

Nazwa kwalifikacji: **Organizacja i kontrolowanie procesów technologicznych w przemyśle chemicznym**
Oznaczenie kwalifikacji: **A.56**
Numer zadania: **01**

Wypełnia zdający

Miejsce na naklejkę z numerem
PESEL i z kodem ośrodka

Numer PESEL zdającego*

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A.56-01-19.06

Czas trwania egzaminu: **180 minut**

EGZAMIN POTWIERDZAJĄCY KWALIFIKACJE W ZAWODZIE
Rok 2019
CZEŚĆ PRAKTYCZNA

Instrukcja dla zdającego

1. Na pierwszej stronie arkusza egzaminacyjnego wpisz w oznaczonym miejscu swój numer PESEL i naklej naklejkę z numerem PESEL i z kodem ośrodka.
2. Na **KARCIE OCENY** w oznaczonym miejscu przyklej naklejkę z numerem PESEL oraz wpisz:
 - swój numer PESEL*,
 - oznaczenie kwalifikacji,
 - numer zadania,
 - numer stanowiska.
3. Sprawdź, czy arkusz egzaminacyjny zawiera 10 stron i nie zawiera błędów. Ewentualny brak stron lub inne usterki zgłoś przez podniesienie ręki przewodniczącemu zespołu nadzorującego.
4. Zapoznaj się z treścią zadania oraz stanowiskiem egzaminacyjnym. Masz na to 10 minut. Czas ten nie jest wliczany do czasu trwania egzaminu.
5. Czas rozpoczęcia i zakończenia pracy zapisze w widocznym miejscu przewodniczący zespołu nadzorującego.
6. Wykonaj samodzielnie zadanie egzaminacyjne. Przestrzegaj zasad bezpieczeństwa i organizacji pracy.
7. Po zakończeniu wykonania zadania pozostaw arkusz egzaminacyjny z rezultatami oraz **KARTĘ OCENY** na swoim stanowisku lub w miejscu wskazanym przez przewodniczącego zespołu nadzorującego.
8. Po uzyskaniu zgody zespołu nadzorującego możesz opuścić salę/miejsce przeprowadzania egzaminu.

Powodzenia!

* w przypadku braku numeru PESEL – seria i numer paszportu lub innego dokumentu potwierdzającego tożsamość

Zadanie egzaminacyjne

Opracuj kartę technologiczną procesu produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya. Uzupełnij informacje związane z uproszczonym schematem ideowym procesu – wpisz pod schematem w odniesieniu do pól oznaczonych od A do J nazwy składników wprowadzanych do instalacji, produktów oraz operacji technologicznych. Korzystając ze skróconego opisu technologicznego produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya uzupełnij uproszczony schemat instalacji, wpisując w Tabeli 1 oznaczenie urządzenia lub jego nazwę. Korzystając z wykazu danych wyjściowych sporządź bilans materiałowy procesu karbonizacji dotyczący produkcji 2 ton sody kalcynowanej oraz uzupełnij opis szkicu wykresu Sankey'a dla tego procesu. Sporządź wykaz wybranych punktów kontroli temperatury, podając oczekiwaną wartość lub oczekiwany przedział wartości mierzonego parametru w każdym z nich.

Skrócony opis procesu technologicznego produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya

Proces produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya polega na nasyceniu dwutlenkiem węgla amoniakalnego roztworu chlorku sodu oraz termicznym rozkładzie powstającego wodorowęglanu sodu. Metoda oparta jest na reakcjach przedstawionych równaniami

- ✓ rozkład termiczny wapienia
$$\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$
- ✓ karbonizacja solanki
$$2\text{NaCl} + 2\text{NH}_3 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3 + 2\text{NH}_4\text{Cl}$$
- ✓ kalcynacja wodorowęglanu sodu
$$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- ✓ regeneracja amoniaku
$$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$$

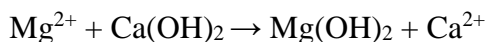
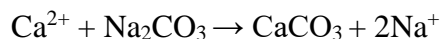
- ❖ sumarycznie:
$$\text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$$

1. Wypalanie kamienia wapiennego i gaszenie wapna

Wypalanie wapieni umożliwia otrzymanie wapna palonego i dwutlenku węgla. W zakładach sodowych znajdują zastosowanie obydwa produkty tej reakcji. Dwutlenek węgla jest potrzebny do karbonizacji solanki. Wapno w postaci wapna gaszonego wykorzystuje się do oczyszczania solanki i regeneracji amoniaku. Prażenie kamienia odbywa się w piecach szybowych z podmuchem powietrza, do którego wprowadza się od góry surowiec o odpowiedniej granulacji zmieszany z koksem w ilości $70 \div 80$ kg na tonę wapienia. Dla zapewnienia właściwej pracy, piec powinien być całkowicie wypełniony, a strefa wypalania, która zajmuje ok. 40 % wysokości pieca powinna znajdować się w jego centralnej części. W górnej części pieca temperatura powinna być utrzymywana na poziomie ok. $300\text{ }^\circ\text{C}$, podobnie jak w dolnej jego części zwanej strefą chłodzenia. W strefie wypalania powinna panować temperatura $1000\text{ }^\circ\text{C} \div 1100\text{ }^\circ\text{C}$. Przesunięcie strefy wypalania w dół lub w górę jest niepożądane. Nadmiar wdmuchiwanego od dołu powietrza powoduje przesunięcie strefy wypalania ku górze (obniżenie temperatury w dolnej części pieca poniżej $300\text{ }^\circ\text{C}$ i podwyższenie temperatury w górnej części pieca powyżej $300\text{ }^\circ\text{C}$). Temperatury w tych częściach pieca należy kontrolować. Dwutlenek węgla jest odprowadzany w górnej części pieca i po oczyszczeniu w skruberze kierowany jest do kolumn karbonizacyjnych. Nadmuch powietrza chłodzi do temperatury $100\text{ }^\circ\text{C}$ odbierane w dolnej części pieca wypalone wapno, które następnie podawane jest do lasownika obrotowego o działaniu ciągłym, gdzie zachodzi proces gaszenia wodą, wstępnie podgrzaną do temperatury $50\text{ }^\circ\text{C} \div 60\text{ }^\circ\text{C}$. Produktem jest mleko wapienne (wapno gaszone), które powinno mieć temperaturę co najmniej $40\text{ }^\circ\text{C}$. Przed użyciem w dalszych procesach technologicznych przechodzi przez sito wibracyjne, które zatrzymuje kawałki nieprzereagowanego wapna.

2. Oczyszczanie solanki

W procesie produkcji sody stosowany jest nasycony roztwór NaCl (stężenie $300 \div 315$ g NaCl /dm³ roztworu). oczyszczony z jonów Ca²⁺ i Mg²⁺. Solankę oczyszcza się metodą sodowo-wapienną. Polega ona na usuwaniu jonów wapnia za pomocą roztworu węglanu sodu, a jonów magnezu za pomocą wodorotlenku wapnia, zgodnie z reakcjami przedstawionymi równaniami



W mieszalnikach przygotowuje się odpowiednio stężone roztwory mleka wapiennego i węglanu sodu. Tłoczy się je wraz z surową solanką do reaktora. Roztwór z wytrąconym w czasie reakcji osadem CaCO₃ i Mg(OH)₂ spuszcza się do odstoju. Klarowny roztwór oczyszczonej solanki zostaje przepompowany do zbiornika bezpośrednio zasilającego aparaty do absorpcji amoniaku. Szlam osadzający się na dnie odstoju stanowi produkt odpadowy.

3. Absorpcja amoniaku w solance

Dwutlenek węgla słabo rozpuszcza się w wodnym roztworze chlorku sodu, natomiast znacznie lepsza jest jego rozpuszczalność w solance amoniakalnej. W związku z tym proces nasycania solanki amoniakiem prowadzi się w półkowej kolumnie absorpcyjnej. Procesowi sprzyjają niskie temperatury i przebiega on najefektywniej w temperaturze poniżej 50 °C. Wprowadzana na szczyt kolumny solanka spływa w dół i styka się w przeciwnym kierunku z gazem o dużym stężeniu amoniaku, który wprowadza się w dolnej części absorbera. Odbieraną z absorbera solankę nasyconą amoniakiem chłodzi się do temperatury około 30 °C w chłodnicach ociekowych i magazynuje w zbiorniku jako gotowy surowiec do karbonizacji.

4. Karbonizacja solanki

Karbonizacja amoniakalnego roztworu solanki polega na jego nasyceniu dwutlenkiem węgla, co prowadzi do otrzymania NaHCO₃ i NH₄Cl. Proces powinien przebiegać w możliwie niskich temperaturach. Na szczycie kolumny karbonizacyjnej, gdzie wprowadza się amoniakalny roztwór soli, temperatura nie powinna być zbyt wysoka ze względu na desorpcję amoniaku z solanki – utrzymuje się ją zwykle na poziomie około 30 °C. Optymalne warunki do tworzenia się grubokrystalicznego osadu wodorowęglanu sodu istnieją, gdy temperatura w środkowej części kolumny wynosi nie więcej niż 60 °C, a temperatura zawiesiny odbieranej z dołu kolumny 25 °C ÷ 30 °C. Otrzymany wodorowęglan sodu filtruje się na obrotowych filtrach próżniowych.

5. Kalcynacja wodorowęglanu sodu

Ostatnią fazą procesu otrzymywania sody jest suszenie i prażenie wodorowęglanu sodu w temperaturze 160 °C ÷ 200 °C w obrotowym piecu kalcynacyjnym ogrzewanym gazami spalinowymi. Sprawdzianem pracy pieca jest temperatura odbieranej z niego sody. Powinna ona wynosić około 150 °C, gdyż stopień rozkładu NaHCO₃ jest wtedy zadowalający. W wyniku prowadzenia procesu kalcynacji oprócz sody otrzymuje się również CO₂, który jest zwracany do kolumn karbonizacyjnych.

6. Regeneracja amoniaku

W procesie produkcji sody metodą Solvaya amoniak jest surowcem pomocniczym i znajduje w ciągłym obiegu. W celu odzyskania amoniaku przesącz po filtracji wodorowęglanu sodu rozkłada się w kolumnie odpędowej (górną część kolumny regeneracyjnej). W pierwszym etapie roztwór ogrzewa się bezpośrednio parą wodną. Pozostały roztwór poddawany jest działaniu gorącego mleka wapiennego. Następuje rozkład chlorku amoniaku i desorpcja amoniaku. W roztworze pozostaje chlorek wapnia. Otrzymany amoniak zwracany jest do obiegu.

7. Obieg dwutlenku węgla

Przez cały czas trwania procesu CO₂ znajduje się w obiegu. Brakujące ilości uzupełnia się produktem z pieca wapiennego.

Wykaz danych wyjściowych do wykonania obliczeń dotyczących bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki

- masa produktu finalnego – Na_2CO_3 : 2 tony
- wydajność procesu kalcynacji: 80%
- wydajność procesu karbonizacji: 100%

$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 106 \text{ g/mol} \quad M_{\text{NaHCO}_3} = 84 \text{ g/mol} \quad M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ g/mol} \quad M_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 53,5 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol} \quad M_{\text{NH}_3} = 17 \text{ g/mol} \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$$

Do obliczeń przyjmij, że procesy przebiegają zgodnie z zapisem równań reakcji stanowiących ich podstawę.

Wyniki obliczeń podaj w [kg] z dokładnością do liczb całkowitych, zaś wyniki wyrażane w procentach podaj z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku.

Czas przeznaczony na wykonanie zadania wynosi 180 minut.

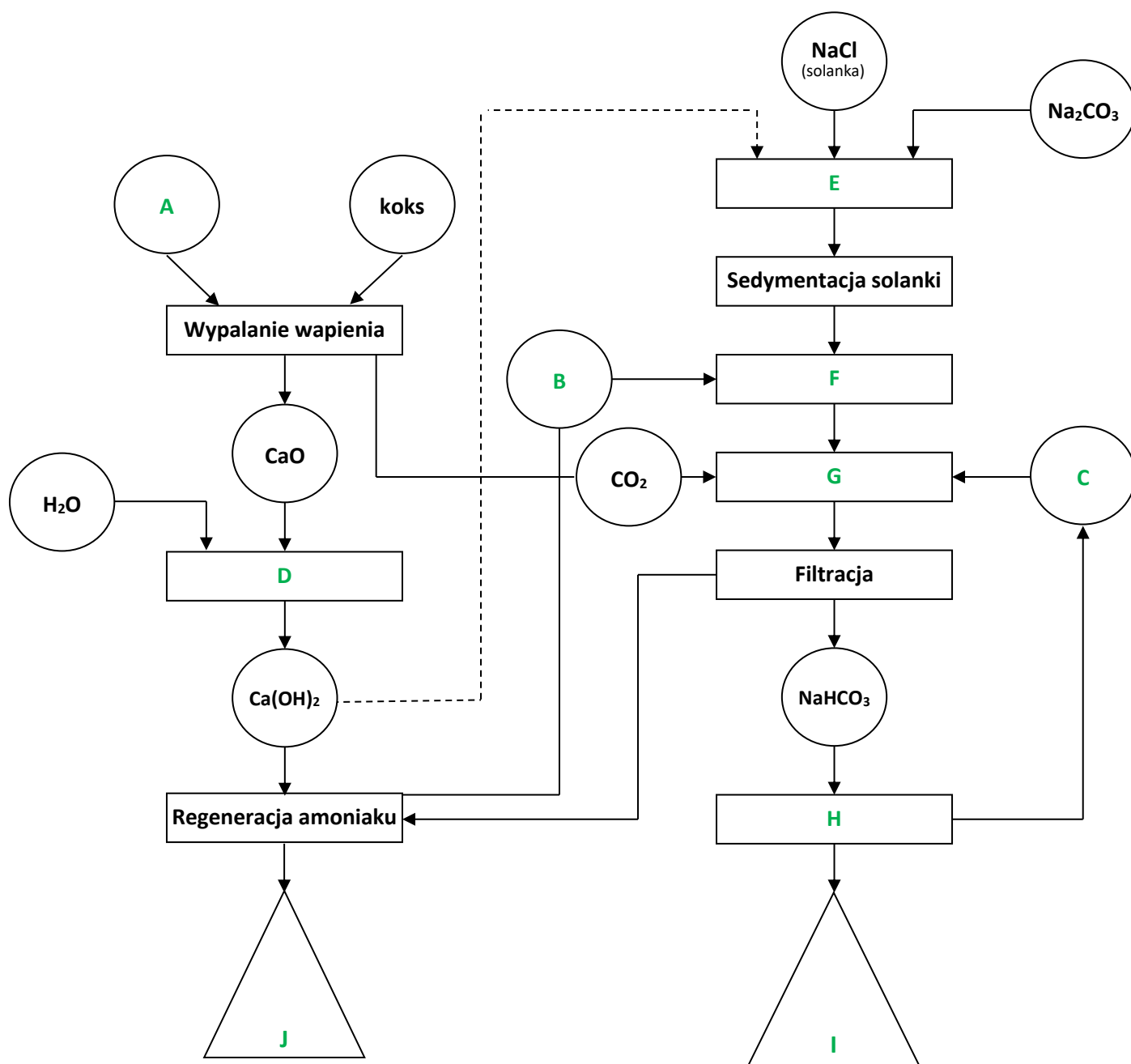
Ocenie podlegać będzie 6 rezultatów:

- karta technologiczna procesu,
- uproszczony schemat ideowy procesu produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya,
- uproszczony schemat instalacji do produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya – uzupełniony opis schematu węzła I i węzła II instalacji (Tabela 1),
- zestawienie obliczeń dotyczących bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki,
- zestawienie wyników bilansu materiałowego i szkic wykresu Sankey'a dla procesu karbonizacji – uzupełniony opis szkicu (Tabela 2),
- wykaz wybranych punktów kontroli temperatury.

Karta technologiczna procesu

KARTA TECHNOLOGICZNA PROCESU	
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	<i>Wpisuj w wierszach poniżej:</i>
Proces technologiczny	
Metoda	
Etapy procesu zapisane w formie równań chemicznych	1. rozkład termiczny wapienia
	2. karbonizacja solanki
	3. kalcynacja wodorowęglanu sodu
	4. regeneracja amoniaku
Podstawowe reagenty wprowadzane do instalacji	1.
	2.
Produkt uboczny	
Masa koksu podawanego do pieca wapiennego przypadająca na 1 tonę wapienia	
Stężenie solanki wprowadzanej do instalacji	
Metoda oczyszczania solanki z jonów wapnia i magnezu	

Uproszczony schemat ideowy produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya



- A -
- B -
- C -
- D -
- E -
- F -
- G -
- H -
- I -
- J -

Uproszczony schemat instalacji do produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya

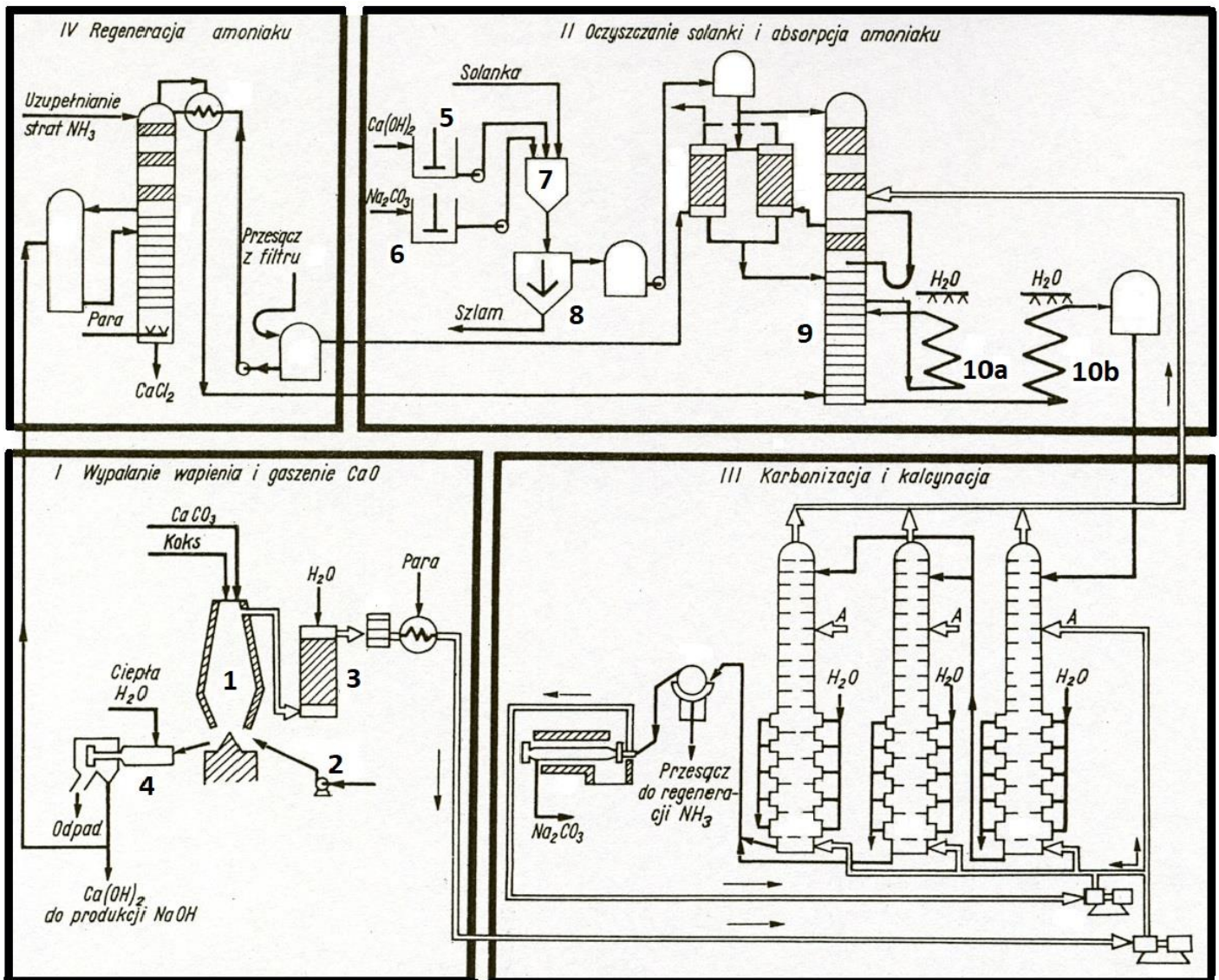


Tabela 1. Opis uproszczonego schematu węzła I (wypalanie wapienia i gaszenie CaO) oraz węzła II (oczyszczanie solanki i absorpcja amoniaku) instalacji do produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya

Nazwa urządzenia	Oznaczenie urządzenia na schemacie instalacji
Węzeł I – Wypalanie wapienia i gaszenie CaO	
	numer 4
Skruber do oczyszczania gazu z pieca wapiennego	
	numer 1
Dmuchawa powietrza	
Węzeł II – Oczyszczanie solanki i absorpcja amoniaku	
Reaktor	
Mieszalnik Ca(OH) ₂	
	numer 6
	numer 8
Chłodnice ociekowe	
	numer 9

Zestawienie obliczeń dotyczących bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki

Masa produktu końcowego – sody kalcynowanej [kg]
Równanie reakcji kalcynacji wodorowęglanu sodu
Stechiometryczna (dla teoretycznej 100 % wydajności procesu kalcynacji) masa wodorowęglanu sodu potrzebnego do otrzymania założonej ilości sody [kg]
Rzeczywista masa wodorowęglanu sodu potrzebnego do otrzymania założonej ilości sody [kg]
Równanie reakcji karbonizacji solanki
Masa NaCl potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO_3 w procesie karbonizacji [kg]
Masa NH_3 potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO_3 w procesie karbonizacji [kg]
Masa CO_2 potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO_3 w procesie karbonizacji [kg]
Masa wody potrzebnej do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO_3 w procesie karbonizacji [kg]
Masa NH_4Cl powstającego w procesie karbonizacji [kg]

Zestawienie wyników bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki

PRZYCHÓD			ROZCHÓD		
Składnik	Masa [kg]	%	Składnik	Masa [kg]	%
Razem			Razem		

Szkic wykresu Sankey'a dla procesu karbonizacji

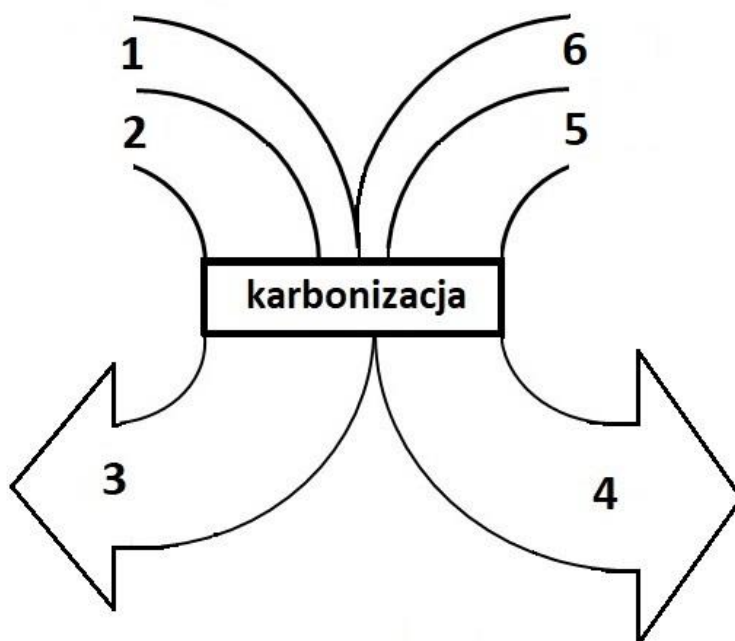


Tabela 2. Opis szkicu wykresu Sankey'a dla procesu karbonizacji

Oznaczenie składnika na szkicu wykresu Sankey'a	Składnik
numer 1	
numer 2	
numer 3	
numer 4	
numer 5	CO ₂
numer 6	H ₂ O

Wykaz wybranych punktów kontroli temperatury

Punkt kontroli temperatury	Oczekiwana wartość temperatury [°C]
W górnej części pieca wapiennego	
W strefie wypalania pieca wapiennego	
W strefie chłodzenia pieca wapiennego	
Woda podawana do lasownika	
W kolumnie absorpcyjnej (absorpcja amoniaku)	
Na szczycie kolumny karbonizacyjnej	
W środkowej części kolumny karbonizacyjnej	
Zawiesina odbierana z dołu kolumny karbonizacyjnej	
W piecu kalcynacyjnym	
Soda odbierana z pieca kalcynacyjnego	