

Czesław JĘDRUSYNA

Centralne Biuro Konstrukcji Kotłów
w Tarnowskich Górach

ODZYSK CIEPŁA W PIECACH ŁUKOWO - OPOROWYCH

Streszczenie. Przedstawiono wykonane dotychczas prace nad odzyskiem ciepła z pieców łukowo - oporowych w Hucie "Łaziska". Omówiono uzasadnienie wyboru konstrukcji kotła, parametrów czynnika grzewczego oraz wykorzystania odzyskanego ciepła. Specjalną uwagę poświęcono oczyszczaniu powierzchni ogrzewalnej z osadzającej się krzemionki z wykorzystaniem najnowszej techniki światowej w tym zakresie. Przedstawiono rysunki koncepcyjne kotła oraz schematy obiegu wody we współpracującej instalacji.

1. WPROWADZENIE

Konieczność oszczędzania paliw i energii, zmusza do poszukiwania niewykorzystanych dotychczas źródeł ciepła i zagospodarowania ich zasobów. Jednym z takich źródeł jest ciepło odpadowe, powstające w piecach łukowo - oporowych w czasie procesu wytopu żelazostopów. Główną przyczyną dotychczasowego niewykorzystania tego ciepła w kraju była stosunkowo niska temperatura gazów wylotowych z pieców /przy stosowaniu pieców systemu otwartego/ oraz trudności z usuwaniem z powierzchni grzejnych pyłów krzemionkowych, powstających w procesie produkcji żelazostopów. Rozwiązanie tych problemów może umożliwić odzyskanie traconego dotychczas ciepła i wykorzystanie go zarówno w obiegu cieplnym huty lub odsprzedawanie go sąsiadującej z hutą elektrowni, która z własnych źródeł /z wykorzystaniem pary pierwotnej/ zabezpiecza potrzeby Łazisk Górnych i KWK w zakresie ciepłej wody użytkowej i centralnego ogrzewania.

Przedstawiony w referacie projekt instalacji odzysku i zagospodarowania ciepła powstającego w procesie produkcji żelazostopów jest rozwiązaniem prototypowym, opracowanym w tym zakresie po raz pierwszy w kraju. Poprzez doszczelnienia pieca /kotła/ przedmiotowy projekt rozwiązuje problem podniesienia temperatury spalin w kołpaku kotła, a przez wprowadzenie do kołpaka kotła okresowych drgań powietrza wytwarzanych w specjalnym poddźwiękowym urządzeniu - umożliwia usuwanie osadzającej się na powierzchniach grzejnych krzemionki. Powyższe stwarza szansę odzysku części traconej do tychczas energii i jej wykorzystania w obiegu ciepłowniczym huty względnie w stacji ciepłowniczej El. "Łaziska". Rozwiązanie problemu odzysku ciepła, powstającego w czasie produkcji żelazostopów, posiada również doniosłe znaczenie dla Huty "Łaziska" jako jednostki zajmującej się eksportem tego typu pieców. Zaproponowanie oferty pieca łącznie z odzyskiem i wykorzystaniem ciepła odpadowego podnosi wartość i atrakcyjność oferty, a tym samym Huta "Łaziska" może w przyszłości stać się liczącym się partnerem w rozmowach kontraktowych na rynkach zagranicznych. Przebadanie prototypu i sprawdzenie w eksploatacji poprawności i pewności działania instalacji posiada więc poważne znaczenie dla przyszłości huty jako dostawcy pieców na eksport. W niniejszym referacie zostanie rozpatrzone zagadnienie odzysku i zagospodarowania ciepła odpadowego bezpośrednio w Hucie "Łaziska" dla jej potrzeb. Należy zaznaczyć, że istnieje możliwość wykorzystania odzyskiwanego ciepła w stacji ciepłowniczej sąsiadującej z hutą El. "Łaziska" dla potrzeb miasta i KWK oraz do innych celów, gdzie jest zapotrzebowanie na parę lub gorącą wodę.

2. BILANS ENERGETYCZNY PIECÓW ŻELAZOSTOPÓW W ŚWIETLE DANYCH LITERATUROWYCH

Produkcja żelazostopów jest procesem o bardzo dużej energochłonności. Dla wyprodukowania tony żelazostopu konieczne jest dostarczenie do pieca dużej ilości energii w postaci energii elektrycznej i energii potencjalnej reduktorów. W Hucie "Łaziska" zainstalowanych jest 19 pieców łukowo - oporowych o łącznej mocy około 200 MWA. Produkuje się w nich FeSi 75 %, SiMn - przeróbczy, SiCr, FeW i FeMa niskowęglowy. Dla dokładnego określenia sprawności energetycznej pieca żelazostopowego niewystarczające jest samo określenie zużycia jednostkowego energii elektrycznej, lecz niezbędne jest sporządzenie dokładnego bilansu energetycznego.

Z uwagi na brak technik pomiarów w hucie przykładowo składniki bilansu energetycznego pieców dla produkcji FeSi 75 % /w piecach odkrytych na podstawie danych literaturowych [1] kształtują się następująco:

Przychód energii

| | |
|---|----------|
| - energia elektryczna | - 45,7 % |
| - ciepło wsadu | - 0,1 % |
| - energia potencjalna koksiku i masy elektrodowej | - 49,7 % |
| - ciepło reakcji egzotermicznych | - 4,5 % |

RAZEM: 100,0 %

Rozchód energii

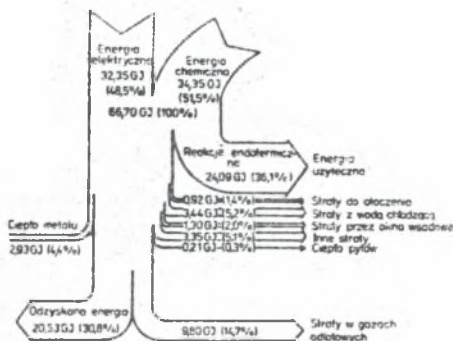
| | |
|----------------------------------|----------|
| - ciepło dysocjacji tlenków | - 46,7 % |
| - ciepło płynnego FeSi | - 6,3 % |
| - ciepło płynnego żużla | - 0,1 % |
| - ciepło na odparowanie wilgoci | - 0,4 % |
| - ciepło na odparowanie Si i SiO | - 0,5 % |
| - ciepło fizyczne gazów | - 2,2 % |
| - straty ciepła przez pancierz | - 1,1 % |
| - energia potencjalna gazów | - 42,7 % |

RAZEM: 100,0 %

Rozpatrując poszczególne składniki bilansu energetycznego dochodzimy do wniosku, że energia cieplna w procesie produkcji żelazostopów użytecznie wykorzystana jest niespełna 50 %. Pozostała część zużytej energii to straty, w tym głównie ciepło uniesione z gazami /dla FeSi 75 %, około 45 %, dla SiMn około 41 %/ oraz ciepło fizyczne płynnych produktów /dla FeSi 75 %, około 6,5 %, dla SiMn około 10 %/. Wobec braku bilansów energetycznych pieców Huty "Łaziska" dla szacunkowego określenia wielkości strat energii cieplnej sporządzono bilanse energetyczne w/w pieców /produkujących FeSi 75 % i SiMn/ w oparciu o wyżej przytoczone dane literaturowe.

Należy tutaj zastrzec, że tak sporządzony bilans energetyczny jest bardzo przybliżony, gdyż wartości poszczególnych składników są ściśle związane z konstrukcją pieca, technologią, awaryjnością urządzeń i jakością obsługi.

Sporządzone zestawienie pozwala na orientacyjne oszacowanie strat energii przy produkcji żelazostopów. Ponieważ koszty energii i surowców /głównie zaś reduktorów będących jednocześnie nośnikami energii/ stanowią zasadniczą część kosztów produkcji huty, podjęto działania mające na celu wykorzystanie, przynajmniej częściowo, ogromnej ilości energii traconej dotychczas bezpowrotnie. Powstało pytanie, czy realne możliwości wykorzystania powyższego ciepła, a o ile tak to w jakiej wysokości? Według danych literaturowych [2], [3], które stanowią podsumowanie uzyskanych w rzeczywistości efektów wynika, że przy właściwie doszczelnionym piecu istnieje realna możliwość odzyskania do 30 % energii z sumarycznej /elektrycznej i chemicznej/ wprowadzonej do pieca. Bilans energetyczny pieca o mocy 45 MVA do produkcji 75 % żelazokrzemu [2] przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Bilans energetyczny pieca o mocy 45 MVA do produkcji 75 % żelazokrzemu [2].

Fig. 1. Energy balance of 45 MVA power furnace for production of 75 % of ferrosilicon

3. WPŁYW KONSTRUKCJI PIECA NA SPOSÓB WYKORZYSTANIA ODZYSKANEGO CIEPŁA

Ze względu na wielkość ciepła odprowadzanego z gazami odlotowymi z pieców żelazostopowych, /które stanowi około 100 % doprowadzanej energii elektrycznej/ najwięcej dotychczas prób prowadzonych jest z odzyskiem ciepła z uchodzącym gazem /spalinami/.

Sposoby wykorzystania ciepła odpadowego zależą głównie od konstrukcji pieców.

3.1. Piece zakryte

W piecach zakrytych uzyskuje się gaz o temperaturze $400+500^{\circ}\text{C}$. No. przy produkcji żelazokrzemu uzyskuje się 2000 Nm^3 gazu/tonę, który zawiera $85+95\%$ CO, a jego ciepło spalania waha się w granicach $9,1+10,8\text{ MJ/Nm}^3$. Przy produkcji SiMn uzyskuje się $940\text{ Nm}^3/\text{t}$, który zawiera 75% CO i $4,5\%$ H_2 , a jego ciepło spalania wynosi $9,9\text{ MJ/Nm}^3$. Gaz ten może być wykorzystany dla celów energetycznych. Może on być używany jako paliwo w kotłach odzysknicowych, a uzyskaną parę można wykorzystać do celów technologicznych, grzewczych lub napędu turbogeneratorsa. Oprócz tego gaz ten może być wykorzystany /ze względu na swój skład chemiczny/ jako surowiec dla syntezy związków organicznych.

3.2. Piece konstrukcji doszczelnionej

Piece tej konstrukcji posiadają kołpaki odciagu gazów uszczelnione do tego stopnia, że wydobywające się gazy poreakcyjne dopalają się nad wsadem z niewielkim nadmiarem powietrza, co pozwala uzyskać temperaturę $900+1000^{\circ}\text{C}$. Parametry tego gazu pozwalają na jego bezpośrednie wykorzystanie w kotle do wytwarzania pary. Instalacja tego typu została zastosowana w piecu firmy Bjelvefossen AS w Norwegii. Moc pieca 24 MVA , zaś moc generatora napędzonego parą z kotła odzysknicowego $6\text{ MVA} /25\%$ mocy włożonej/.

3.3. Piece konstrukcji otwartej

W piecach tych gazy poreakcyjne dopalają się z ogromnym nadmiarem powietrza, a ich temperatura dochodzi do maksimum $200+300^{\circ}\text{C}$. Parametry tego gazu uniemożliwiają efektywne jego wykorzystanie w kotłach odzysknicowych względnie do innych celów technologicznych. Prowadzone są również próby wykorzystania ciepła odpadowego gazów do podgrzewania wstępnego surowców lub też ich osuszania. Szereg elementów i podzespołów pieca chłodzonych jest wodą. Wraz z nią odprowadzone są spore ilości ciepła. Powszechnie stosowane są układy chłodzenia niskociśnieniowego, w których uzyskuje się niewielki przyrost temperatury wody chłodzącej, z której odzyskanie ciepła jest praktycznie niemożliwe.

Dla efektywnego wykorzystania ciepła wody należałoby zmienić konstrukcję systemów chłodzenia przystosowując je do podwyższonego ciśnienia. Duże ilości ciepła odprowadzane są z płynnymi produktami procesu /metal i żużle/. Stanowi to około 10 % całkowitego wkładu energetycznego. Jednak nie spotkano w dostępnej literaturze opisu wykorzystania tego ciepła na skalę przemysłową. W ramach prototypowego rozwiązania wybrano w Hucie "Żelazka" typ pieca półzakrytego, którego konstrukcja nie stwarza specjalnych zagrożeń, a podnosi parametry pracy pieca.

4. WPŁYW SCHŁADZANIA ZŁOŻA PIECA NA PROCES PRODUKCJI ŻELAZOSTOPÓW

Jak wiadomo z materiałów literaturowych [1, 2, 3], w odzysku ciepła specjalizuje się głównie norweska firma ELKEM, produkująca piece żukowo - oporowe do produkcji żelazostopów. Budowane przez t/w firmę instalacje do odzysku ciepła, bazują na odzysku ciepła ze spalin, odzyskując go w specjalnych kotłach zabudowanych obok pieca. W kotłach tych odzyskuje się ciepło ze spalin na drodze konwekcji /z uwagi na brak w gazach znaczących składników, trójatomowych gazów promieniujących - głównie H_2O i CO_2 /. System ten nie wpływa na obniżenie temperatury gazów pod kołpakiem kotła /pieca/, a tym samym na bezpośrednie schładzanie złoża pieca, w którym zachodzą reakcje tworzenia się metalu. Powstaje pytanie, czy schładzanie gazów bezpośrednio pod kołpakiem pieca oraz wykorzystanie promieniowania złoża i ścian /pieca/ kotła wpłynie korzystnie lub nie na proces produkcji żelazostopów. Według przeprowadzonego rozeznania literaturowego [1, 3] oraz rozmów ze specjalistami z tej branży, należy oczekiwać, że intensywny odbiór ciepła pod kołpakiem /pieca/ kotła doprowadzi do stworzenia korzystniejszych warunków dla zatrzymania w strefach reakcyjnych odpowiednich składników zapewniających optymalny przebieg procesu wytopu żelazostopu.

5. WYBÓR KONSTRUKCJI KOTŁA, PARAMETRÓW CZYNNIKA I WYKORZYSTANIE ODEZYSKANEGO CIEPŁA

5.1 Konstrukcja kotła i jego wydajność

Z uwagi na to, że przedmiotowy kocioł ma stanowić w miarę szczelną obudowę pieca z równoczesnym chłodzeniem jego ścian oraz gazów znajdujących

się pod kołpakiem, - zdecydowano się na budowę kotła wodnego, składającego się z części nisko i wysokotemperaturowej. Część niskotemperaturowa kotła, obejmująca osłony przeciwżarowe, będzie podgrzewać wodę do ca 90 °C. Wysokość tej temperatury i związanej z nią ciśnienia wody zostało podyktowane wytrzymałością krajowych elastycznych węży gumowych, spinających części ruchome osłon między sobą. Natomiast część stała kotła, obejmująca ściany i strop kołpaka kotła oraz wewnętrzne powierzchnie ekranów, stanowiąc będą kocioł wysokotemperaturowy, którego parametry pracy będą dostosowane do wymaganych parametrów czynnika. Przyjęto standartową temperaturę dla tego typu kotła, tj. 150 °C przy ciśnieniu 0,5 MPa. Z uwagi na prototypowość rozwiązania i braku w dostępnej literaturze technicznej danych umożliwiających dokonania obliczeń cieplnych tego typu kotła /wyznaczenia na drodze analitycznej jego wydajności cieplnej/ - wykorzystano dane doświadczalne uzyskane z własnych badań [4] oraz wyników uzyskanych w zakładach Hirschelde w MRD. Bazując na w/w danych, określono przewidywaną moc cieplną kotłów, ilości krążącego czynnika oraz opory przepływu dla doboru wymaganych pomp wody obiegowej.

5.2. Parametry czynnika produkowanego w kotle

W kotle pieca hutniczego można produkować parę lub gorącą wodę. Z punktu widzenia ilości ciepła odebranego od spalin i promieniującego złoża najkorzystniejsze jest produkowanie gorącej wody. Dzięki bowiem dość niskiej temperaturze wody można spaliny znacznie schłodzić. Uwzględniając, że najmniejsza opłacalna różnica temperatur przy wymianie ciepła między spalinami a wodą wynosi ca 75 °C, dochodzi się do wniosku, że temperatura ochłodzonych spalin może wynosić ca 180 °C /firma szwedzko - niemiecka w systemie DSIA schładza spaliny nawet do 150 °C/. Gorąca woda jest czynnikiem, na który istnieje duże zapotrzebowanie tylko w okresie zimowym. Do wyjątków należą zakłady, którym potrzebna jest w dużej ilości woda do celów technologicznych. Znacznie większe natomiast występuje zapotrzebowanie na parę technologiczną. Para może być stosowana do celów grzewczych do zasilania procesów technologicznych oraz do produkcji energii elektrycznej.

Przy doborze parametrów pary występują dwa przeciwstawne wymagania. Aby jak najlepiej wykorzystać ciepło spalin, należy produkować parę o jak najniższym ciśnieniu /i jak najniższej temperaturze/. Aby natomiast uzyskać parę jak najbardziej wartościową, powinno się produkować ją przy jak najwyższym ciśnieniu, co oczywiście spowodowałoby zmniejszenie wydajności kotła.

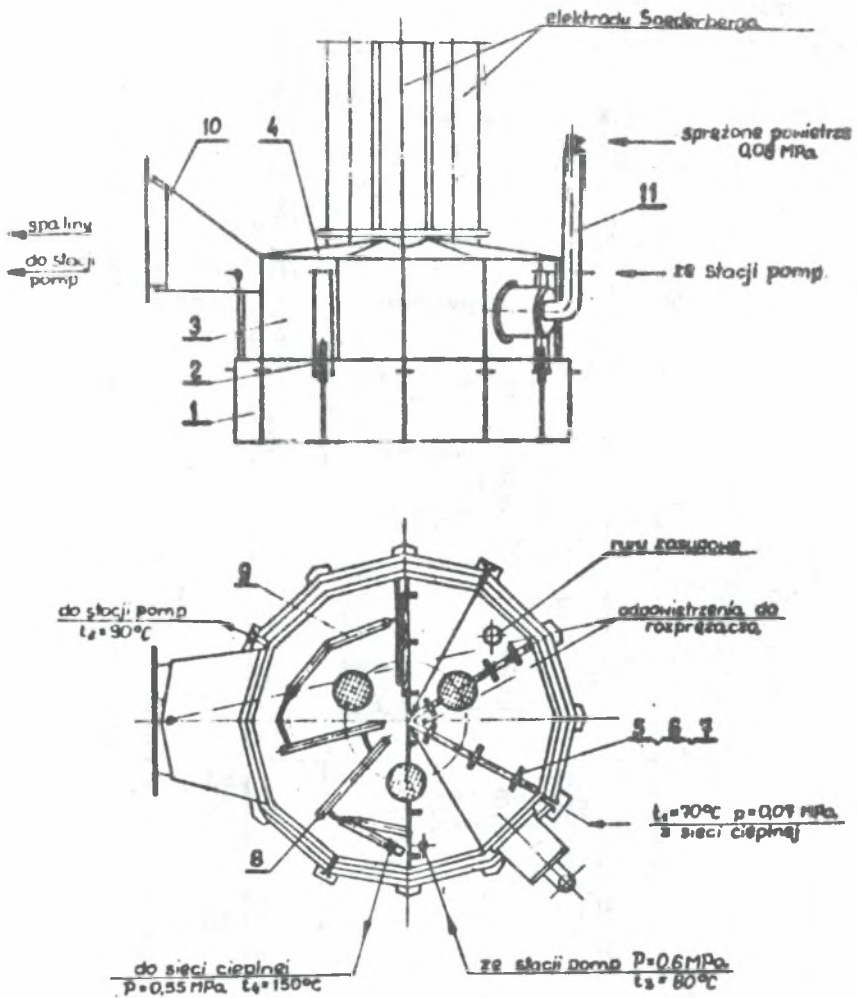
O parametrach pary decyduje ostatecznie jej zastosowanie. Jeżeli para ma służyć do produkcji energii elektrycznej, konieczne jest utrzymanie wysokich parametrów /3,0+3,5 MPa, 400+435 °C/. Jako typowe parametry pary produkowanej w kotłach bezpaleniskowych przyjmuje się 1,7 MPa i 375 °C [5]. Woda zasilająca kocioł winna mieć temperaturę 105 lub 150 °C, przy czym powinna być w całości termicznie odgazowana. Z uwagi na potrzeby własne Huty "Żaziska", jak i możliwości wykorzystania gorącej wody w sąsiadującej El. Żaziska, zdecydowano się na parametry kotła wysokotemperaturowego o $t_w = 150$ °C przy ciśnieniu ca 0,5 MPa. Natomiast część niskotemperaturowa kotła będzie wstępnie podgrzewać wodę do max. 90 °C. Gdyby w przyszłości znalazł się odbiorca pary grzejnej, istnieje możliwość zaprojektowania kotła parowego. Oczywiście parametry pary będą uzależnione od temperatury promieniowania złoża i temperatury spalin pod kołpakiem pieca, tj., czym wyższa będzie temperatura, tym uzyskamy wyższe parametry pary.

Należy uwzględnić fakt, że wybór parametrów produkowanego czynnika w kotle i jego zagospodarowania wpływa na uzyskiwany efekt końcowy w odzysku ciepła. Według [1] w przypadku wykorzystania odzyskanego ciepła do produkcji pary dla turbogeneratorów obniżamy koszt produkcji żelazostopów od 5 % wzwyż, w przypadku wytwarzania pary technologicznej 15 %, natomiast wykorzystania gazu do syntezy /piece zamknięte/ około 20 %.

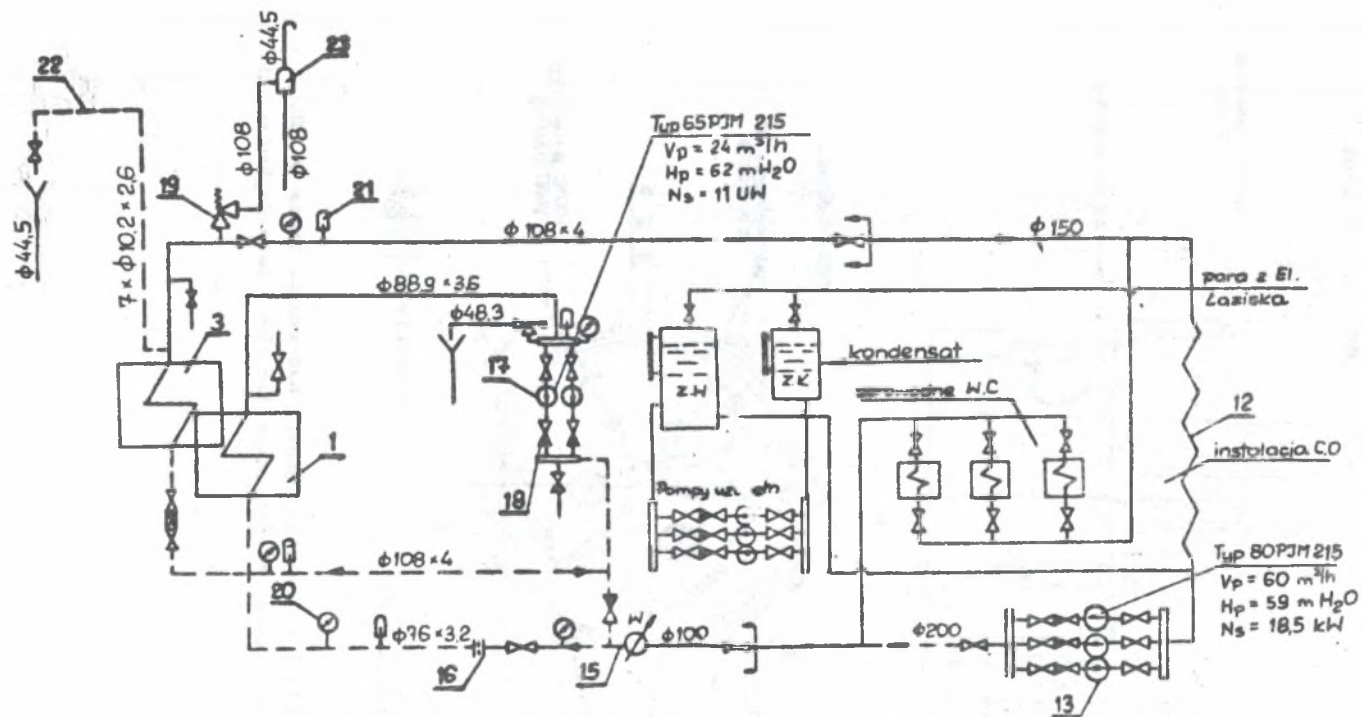
5.3. Zagospodarowanie odzyskiwanego ciepła

Na podstawie przeprowadzonej analizy potrzeb Huty stwierdzono brak możliwości wykorzystania ciepłej wody z kotła pieca nr 21 przez cały rok. Prototypowość rozwiązania kotła i instalacji ciepłowniczej uniemożliwia podłączenie jej w fazie projektowej /bez sprawdzenia prototypu/ do stacji ciepłowniczej El. "Żaziska".

W świetle powyższego postanowiono, że odzyskane ciepło z pieca nr 21 będzie wykorzystane dla potrzeb Huty w zakresie produkcji c.w.s. oraz dla c.o w sezonie grzewczym 90/91. O ile prototypowe rozwiązanie kotła uzyska założone w projekcie parametry, po próbach zostanie podłączone do stacji ciepłowniczej w El. Żaziska, gdzie istnieje możliwość wykorzystania ciepła w cyklu całorocznym. Na rys. 2 pokazano kocioł w widoku z boku i z góry, a na rys. 3 schemat podłączenia kotła pieca nr 21 do sieci ciepłej Huty.



Rys. 2. Widok kotła zabudowanego nad złożem pieca nr 21
 Fig. 2. View of water heater installed above furnace bed no 21



Rys. 3. Schemat podłączenia kotła pieca nr 21 do sieci ciepłej Huty

Fig. 3. Scheme of water heater furnace nr 21 to steel work heat distribution network connecting

6. PODSUMOWANIE

1. Według przeprowadzonej analizy w ciągu godziny Huta "Łaziska" traci bezpowrotnie w uchodzących gazach ca 160 MW energii, którą można by częściowo odzyskać w specjalnych kotłach.

2. Szacunkowy koszt budowy kotłów odzysknicowych wg cen I kw. 1990r. wyniósłby ~ 20 mld zł, za efekt ekonomiczny dla Huty z planowanego odzysku przekroczyłyby sumę ca 22 mld zł/rok.

3. Według szacunkowej oceny odzysk ciepła w Hucie pozwoliłby zaoszczędzić w gospodarce krajowej w skali rocznej ca 137 570 ton węgla, co w przeliczeniu - wg obowiązujących obecnie cen - wynosi ~ 27 mld zł/rok.

4. Odzyskana energia umożliwi podgrzanie $840 \text{ m}^3/\text{h}$ wody ciepłowniczej o $\Delta t = 70^\circ\text{C}$, co pozwoli w pełni zabezpieczyć potrzeby stacji ciepłowniczej El. "Łaziska" w czasie szczytu oraz zapewni dodatkową rezerwę do zagospodarowania w wysokości $120 \text{ m}^3/\text{h}$.

5. Stacja ciepłownicza El. "Łaziska" jest zdolna obecnie do przyjęcia przez cały rok ca $120 \text{ m}^3/\text{h}$ wody o temperaturze $150/80^\circ\text{C}$ dla potrzeb c.w.u. Powyższą ilość ciepła winny zapewnić 3 kotły o sumarycznej wydajności rzędu $8,5 \text{ Gcal/h}$.

6. Planowane próby na prototypowej instalacji skojarzonej z piecem nr 21 powinny umożliwić ocenę projektowanego rozwiązania co do wydajności kotła, stabilności odbioru ciepła, uzyskiwanych temperatur i ilości odciąganych gazów. Pozwoli również na określenie przewidywanych efektów z odzysku oraz skuteczności działania poddźwiękowego urządzenia czyszczącego.

LITERATURA

- [1] Jarek Krystian, Przegędza Jerzy: Analiza techniczno - ekonomiczna utylizacji ciepła jawnego i chemicznego z pieców żelazostopowych. Opracowanie Huty "Łaziska" 1984r.
- [2] Matula Eugeniusz, Widera Tadeusz: Piece Żukowo - oporowe redukcyjne z pełnym wykorzystaniem strat ciepła w gazach odciąganych i z wody chłodzącej. Gospodarka Paliwami i Energią Nr 8 1986r. str. 1+3.
- [3] Friksen Einar: Kontrola zanieczyszczeń a odzyskiwanie energii w procesie żelazostopowym. Extraction Metallurgy 85, sygn.48047, 1765 /tłumaczenie/
- [4] Jędrusyna Czesław: Wstępna analiza techniczno-ekonomiczna odzysku ciepła pieca Żukowo-oporowego nr 23 piecowni IV wraz z badaniami wstępnymi na próbnym wymienniku ciepła. Opracowanie CBKK nr 8.1929, 1987r.
- [5] Ryszka E., Szargut J.: Piece przemysłowe w hutnictwie metali nieżelaznych. WGH Katowice 1961r.
- [6] Jędrusyna Czesław: Projekt wstępny instalacji odzysku ciepła z pieca nr 17 Huty "Łaziska". Opracowanie CBKK nr 8.1970, 1988r.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА В ФЕРРОСПЛАВНЫХ ПЕЧАХ

Резюме

Представлено проведение до сих пор проектные работы по утилизации и использованию тепла из ферросплавной печи находящейся на металлургическом заводе "Лазиска". Оговорено системы применяемые через ф-мы шведские и норвежские а также обосновано выбор конструкции котла, параметры рабочего медюм и использования утилизованого тепла. Представлено способ очистки обогрванной поверхности с осаждающей силиций а также концепционные чертежи котла и схему циркуляции воды.

HEAT RECOVERY IN ARC - RESISTANCE FURNACES

Summary

Till now designing works done in the range of recovery heat and its use in arc - resistance furnaces, installed in "Laziska" steel work are performed in this paper. Systems applied by Swedish and Norwegian firms an discussed. A choice of water heater design, heating medium parameters and recovery heat utilization is also motivated. The paper shows a cleaning way of heating surfaces of depositing silica, idea drawings of boiler and scheme of water circulation in cooperating installation.