,0	202,5			
					8,0	18,0	173,8			
					6,3	18,0	204,9			
					6,7	18,0	197,4			
					4,6	16,6	209,5			
					4,5	16,5	209,5			

Rys. 6 Zakładka „Chłodnice” w „Oknie projektu”

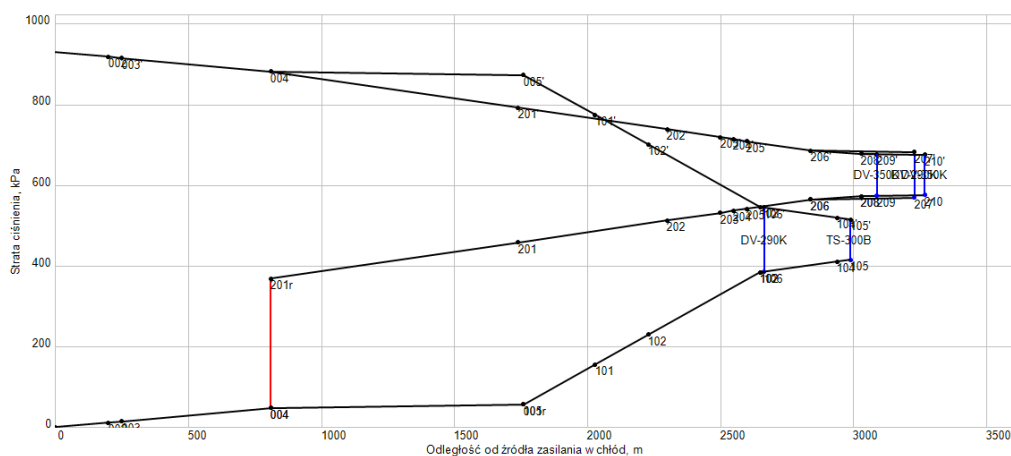
Zakładka „Zasuwy” stanowi spis tabelaryczny wszystkich zasuw zabudowa-nych w sieci klimatyzacji (zarówno zasuw zabudowanych na trasie rurociągów, jak i zasuw zabudowanych na chłodnicach powietrza). Dla każdej zasuw podana jest wartość nastawy (koniecznej do uzyskania straty ciśnienia), która zapewni żądany rozptyw wody lodowej w sieci klimatyzacji.

Zakładka „Parametry pompy” zawiera charakterystykę układu pompowego wbudowanego w obieg wody lodowej systemu klimatyzacji wraz z zaznaczeniem punktu pracy (wymaganego wydatku objętościowego przepływu oraz wysokości podnoszenia). Przykładową charakterystykę współpracy pompy i sieci rurociągów systemu klimatyzacji przedstawiono na rysunku 7. W przedstawionym przykładzie pompa zapewni odpowiednie parametry celem uzyskania wymaganego rozptywu w sieci rurociągów.

Zakładka „Strata ciśnienia” zawiera wykres przedstawiający rozkład strat ci-śnienia w sieci w funkcji odległości od źródła chłodu. Przykładowy rozkład strat ci-śnienia w sieci przedstawiono na rysunku 8. Odcinki czarne na schemacie reprezen-tują stratę ciśnienia na rurociągach, niebieskie to strata ciśnienia w chłodnicy, nato-miast czerwone związane są ze stratą ciśnienia na zasuwach regulacyjnych.



Rys. 7 Widok zakładki „Parametry pompy”



Rys. 8 Widok zakładki „Strata ciśnienia”

Funkcje dodatkowe

Wyniki obliczeń wykonanych z wykorzystaniem programu KlimaSystem mogą być eksportowane do pliku arkusza kalkulacyjnego Excel.

W programie opracowano „Panel walidacyjny”. Jego głównym zadaniem jest informowanie użytkownika o ewentualnych nieprawidłowościach występujących w sieci klimatyzacji. W panelu tym wyświetlają się następujące komunikaty:

- liczba węzłów sieci,
- spadek prędkości wody lodowej w bocznicy poniżej wartości 0,5 m/s,
- wzrost prędkości wody lodowej w bocznicy powyżej wartości 2,0 m/s,
- przekroczenie wydatku objętościowego zdefiniowanego dla źródła chłodu.

Wyświetlające się komunikaty nie powodują zatrzymania obliczeń wykonywanych przez program. Mają na celu informowanie użytkownika o występujących nie-

prawidłowościach oraz mogą stanowić ważną informację z punktu widzenia optymalizacji sieci klimatyzacji.

Przeprowadzone obliczenia mogą być wyeksportowane z programu w formie raportu. Po wybraniu tej funkcji należy wskazać obszar schematu, w kształcie prostokąta, w którym powinny się znajdować chłodnice lub urządzenia chłodnicze, dla których ma zostać wygenerowany raport. W poszczególnych polach okna generowania raportu należy uzupełnić dodatkowe dane dla danego wariantu obliczeń. Po wybraniu lokalizacji pliku i wpisaniu jego nazwy zostanie wygenerowany raport w postaci pliku Word. Raport taki może stanowić uzupełnienie dokumentacji kopalnianej w zakresie chłodzenia powietrza w wyrobiskach. Wygląd (szablon raportu) może zostać przystosowany do wymagań danej kopalni. Zawiera on również katalog sposobów montażu chłodnic, który można dowolnie rozbudowywać o kolejne rysunki.

Wspomaganie projektowania klimatyzacji z wykorzystaniem programu KlimaSystem

Program KlimaSystem jest szczególnie przydatny do prowadzenia obliczeń w sieciach o znacznym stopniu skomplikowania, gdzie rozbudowa sieci oraz bieżąca obsługa może stanowić zagadnienie trudne dla służb kopalnianych. Najczęściej takie sieci występują w układzie klimatyzacji grupowej lub centralnej.

Zmianom ciągle ulegała struktura rurociągów w systemie klimatyzacji. Na przestrzeni lat sumaryczna długość rurociągów obiegu dołowego jest zmienna. Zmieniają się także długości rur o poszczególnych średnicach.

Istotnym aspektem w czasie planowania rozbudowy układu klimatyzacji są straty ciśnienia w sieci rurociągów związane ze stratami ciśnienia przy przepływie wody lodowej. W celu uzyskania wymaganego rozprywu wody lodowej pompa bardzo często wymaga odpowiedniego sposobu regulacji parametrów pracy. Najczęściej jest to regulacja dławieniowa lub regulacja z zastosowaniem zmiennej prędkości obrotowej. Z punktu widzenia czasu użytkowania układu klimatyzacji w kopalni ważne jest przeanalizowanie spodziewanych oporów w sieci rurociągów na etapie projektu klimatyzacji, tak aby zbudować pompę o parametrach pozwalającą za wieloletnie eksploatację systemu klimatyzacji.

Kolejnym ważnym aspektem jest wysokościowa lokalizacja chłodnic względem źródła chłodu. W praktyce przyjmuje się, że różnica wysokości przy zabudowie najwyższej i najniższej zabudowanej chłodnicy nie powinna przekraczać 250 m. Zależy to oczywiście również od oporów przepływu występujących w sieci oraz tego czy układ po stronie obiegu wtórnego jest układem otwartym czy zamkniętym.

Bardzo ważne jest, aby do chłodnic powietrza dopływała woda o korzystnych parametrach temperaturowych. Temperatura ta powinna wynosić około 5-6°C. Przeprowadzone w programie obliczenia pozwalają na prognozę temperatury dopływającej

do chłodnic. W przypadku, gdy spodziewane są wysokie temperatury wody można odpowiednio zareagować zwiększając grubość izolacji, czy też dokonać zmian w rozpięciu wody.

Program KlimaSystem do obliczeń rozpięciu wody lodowej w sieci rurociągów układu klimatyzacji kopalni znacząco ułatwia pracę związaną z projektowaniem systemu klimatyzacji. Obliczenia prowadzone w programie są szczególnie przydatne przy bieżącym rozbudowywaniu systemu klimatyzacji kopalni.

PODSUMOWANIE

Systemy klimatyzacji kopalń podziemnych poddawane są ciągłym przebudowom. Eksploatacja wymaga zarówno przebudowy rurociągów systemu klimatyzacji, jak również miejsc lokalizacji zabudowanych chłodnic. Poprawna praca systemu związana jest przede wszystkim z uzyskaniem odpowiedniego rozpięciu wody lodowej. Do chłodnic powietrza doprowadzać trzeba odpowiedni wydatek wody lodowej o odpowiednich parametrach temperaturowych. Zabudowa chłodnic w nowych rejonach wymaga wykonania obliczeń, celem uzyskania żądanego rozpięciu. W odróżnieniu od przykładowo projektu wentylacji wyrobisk ślepych czy można w sieci rurociągów rozważać jakiegokolwiek wycinka sieci, tylko trzeba rozważać całą sieć.

Prowadzenie obliczeń w sieci klimatyzacji z wykorzystaniem przedstawionego programu jest ułatwione, ponieważ na bieżąco przy wprowadzaniu zmian są aktualizowane obliczenia. Dodatkowo można wydrukować metrykę wyrobiska z wybranymi chłodnicami i dołączyć np. do projektu chłodzenia rejonu ściany czy wybranego wyrobiska przygotowawczego. Taka metryka uwzględnia obliczenia rozpięciu całej sieci.

Niezależnie od obliczeń należy okresowo w kopalniach wykonywać audyt klimatyzacji dla sprawdzenia jakie są rzeczywiste opory rurociągów w sieci. Pozwoli to na wskazanie czy w sieci klimatyzacji występują rurociągi, które wymagają wymiany.

Artykuł zrealizowano w ramach prac statutowych 11.11.100.005

LITERATURA

1. KlimaSystem, Instrukcja obsługi programu do obliczeń rozpięciu wody lodowej w sieci rurociągów układu klimatyzacji kopalni KlimaSystem, Kraków. 2016
2. Szlązak Nikodem, Obracaj Dariusz, Swolkień Justyna, Metody klimatyzacji wyrobisk górniczych w polskim górnictwie. Materiały XXV Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2016, Kraków, dysk optyczny, s. 1-20. 2016

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2018

PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW KLIMATYZACJI KOPALŃ PRZY ZASTOSOWANIU PROGRAMU KlimaSystem

Streszczenie: *W polskich kopalniach podziemnych stosowane są różne systemy klimatyzacji. Zwiększająca się głębokość eksploatacji, a co za tym idzie pogarszające się warunki klimatyczne będą wymagały dalszego ich stosowania. Skuteczność działania systemu zależy od poprawnego jego zaprojektowania. Równie istotna jest także jego bieżąca obsługa. Efekt chłodzenia powietrza w rejonach prowadzonych robót jest możliwy do uzyskania tylko przy zapewnieniu odpowiednich parametrów rozplywu i temperatury wody lodowej doprowadzanej do chłodnic. W przypadku ciągłej zmiany struktury sieci rurociągów dołowych jest to trudne do realizacji. Prowadzenie obliczeń w skomplikowanych sieciach jest utrudnione. Pomocne w takim przypadku może być zastosowanie programu komputerowego, jakim jest program KlimaSystem.*

Słowa kluczowe: *projektowanie, systemy klimatyzacyjne, KlimaSystem*

DESIGNING MINE COOLING SYSTEMS USING KlimaSystem SOFTWARE

Abstract: *In the Polish underground mines different types of mine cooling systems are used. In the future, parameters of air climate conditions is going to be worse, so using air cooling systems will be required. The effectiveness of the system depends not only on the correct design. Very important is also current service. Effectiveness of air cooling system depends of many factors. But key influence have distribution of water. To air coolers should be delivered enough cold water. When the structure of mine cooling system is complicated it could be difficult. Then for calculations might be used computer software, like a KlimaSystem.*

Key words: *design, air conditioning systems, KlimaSystem*

Nikodem Szlżak

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: szlżak@agh.edu.pl

Dariusz Obracaj

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: obracaj@agh.edu.pl

Marek Korzec

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: mkorzec@agh.edu.pl

Justyna Swolkień

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: swolkien@agh.edu.pl