

Bronisław Nowok

Przemysłowa regeneracja węgla aktywnych stosowanych do uzdatniania wody

W oddanym na początku lat 90. Zakładzie Produkcji Wody „Dzieńkowice”, wchodzącym w skład Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów w Katowicach, w końcowym procesie uzdatniania wody do picia zastosowano sorpcję na węglu aktywnym, który znajduje się w czterdziestu filtrach o pojemności około 110 m³ każdy. Zdolności adsorpcyjne zastosowanych węgla aktywnych oszacowano wstępnie na dwa lata pracy, po upływie których węgiel powinien zostać zregenerowany, gdyż koszty regeneracji stanowią 30÷40% ceny węgla nowego, natomiast jakość węgla po regeneracji powinna być praktycznie taka sama jak węgla wyjściowego.

Ponieważ w Polsce nie było typowej instalacji do regeneracji węgla aktywnych używanych w zakładach wodociagowych, dlatego w latach 1993–1995 przy ZPW „Dzieńkowice” wybudowano przemysłową instalację do regeneracji węgla aktywnych o zdolności przerobowej około 6 t/d.

Instalacja do regeneracji węgla aktywnych

Instalacja do regeneracji węgla aktywnych składa się z czterech sekcji technologicznych (rys. 1):

♦ Sekcja silosów magazynowych węgla aktywnego, zużytego i zregenerowanego, wraz z transportem hydraulicznym, w skład której wchodzi:

- cztery silosy o pojemności użytkowej 110 m³ każdy,
- trzy połączone ze sobą zbiorniki wody używanej do transportu hydraulicznego (rezewuar o pojemności ok. 500 m³, studnia pomp głębinowych i studzienka przelewów),
- pompy głębinowe zapewniające odpowiednie ciśnienie i natężenie przepływu wody używanej do transportu hydraulicznego węgla wewnątrz obiektu oraz opróżnianie i załadunek autocystern.

♦ Sekcja regeneracji węgla, której podstawowym urządzeniem jest piec obrotowy z wymurówką szamotową o długości 11 m i średnicy wewnętrznej 1,0 m, opalany gazem ziemnym, spalany w palniku umieszczonym w komorze spalania od strony wysypu węgla. Do sekcji tej należą także:

- silos zasypowy z dawkownikiem ślimakowym,
- szczelne zamknięcie zasypu węgla,
- silos odbiorowy przejściowy, w którym zatapiający i schładzany jest węgiel zregenerowany.

♦ Sekcja dopalania zanieczyszczeń i wytwarzania pary technologicznej, w skład której wchodzi:

- komora spalania zdesorbowanych z węgla zanieczyszczeń, opalana gazem ziemnym,
- wytwornica pary technologicznej,
- stacja demineralizacji wody kotłowej,
- podgrzewacz i odgazowywacz wody kotłowej,
- wentylator wyciągowy spalin,
- pompy wody kotłowej.
- ♦ Sekcja oczyszczania spalin, składająca się z następujących elementów:
- trzy skrubery wypełnione pierścieniami Raschiga,
- wyparka do zateżnienia solanki,
- wentylator wyciągowy,
- zbiorniki NaOH i solanki,
- pompy obiegowe.

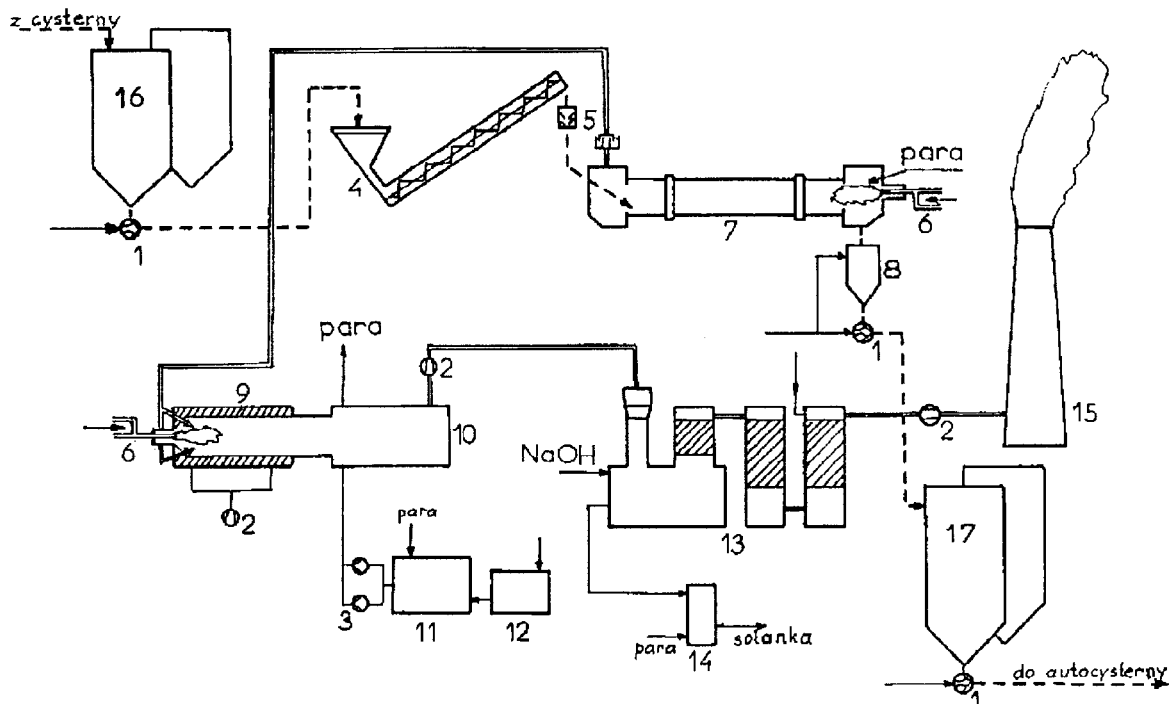
Opis procesu technologicznego

Zużyty węgiel aktywny dowożony jest z filtrów węglowych autocysterną, skąd za pomocą iniektora przesyłany jest do jednego z dwóch silosów magazynowych, a dalej iniektorem transportowany jest do silosu zasypowego umieszczonego obok pieca obrotowego. Z silosu węgiel transportowany jest przenośnikiem ślimakowym z regulowaną prędkością do pieca obrotowego. W przenośniku ślimakowym następuje wstępne odwodnienie węgla.

W piecu obrotowym, ogrzewanym bezprzeponowo, następuje termiczna regeneracja węgla. Termin regeneracji termicznej odnosi się do procesów suszenia, desorpcji termicznej oraz obróbki w wysokiej temperaturze (reaktywacja w temp. 650÷1000 °C) w obecności gazów utleniających, takich jak para wodna, gaz spalinowy i tlen. Etapy regeneracji przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Etapy termicznej regeneracji węgla aktywnego

Etap	Temperatura, °C	Proces
Suszenie	100	Odparowanie wody
Parowanie termiczne	100÷250	Desorpcja lotnych substancji organicznych
Tworzenie substancji zwęglonych	200÷750	Piroliza nielotnych substancji organicznych i karbonizacja pozostałości po pirolizie
Gazyfikacja substancji zwęglonych	>800	Zgazowanie pozostałości po pirolizie przez kontrolowane reakcje chemiczne z parą wodną, dwutlenkiem węgla lub tlenem



Rys. 1. Schemat blokowy instalacji do regeneracji węgla aktywnych (1 – iniektory do transportu węgla, 2 – wentylatory, 3 – pompy, 4 – silos zasypowy z dozownikiem ślimakowym, 5 – służa uszczelniająca, 6 – palniki, 7 – piec obrotowy, 8 – silos przejściowy na węgiel zregenerowany (zatapienie węgla), 9 – dopalacz, 10 – wytwornica pary, 11 – podgrzewacz wody kotłowej, 12 – stacja uzdatniania wody, 13 – płuczki spalin, 14 – wyparka (zateżnianie solanki), 15 – komin, 16 – silosy na węgiel zużyty, 17 – silosy na węgiel po regeneracji)

Ponieważ regeneracja prowadzona jest w piecu obrotowym przy coraz to wyższej temperaturze (przeciwnie do kierunku przepływu), dlatego też poszczególne fazy procesu nakładają się wzajemnie. Wysuszenie adsorbentu następuje w momencie podniesienia jego temperatury powyżej temperatury wrzenia wody. Tworzenie się węgla pirolitycznego następuje w momencie, kiedy temperatura węgla wzrośnie od punktu parowania do około 750 °C. Niektóre substancje organiczne mogą się utleniać, inne rozpadają się pod wpływem temperatury i zostaną usunięte jako substancje o niższej masie cząsteczkowej. Część substancji zaadsorbowanych zostaje zwęglona i pozostaje w porowatej strukturze adsorbentu.

Etap reaktywacji (zgazowania) następuje w temperaturze >800 °C – wytworzony węgiel pirolityczny zostaje częściowo zgazowany i usunięty z substratu węglowego w endotermicznej reakcji pomiędzy parą wodną i węglem oraz pomiędzy dwutlenkiem węgla i węglem. W efekcie utleniania parą wodną wytwarzają się tlenek węgla i wodór. Do dalszego utlenienia tlenku węgla potrzebna jest mała ilość tlenu, jednak jego nadmiar może spowodować szybkie spalanie węgla.

Etap reaktywacji jest najważniejszy, gdyż decyduje nie tylko o jakości węgla zregenerowanego, ale także o wydajności całego procesu, a więc o ilości węgla świeżego, służącego do uzupełnienia powstałych ubytków. Proces ten wymaga uważnego kontrolowania wielu parametrów wpływających na jakość i wydajność węgla po regeneracji, takich jak temperatura, skład gazu, ilość pary i tlenu, prędkość przepływu gazu oraz prędkość przemieszczania się węgla w piecu obrotowym. Parametry te zmieniają się w zależności od surowców, z których wytworzony został węgiel aktywny poddawany regeneracji (węgiel kamienny, węgiel drzewny, torf). Zregenerowany węgiel aktywny po opuszczeniu pieca jest zatapiany w wodzie w silosie odbiorczym i dalej transportowany iniektorem do silosów magazynowych, skąd autocysterną jest przewożony do filtrów węglowych w stacji uzdatniania wody.

Gazy poreakcyjne, wysysane przez wentylator z pieca obrotowego, przesyłane są do sekcji dopalania, gdzie w temperaturze 800+1000 °C zostają spalane w dopalaczu. Gorące spaliny są schładzane w wytwornicy pary. Otrzymana para wodna używana jest do celów technologicznych (piec obrotowy, podgrzewacz wody kotłowej, zateżnianie solanki), a schłodzone spaliny przechodzą przez układ trzech skrubów, gdzie w kontakcie ze słabym roztworem ługu sodowego zostają odpylone i oczyszczone ze związków siarki i azotu, a następnie skierowane do komina.

Powstająca solanka zostaje zateżniona w wyparce i następnie skierowana do zbiornika magazynowego, skąd okresowo wywożona jest do utylizacji w zakładach chemicznych.

Przebieg przemysłowej regeneracji węgla aktywnych

Regeneracji poddane zostały węgle aktywne, oznaczone symbolami A, B i C, zużyte w procesie uzdatniania wody w ZPW „Dzieńkowice”, w następujących ilościach:

- węgiel granulowany A: 1100 m³,
- węgiel ziarnowy B: 550 m³,
- węgiel granulowany C: 550 m³.

Eksploatacja węgla aktywnych trwała około trzy lata, a głównym wskaźnikiem ich zużycia była wartość adsorpcji jodu (liczb jodowa – LJ), która obniżyła się z wartości wyjściowej 900+1000 mg/g do około 600 mg/g.

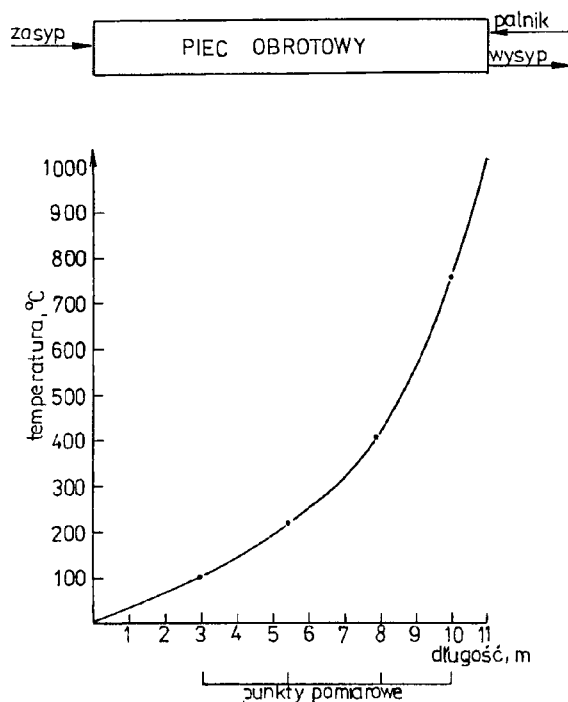
Parametry prowadzenia procesu regeneracji zostały ustalone w początkowych okresach regeneracji poszczególnych gatunków węgla i tak dobrane, aby właściwości adsorpcyjne węgla po regeneracji były zbliżone do własności węgla świeżego, a wydajność procesu była możliwie jak najwyższa. Optymalne temperatury prowadzenia procesu, przy wydajności projektowej 250 kg/h, były następujące:

Tabela 2. Parametry techniczne węgla aktywnych

Parametr		Masa nasypowa g/dm ³	Liczba jodowa mg/g	Zawartość ziaren <0,6 mm	Zawartość części mineralnych %	Wydajność procesu %
Węgiel świeży	A	360-380	1000	ślady	6,95	—
	B	440-460	882	0,35	23,40	—
	C	516-525	895	7,15	8,90	—
Węgiel zużyty	A	475	590	0,30	6,43	—
	B	535	615	1,60	12,30	—
	C	615	653	1,20	6,75	—
Węgiel zregenerowany	A	390	940	0,15	7,42	92
	B	428	920	0,75	14,80	90
	C	515	970	0,80	8,77	90

- dla węgla A: 740÷755 °C,
- dla węgla B: 760÷780 °C,
- dla węgla C: 750÷770 °C.

Należy zaznaczyć, że temperatury te były mierzone w odległości około 1 m od miejsca wysypu węgla z pieca i były niższe od końcowej temperatury aktywacji. Rozkład temperatur przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład temperatur w piecu obrotowym podczas regeneracji węgla

Ocena jakości węgla po regeneracji

Średnie wartości niektórych wskaźników technicznych węgla aktywnych przed i po regeneracji zostały przedstawione w tabeli 2. Węgle po regeneracji miały zbliżone lub nieco lepsze właściwości adsorpcyjne wobec jodu niż miały węgle świeże. Świadczyło to o tym, że podczas regeneracji nastąpiło, oprócz wypalenia węgla powstałego podczas pirolizy, także wypalenie części węgla pierwotnego i utworzenie dodatkowej objętości mikroporów adsorpcyjnych. Było to niewątpliwie przyczyną pewnych strat ilościowych węgla aktywnego, zrekompensowanych jednak wzrostem jego właściwości adsorpcyjnych. Wydajność procesu obejmuje nie tylko etap regeneracji, lecz także straty węgla powstałe podczas załadunku i rozładunku węgla do autocystemu i filtrów oraz w transporcie hydraulicznym. Straty te są trudne do oszacowania, gdyż najdrobniejsze części z rozkruszonych ziaren węgla są porywane do kanalizacji lub osiadają w zbiorniku wody stosowanej do transportu hydraulicznego.

Podsumowanie

W najbliższych latach należy liczyć się z coraz częstszym stosowaniem węgla aktywnych w procesach uzdatniania wody do picia. Przeprowadzona na skalę techniczną regeneracja trzech różnych gatunków zużytych węgla aktywnych wykazała, że urządzenia wchodzące w skład instalacji zostały dobrane prawidłowo, a instalacja jest w wysokim stopniu zautomatyzowana. Przez odpowiedni dobór parametrów technicznych procesu regeneracji jakość węgla zregenerowanego była porównywalna do jakości węgla świeżych. Osiągnięto zakładaną zdolność przerobową instalacji, tj. około 6 t/d (2 tys. t/a), co pozwala na ewentualne świadczenie usług także dla innych użytkowników węgla aktywnych.

Industrial Regeneration of Activated Carbon Spent in the Course of Water Treatment

In the mid 1990ies a modern industrial system for the regeneration of spent activated carbon was constructed at the Waterworks of Katowice (Upper Silesia). The paper provides the technological diagram of the system, as well as a detailed description of its parts and of the high-temperature process during which spent activated carbons are regenerated. Investigated were three types of activated carbon made use of in the

watertreatmentprocess and thereafter regenerated. It was found that, following regeneration, each carbon displayed adsorbing properties similar to, or even better than, those of a fresh item. The performance of the regenerating system (2,000 t/a) was found to be sufficiently high not only to cover the needs of the Katowice Waterworks, but also to make regenerating services available to other water treatment plants.