

**„Instalacja energetyczna
wytwarzająca w układzie skojarzonym
prąd elektryczny, ciepło i chłód
dla potrzeb podziemnej
klimatyzacji
KWK Pniówek“**

mgr inż. Bernard Barteczko
dr inż. Stanisław Nawrat
mgr inż. Henryk Rzepski
dr inż. Jürgen Schöler

MULTIENERGETYKA. Wytwarzanie w skojarzeniu prądu elektrycznego, ciepła i chłodu dla potrzeb podziemnej klimatyzacji KWK Pniówek

mgr inż. B.Barteczko¹, dr hab.inż. S.Nawrat², mgr inż. H.Rzepski³, dr inż. J.Schöler⁴

W roku 2000 wykonana została dla KWK Pniówek pierwsza centralna klimatyzacja kopalni. Wytwarzanie chłodu w układzie chłodziarek absorpcyjno – sprezarkowych, w którym energia napędowa jest ciepło i energia elektryczna, wytwarzane wyłącznie z kopalnianego gazu metanowego w agregacie prądo- i ciepłotwórczym sprawia, iż instalacja jest unikatem na skalę światową.

Kopalnia Węgla Kamiennego „Pniówek”, zgrupowana w strukturach Jastrzebskiej Spółki Węglowej S.A. (JSW SA) została uruchomiona w 1974 roku i jest wiodącym zakładem wydobywczym JSW S.A., o dobowym wydobyciu ponad 14 000 ton węgla koksowego typu 35,1. W skład załogi KWK Pniówek wchodzi około 6000 pracowników, a jej zasoby operatywne sięgają 125 mln ton. Od kilku lat kopalnia osiąga dodatnia akumulację na sprzedaży węgla, sukcesywnie poprawiając swoje wyniki.

Eksploatacja bogatych złóż węgla związana jest z codziennym zmaganiem się załogi z wieloma zagrożeniami naturalnymi, w tym zagrożeniem metanowym spowodowanym jedną z najwyższych w skali światowej metanonośnością występujących złóż węglowych. Podczas wydobywania w KWK Pniówek uwalnia się rocznie ok. 126 mln m³ gazu metanowego.

Eksploatacja pokładów węgla odbywa się ponadto w bardzo trudnych warunkach klimatycznych. Ze względu na występujące uwarunkowania geotermiczne, jak również głębokość prowadzonej eksploatacji w wielu wyrobiskach przekroczona zostaje temperatura 28°C, dopuszczona przepisami prawa górniczego jako maksymalna na stanowiskach pracy. Skutkuje to skróconą do 6 h roboczodniówka dla około 40 % załogi dolowej, zatrudnionej w ścianach i chodnikach.

¹ mgr inż. Bernard Barteczko, członek zarządu SFW Energia Sp. z o.o.

² dr hab. inż. Stanisław Nawrat, Jastrzebska Spółka Węglowa SA

³ mgr inż. Henryk Rzepski, prezes zarządu Spółki Energetycznej „Jastrzebie” SA

⁴ dr inż. Jürgen Schöler, zarządzający realizacją przedsięwzięcia „Pniówek” i kierownik działu techniki ciepłej SFW GmbH

Stosowane dotychczas profilaktyczne środki zaradcze dla poprawy trudnych warunków klimatycznych, to jest intensywna wentylacja podziemi kopalni oraz lokalnie stosowane w ścianach i chodnikach urządzenia chłodnicze o łącznej zainstalowanej mocy chłodniczej 2 400 kW, okazują się niewystarczające.

Klimatyzacja pod ziemią

W celu zapewnienia egzystencji KWK Pniówek i zagwarantowania długofalowo, pewnych miejsc pracy dla załogi, jak również w celu obniżenia kosztów wydobycia, JSW S.A. zdecydowała się na alternatywne rozwiązanie, tj. na centralną klimatyzację kopalni Pniówek ze zlokalizowaną na powierzchni instalacją wytwórczą. Wytwarzana w niej woda zimna transportowana jest rurociągami do podziemi kopalni, do chłodnic woda/powietrze zlokalizowanych w newralgicznych miejscach pracy wymagających schładzania, skąd odbiera powietrze ciepło. Ogrzana woda jest transportowana z powrotem na powierzchnię, gdzie obieg rozpoczyna się od początku.

Zadanie inwestycyjne opiewające na ok. 50 mln zł podzielone zostało na część wytwórczą, powierzchniową - realizowaną w funkcji inwestora przez Spółkę Energetyczną „Jastrzebie” S.A. oraz podziemną, przesyłową - realizowaną w tej samej funkcji przez JSW S.A. i KWK Pniówek, wchodzącą w jej strukturę.

Innowacyjna koncepcja

W grudniu 1998 roku Spółka Energetyczna „Jastrzebie” (SEJ), spółka zależna JSW SA zleciła usługodawcy energetycznemu SFW GmbH, działającemu w strukturach niemieckiego RAG Saarberg AG, zaprojektowanie i wykonanie w systemie „pod klucz” powierzchniowej instalacji chłodniczej.

SFW GmbH wraz ze swoją polską spółką zależną - SFW Energia z Gliwic – przekonała do siebie zleceniodawcę przede wszystkim zaoferowaną koncepcją techniczną instalacji.

Składa się ona z dwóch równolegle połączonych i prawie identycznych modułów, zwanych dalej fazami rozbudowy, które zapewniają dyspozycyjną moc chłodniczą 5 MW na dole kopalni w fazie końcowej, w postaci wody zimnej o temperaturach na zasilaniu i powrocie odpowiednio 1,5 i 18°C. Ilustracja nr 1 przedstawia charakterystyczne parametry techniczne instalacji chłodniczej.

W niniejszej koncepcji na uwagę zasługuje niezwykle sposób wytwarzania wody zimnej, realizowany poprzez szeregową połączenie dwóch chłodziarek

absorpcyjnych (AKM) i jednej sprężarkowej (KKM). Ciepło zasilające AKM jest wytwarzane w silnikowym agregacie prądo- i ciepłotwórczym (BHKW) na gaz metanowy o mocy elektrycznej 3,2 MW i cieplnej 3,5 MW, instalowanym po jednej sztuce w każdej fazie rozbudowy. Jest więc to instalacja energetyczna współwytwarzająca w skojarzeniu prąd, ciepło i chłód (KWKK). Uproszczony układ technologiczny 1 fazy rozbudowy instalacji chłodniczej w KWK Pniówek przedstawia ilustracja nr 2. W porównaniu z dotychczas wykonanymi instalacjami pracującymi w układzie skojarzonym, w danym przypadku ciepło odzyskiwane z układu chłodzenia silnika o temperaturze 85°C (woda ciepła) doprowadzane zostaje wyłącznie do AKM 1.

AKM 2 wykorzystuje w całości ciepło o temperaturze 125°C (woda gorąca), odzyskiwane ze spalin silnika.

W celu zapewnienia optymalnej pod względem ekonomicznym i ekologicznym eksploatacji instalacji, zrealizowano piec trybów ruchowych, umożliwiających doprowadzenie ciepła do chłodziarek bądź to z agregatów BHKW, bądź też z kopalnianej sieci ciepłowniczej lub odwrotnie, to jest wyprowadzanie ciepła z instalacji do sieci. Zapewnione są ponadto warianty pracy pośredniej, w ramach których wzajemne subsydiowanie ciepła z instalacji i z zewnętrznej sieci może odbywać się w dowolnych proporcjach. Powyższe gwarantuje dla wszystkich trybów ruchowych stopień wykorzystania energii chemicznej paliwa na poziomie ok. 80 % oraz ciągłość w dostarczaniu medium chłodzącego.

Realizacja zadania

Projektowanie wykonawcze odbywające się drogą ścisłych uzgodnień pomiędzy SFW GmbH / SFW Energia oraz SEJ rozpoczęte zostało w grudniu 1998 roku, a definitywnie zakończone we wrześniu 1999 roku.

Ze względu na dużą masę AKM osadzono je na nowo wykonanej konstrukcji stalowo-betonowej na poziomie +0,5 m. Chłodziarki sprężarkowe wypełnione czynnikiem chłodniczym NH₃ umieszczone zostały na nowo wykonanym stropie na poziomie + 6 m w specjalnej obudowie, której wentylacja wymuszona, w razie ewentualnej awarii i uwalniania się par NH₃ umożliwia ich bezpośrednie odprowadzenie do otoczenia. Przynależne do chłodziarek wymienniki ciepła wody chłodzącej, jak również układ stabilizacji ciśnienia i uzupełniania wody systemu wody zimnej zostały umieszczone na poziomie + 6 m. Wymienniki ciepła wody chłodzącej

sa przyłączone po stronie pierwotnej do otwartego, kopalnianego systemu wody chłodzącej. Ze względu na możliwe zanieczyszczenia wody chłodzącej po stronie pierwotnej zainstalowano dla każdej fazy rozbudowy po dwa tytanowe, płytowe wymienniki ciepła wraz z filtrami na wlocie.

Ze względu na dużą masę własną modułu silnika agregatu i generatora wynoszącą ok. 45 ton, jak również ze względu na system orurowania układu wydechowego, tłumik spalin i wymiennik ciepła, silnik został zainstalowany na konstrukcji stalowo-betonowej na poziomie +0,5 m. Wymienione elementy układu wydechowego, jak również wymienniki ciepła BHKW zostały umieszczone na nowo wykonanym stropie pośrednim (poziom + 6 m). Bocznik w układzie wydechowym umożliwia wyprowadzenie spalin bezpośrednio do otoczenia, o ile niepotrzebne jest ciepło ze spalin. Powietrze chłodzące oraz do procesu spalania w BHKW płynie z czerpni pionowo w dół wymurowanymi kanałami i przy pomocy wentylatora osiowego wtłaczane jest do maszynowni agregatu BHKW. Wylot powietrza zlokalizowany jest po przeciwległej stronie niż wlot, przy czym tłumiki kulisowe, przez które następuje wydmuch, redukują hałas do dopuszczalnego poziomu. Instalacja doprowadzenia powietrza do spalania wyposażona została w kombinowany wymiennik ciepła dla jego schładzania lub ogrzewania. Dzięki temu możliwa jest eksploatacja silnika w różnych warunkach klimatycznych, zawsze w jego optymalnym punkcie znamionowym pracy.

Uruchomienie pierwszej fazy rozbudowy rozpoczęto zgodnie z planem w dniu 03.05.2000. Pierwsza synchronizacja z siecią kopalnianą 6,3 kV oraz zasilanie jej mocą elektryczną około 1,1 MW nastąpiło dnia 19.05.2000. Następne dwa tygodnie poświęcono na optymalizację nastaw silnika BHKW, w szczególności celem uzyskania najwyższej skuteczności startów przy każdorazowo różnej jakości gazu kopalnianego.

Równoległe miało miejsce uruchomienie instalacji chłodniczej wraz z serią prób części hydraulicznej i testów funkcyjnych. Po zakończeniu optymalizacji agregatu BHKW, tj. począwszy od dnia 25.05.2000 instalacja chłodnicza mogła zostać po raz pierwszy sprężona z agregatem BHKW.

W trakcie okresu uruchomienia i ruchu próbnego dowiedziono, że instalacja osiąga umowne parametry ruchowe oraz że wymienione tryby ruchowe potwierdzają się w eksploatacji. W grudniu 2000 roku nastąpił odbiór drugiej finalnej fazy rozbudowy.

Instalacja energetyczna KWKK w kopalni Pniówek oferuje więc nadzwyczaj szerokie spektrum możliwości eksploatacyjnych i zapewnia nieprzerwanie, 24-godzinny na dobę, skuteczne zasilanie w chłód.

Finezyjna technika, prosta obsługa

Sterowany procesorowo centralny układ zarządzania oferuje - obok w pełni zautomatyzowanej regulacji i sterowania całej instalacji - również protokolowanie, archiwizację i wizualizację różnych parametrów ruchowych. Instalacja ta może być eksploatowana w sposób bezproblemowy przez jedną osobę personelu ruchowego na zmianę.

Ilustracja nr 3 przedstawia przegląd całej instalacji, graficzne odwzorowanie procesów technologicznych z dnia 11.08.2000 godz. 7.25. W danym momencie instalacja chłodnicza pracuje z sumaryczną mocą chłodniczą 2837 kW, strumień objętościowy wody zimnej wynosi 153 m³/h, a temperatury zasilania/powrót wynoszą odpowiednio 3,4 i 19,3°C. Chłodziarka AKM1 schłodziła wodę zimną z 19,3 na 15,2°C, AKM 2 z 15,2 na 5,6°C, a chłodziarka sprężarkowa KKM z 5,6 na 3,4°C. Możliwe jest naturalnie dalsze obniżenie temperatury wody zimnej, jednakże znamionowa temperatura zasilania 1,5°C może być osiągnięta jedynie przy zachowaniu znamionowego strumienia objętościowego 148m³/h oraz temperatury powrotu w wysokości 18°C.

Doswiadczenia eksploatacyjne

Codzienna praktyka wykazała, że sterowanie układem jest bardzo elastyczne, a układ monitoringu pozwala śledzić, kontrolować i wybierać tryb ruchowy systemu zdalnie, co pozwala zminimalizować liczbę personelu obsługującego.

Z uwagi na zmniejszone zapotrzebowanie kopalni na chłód w okresie zimowym, nadwyżka ciepła pochodząca z odzysku z jednego z silników wyprowadzana jest do systemu ciepłowniczego kotłowni. Pozwala to zmniejszyć zużycie paliwa węglowego na wytworzenie gorącej wody.

Płynna regulacja mocy biernej, produkowanej przez generatory pozwala na prawidłową gospodarkę energią elektryczną w systemie elektroenergetycznym kopalni Pniówek. Parametry pracy generatorów są regulowane przez obsługę

skojarzonego układu według wytycznych dyspozytora rozdzielni głównej RG2 kopalni.

W trakcie eksploatacji układu klimatyzacji pojawiło się jednakże kilka problemów, rozwiązanie których czeka zespół osób związanych z budową i eksploatacją centralnej klimatyzacji oraz układów pomocniczych.

Jednym z takich zadań jest zapewnienie stabilnej koncentracji mieszanki gazowej CH_4 . Kilka przypadków nagłych i następujących z dużą prędkością zmian koncentracji, zarówno jej wzrostu jak też spadku, spowodowało wyłączenia silników gazowych. Jednocześnie sytuacje te potwierdziły bezproblemowe, szybkie przełączanie chłodziarek absorpcyjnych AKM na zasilanie z układu kotłowni.

Trwają obecnie prace przygotowawcze do wprowadzenia do obiegu wody zimnej inhibitorów korozji. Woda pitna, która jest w tym obiegu oraz która się uzupełnia, ma własności korodujące. Dla zapewnienia długoletniej pracy tego układu niezbędne jest wprowadzenie środka spowalniającego procesy korozyjne i zabezpieczającego powierzchnie wewnętrzne urządzeń i instalacji przed jej wpływem.

Kilkumiesięczna eksploatacja potwierdziła prawidłowość przyjętych rozwiązań technicznych. Osiągane parametry pracy mieszczą się w granicach gwarantowanych.

Ekologia i ekonomia wreszcie w parze. Podsumowanie

Dla podziemnej klimatyzacji KWK Pniówek wykonano unikatową i pilotażową instalację multienergetyczną, wytwarzającą w skojarzeniu prąd elektryczny, ciepło i chłód. Ciepło dla potrzeb chłodziarek absorpcyjnych wytwarzane jest w dwóch silnikowych agregatach prądo- i ciepłotwórczych, zasilanych gazem kopalnianym, o mocy elektrycznej ok. 6,4 MW. Energia elektryczna wytworzona przez agregat wykorzystywana jest na pokrycie zapotrzebowania własnego, a nadwyżka wynosząca ok. 5,6 MW zasila elektryczną sieć kopalniana.

Ilustracja nr 4 przedstawia bilans energetyczny dla instalacji KWKK dla 1. fazy rozbudowy w KWK Pniówek. Przedstawienie istotnych dla tego procesu strumieni energii uwiadamia koncepcję jednoczesnego wytwarzania w skojarzeniu energii elektrycznej, ciepła i chłodu.

Do zalet koncepcji całosciowej nalezy zaliczyc:

- wytwarzanie ok. 41 000 MWh/rok energii chłodniczej na cele podziemnej klimatyzacji w koncowej fazie rozbudowy,
- poprawa warunków i bezpieczeństwa pracy na dole, jak również wzrost efektywności produkcji przez wydłużenie czasu pracy (przyczynę do zapewnienia rentownego wydobycia węgla),
- wykorzystanie odpadowego gazu kopalnianego jako paliwa do wytwarzania całej energii, a w ten sposób redukcja wydmuchu gazu kopalnianego do atmosfery o ok. 8 mln m³/rok,
- redukcja opłat z tytułu korzystania ze środowiska, między innymi za wydmuch gazu kopalnianego,
- wysoki stopień wykorzystania energii chemicznej paliwa wynoszący ok. 80%, a więc mniejsze o cztery razy zapotrzebowanie energii elektrycznej na wytwarzanie chłodu w porównaniu z instalacją chłodziarek sprężarkowych,
- mniejsza o ok. 50 % emisja CO₂ w porównaniu z tradycyjną elektrownią węglową o tej samej mocy elektrycznej,
- oszczędności naturalnych zasobów energii pierwotnej – elektrownia węglowa o takiej samej mocy elektrycznej zużyłaby ok. 16 000 ton/rok węgla,
- brak emisji SO₂ - gaz kopalniany nie zawiera siarki,
- nadwyżka energii elektrycznej w wysokości ok. 2,8 MW w każdej fazie rozbudowy, pozwalająca na redukcję zakupu energii elektrycznej o ok. 42 000 MWh/rok w fazie finalnej,
- krótki czas realizacji, wynoszący tylko 18 miesięcy, wliczając plynnie przeprowadzone uruchomienie,
- wysoka dyspozycyjność instalacji chłodniczej dzięki możliwości pokrycia całego lub częściowego zapotrzebowania ciepła przez sieć grzewczą kopalni i pobór energii elektrycznej z kopalnianej sieci elektrycznej,
- utrzymanie 80 % stopnia wykorzystania energii chemicznej paliwa w agregacie BHKW, również przy obciążeniu częściowym lub podczas postoju instalacji chłodniczej poprzez możliwość oddania całości lub części produkowanej energii cieplnej do kopalnianej sieci grzewczej.

Autorzy dziękują wszystkim osobom i firmom biorącym udział w projekcie za ich zaangażowanie oraz za dobrą współpracę podczas realizacji niniejszego, wyznaczającego nowe standardy projektu.

**Charakterystyczne parametry techniczne
instalacji energetycznej KWKK w kopalni Pniówek.
Obciążenie nominalne.**



	Jedno- stka	Faza rozbu- dowy 1	Faza rozbu- dowy 2	razem
Instalacja chłodnicza				
Medium chłodzące		woda	woda	Woda
Moc chłodnicza pod ziemią	KW	2500	2500	5000
Moc chłodnicza na powierzchni	KW	2850	2850	5700
Temp. zimnej wody zasilającej ¹⁾	°C	1,5	1,5	1,5
Temp. zimnej wody powrotnej ¹⁾	°C	18	18	18
Strumień objęt. wody zimnej	m ³ /h	148	148	296
Moc chłodnicza AKM1 wzgl. 3	KW	530	530	1060
Moc chłodnicza AKM2 wzgl. 4	KW	1750	1750	2500
Moc chłodnicza KKM1 wzgl. 2	KW	570	570	1140
Ciepło kondensacji razem	KW	6510	6510	6510
Agregat BHKW				
Paliwo		Gaz kopalniany	Gaz kopalniany	Gaz kopalniany
Koncentracja CH ₄ w paliwie	% obj.	50-60	50-60	50-60
Wślad – en. chemiczna paliwa	KW	8442	8442	16884
Moc elektryczna	KW	3194	3194	6388
Moc cieplna	KW	3500	3500	7000
Stopień wykorzystania energii chemicznej paliwa	%	ca. 80	ca. 80	ca. 80
Emisja ²⁾				
- CO ³⁾	mg/m ³	< 650	< 650	< 650
- NOx ³⁾	mg/m ³	< 500	< 500	< 500
- NMHC ⁴⁾	mg/m ³	< 150	< 150	< 150

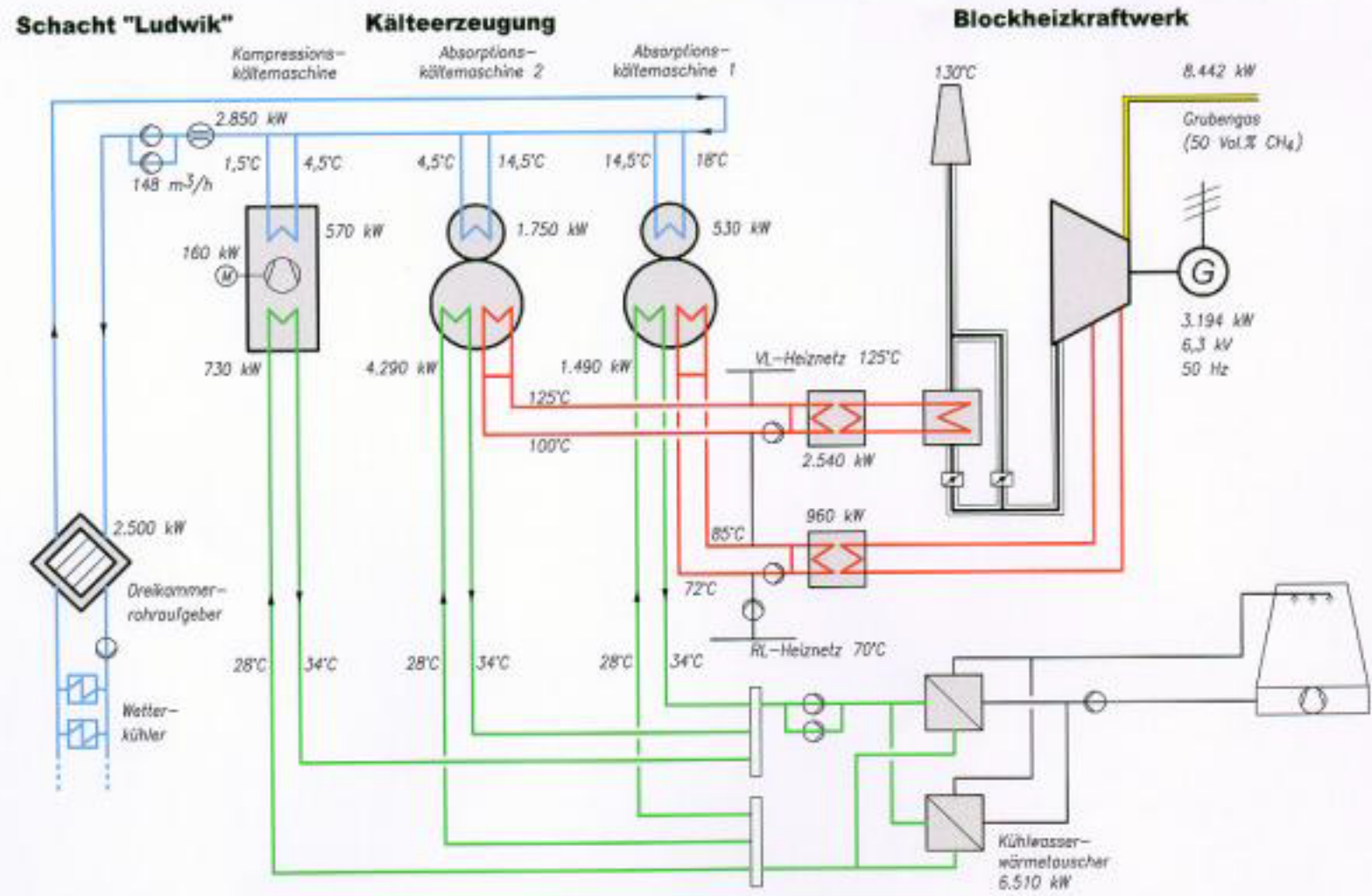
¹⁾ na powierzchni

²⁾ brak emisji SO₂

³⁾ w odniesieniu do zawartości 5 % obj. O₂ w spalinach

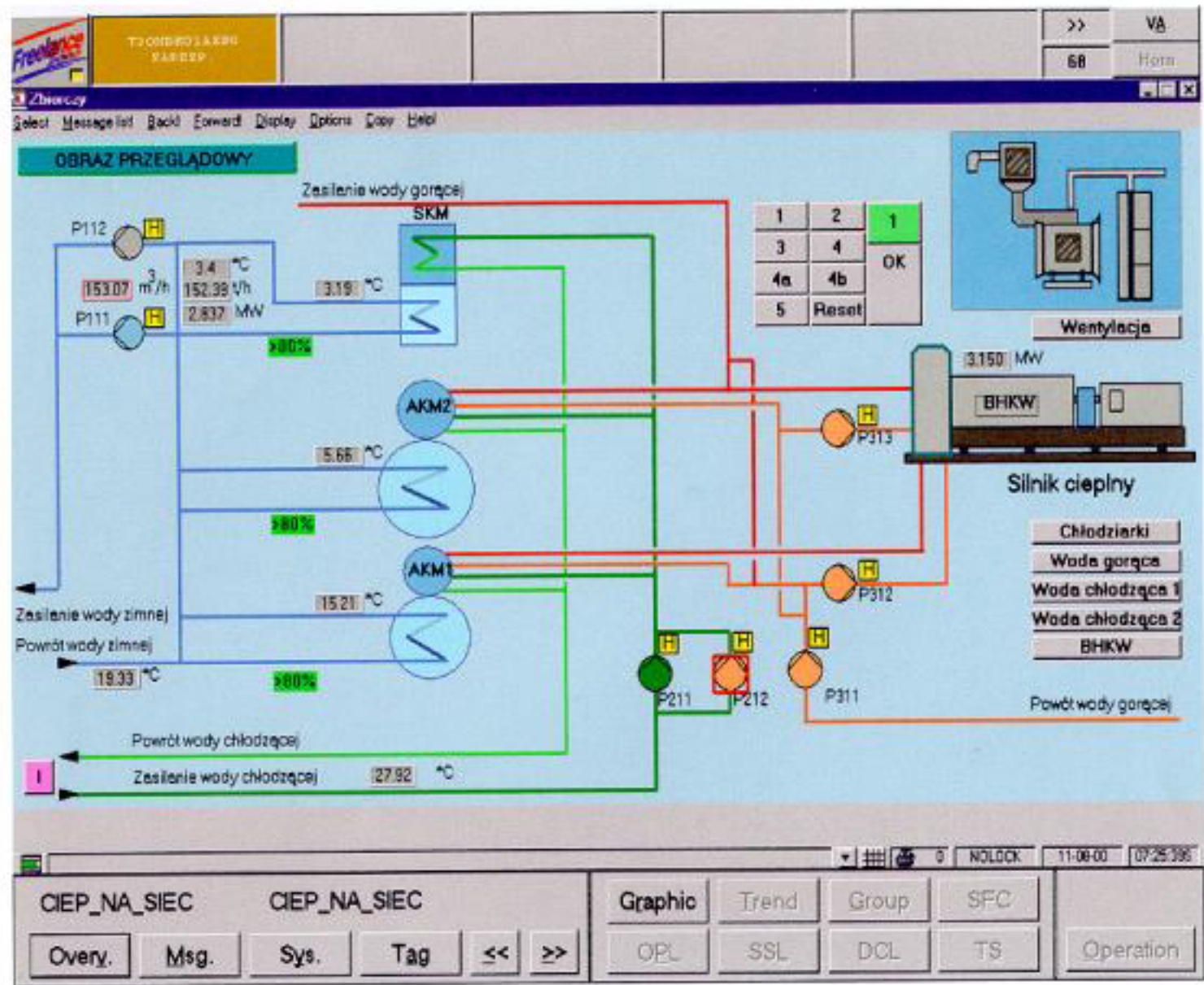
⁴⁾ węglowodory aromatyczne bez zawartości metanu

Uproszczony układ technologiczny 1 fazy rozbudowy instalacji energetycznej
KWKK w kopalni Pniówek (faza rozbudowy 2 jest identyczna, dołączona równolegle)



Ilustracja nr 2

Parametry eksploatacyjne instalacji energetycznej KWKK w kopalni Pniówek
Przegląd całości instalacji z dnia 11.08.2000, godz. 7.25, faza rozbudowy 1



Ilustracja nr 3

Wykres Sankey'a dla instalacji energetycznej KWKK w kopalni Pniówek

Faza rozbudowy 1

