

Nazwa kwalifikacji: **Organizacja i kontrolowanie procesów technologicznych w przemyśle chemicznym**

Oznaczenie kwalifikacji: **AU.56**

Numer zadania: **01**

Wersja arkusza: **SG**

Wypełnia zdający

Numer PESEL zdającego*

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

Miejsce na naklejkę z numerem
PESEL i z kodem ośrodka

Czas trwania egzaminu: **180** minut.

AU.56-01-22.01-SG

EGZAMIN POTWIERDZAJĄCY KWALIFIKACJE W ZAWODZIE

Rok 2022

CZĘŚĆ PRAKTYCZNA

**PODSTAWA PROGRAMOWA
2017**

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

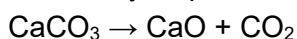
Zadanie egzaminacyjne

Opracuj dokumentację związaną z procesem produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya. W tym celu wypełnij kartę technologiczną – Tabela 1. Uzupełnij informacje związane ze 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 2 oznaczenie urządzenia lub jego nazwę. Na podstawie wykazu danych wyjściowych sporządź bilans materiałowy procesu karbonizacji solanki. Wykonaj obliczenia dotyczące bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki w celu wyprodukowania 2 ton sody kalcynowanej – Tabela 3 oraz sporządź zestawienie wyników bilansu materiałowego – Tabela 4. Uzupełnij opis szkicu wykresu Sankeya dla tego procesu - Tabela 5. Sporządź wykaz wartości temperatury w wybranych punktach kontroli – Tabela 6.

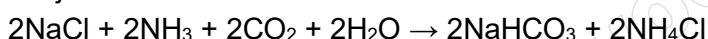
Skrócony opis procesu technologicznego produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya

Proces produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya polega na nasyceniu ditlenkiem węgla (otrzymanego w wyniku termicznego rozkładu wapienia) amoniakalnego roztworu chlorku sodu oraz termicznym rozkładzie powstającego wodorowęglanu sodu. Metoda oparta jest na reakcjach przedstawionych równaniami:

- ✓ rozkład termiczny wapienia



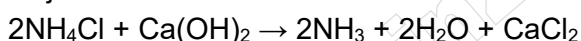
- ✓ karbonizacja solanki



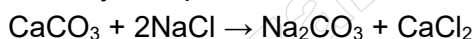
- ✓ kalcynacja wodorowęglanu sodu



- ✓ regeneracja amoniaku



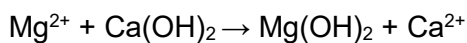
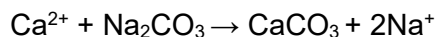
- ❖ reakcja sumaryczna procesu

**1. Wypalanie kamienia wapiennego i gaszenie wapna**

Wypalanie wapieni prowadzi się w celu otrzymania wapna palonego i ditlenku węgla. W zakładach sodowych znajdują zastosowanie obydwa produkty tej reakcji. Ditlenek 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 nadmuchem powietrza, do którego wprowadza się od góry surowiec o odpowiedniej granulacji zmieszany z koksem w ilości 70 ÷ 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°C, podobnie jak w dolnej jego części zwanej strefą chłodzenia. W strefie wypalania powinna panować temperatura 1000°C ÷ 1100°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°C i podwyższenie temperatury w górnej części pieca powyżej 300°C). Temperaturę w tych częściach pieca należy kontrolować. Ditlenek węgla jest odprowadzany w górnej części pieca i po oczyszczeniu w skruberze kierowany jest do kolumn karbonizacyjnych. Nadmuch powietrza chłodzi do temperatury 100°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°C ÷ 60°C. Produktem jest mleko wapienne (wapno gaszone), które powinno mieć temperaturę co najmniej 40°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 oczyszczony z jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} nasycony roztwór NaCl (stężenie $300 \div 315 \text{ g NaCl / dm}^3$ roztworu). Solankę oczyszcza się metodą sodowo-wapienną. Polega ona na usuwaniu jonów wapnia za pomocą roztworu sody, a jonów magnezu za pomocą wodorotlenku wapnia, zgodnie z reakcjami przedstawionymi równaniami



W mieszalnikach przygotowuje się odpowiednio stężone roztwory mleka wapiennego i sody. Tłoczy się je wraz z surową solanką do reaktora. Roztwór z wytrąconym w czasie reakcji osadem CaCO_3 i $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 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

Ditlenek 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. Proces przebiega 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 ditlenkiem węgla, co prowadzi do otrzymania NaHCO_3 i NH_4Cl . 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 ryzyko desorpcji 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 $25^\circ\text{C} \div 30^\circ\text{C}$. Otrzymany osad wodorowęglanu sodu filtruje się na obrotowych filtrach próżniowych.

5. Kalcynacja wodorowęglanu sodu

Ostatnią fazą procesu otrzymywania sody jest suszenie i prażenie wodorowęglanu sodu w temperaturze $160^\circ\text{C} \div 200^\circ\text{C}$ 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 NaHCO_3 jest wtedy zadowalający. W wyniku prowadzenia procesu kalcynacji oprócz sody otrzymuje się również CO_2 , który jest zawracany do kolumn karbonizacyjnych.

6. Regeneracja amoniaku

W procesie produkcji sody metodą Solvaya amoniak jest surowcem pomocniczym i znajduje się 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 zawracany jest do obiegu.

7. Obieg ditlenku węgla

Przez cały czas trwania procesu CO_2 znajduje się w obiegu. Brakujące ilości CO_2 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.

Wyniki obliczeń podaj w kilogramach z dokładnością do liczb całkowitych.

Wyniki wyrażane w procentach podaj z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku.

Czas przeznaczony na wykonanie zadania wynosi 180 minut.

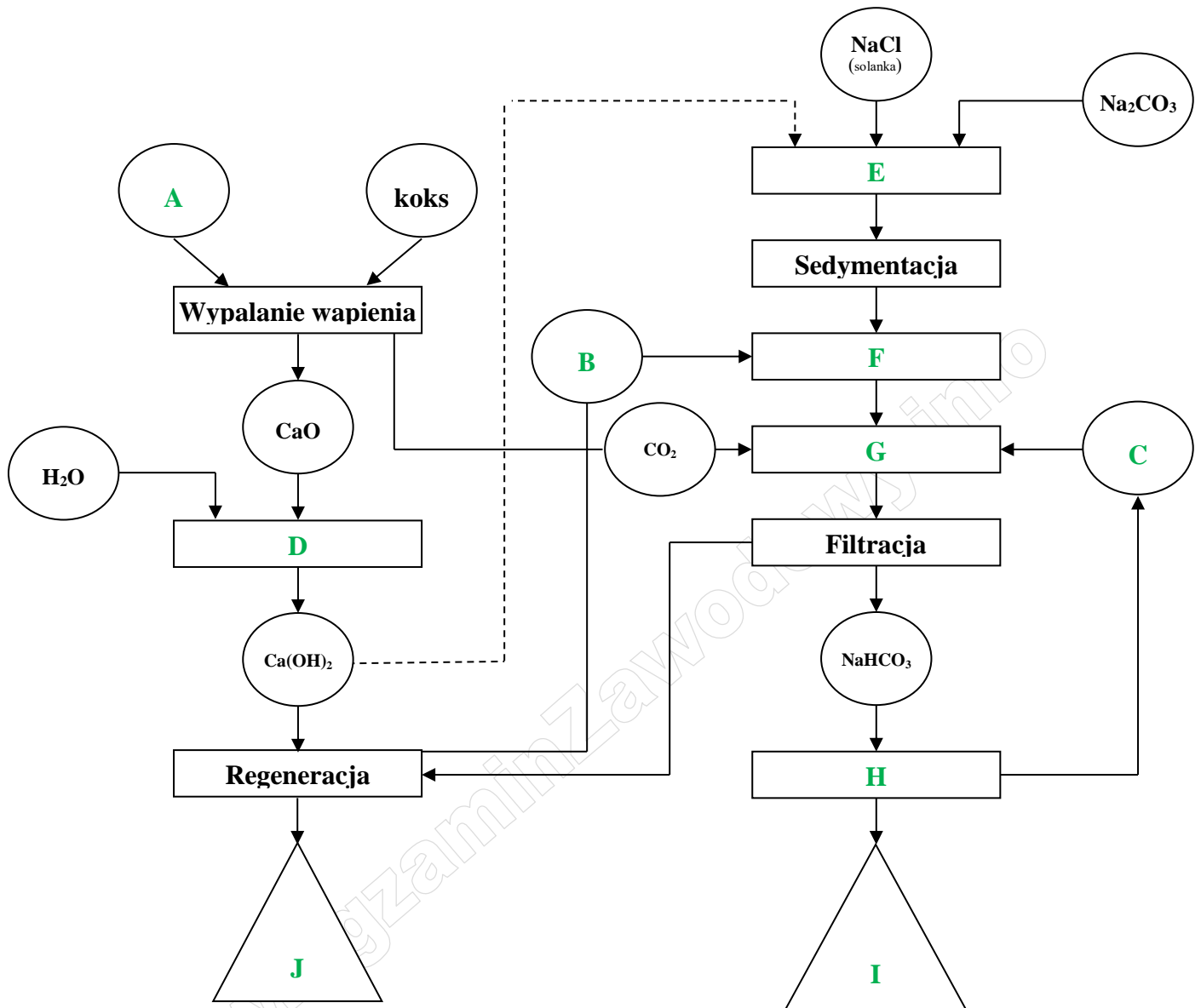
Ocenie podlegać będzie 6 rezultatów:

- karta technologiczna procesu – Tabela 1,
- opis schematu ideowego procesu produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya,
- opis uproszczonego schematu węzła I i węzła II instalacji do produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya – Tabela 2,
- zestawienie obliczeń i wyników dotyczących bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki – Tabela 3,
- zestawienie danych w odniesieniu do wykresu Sankeya dla procesu karbonizacji solanki oraz uzupełniony opis szkicu wykresu - Tabela 4, Tabela 5,
- wykaz wartości temperatury w wybranych punktach kontroli – Tabela 6.

Tabela 1. Karta technologiczna procesu

KARTA TECHNOLOGICZNA PROCESU (odpowiedzi wpisz w wierszach w prawej kolumnie)	
Proces technologiczny	nazwa procesu:
Metoda procesu technologicznego	
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.
Masa koksu podawanego do pieca wapiennego przypadająca na 1 tonę wapienia	
Stężenie solanki wprowadzanej do instalacji	
Metoda oczyszczania solanki z soli wapnia i magnezu	

Opis schematu ideowego produkcji sody kalcynowanej metodą Solvaya



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

Uproszczony schemat instalacji do produkcji sody kalcyonowanej metodą Solvaya

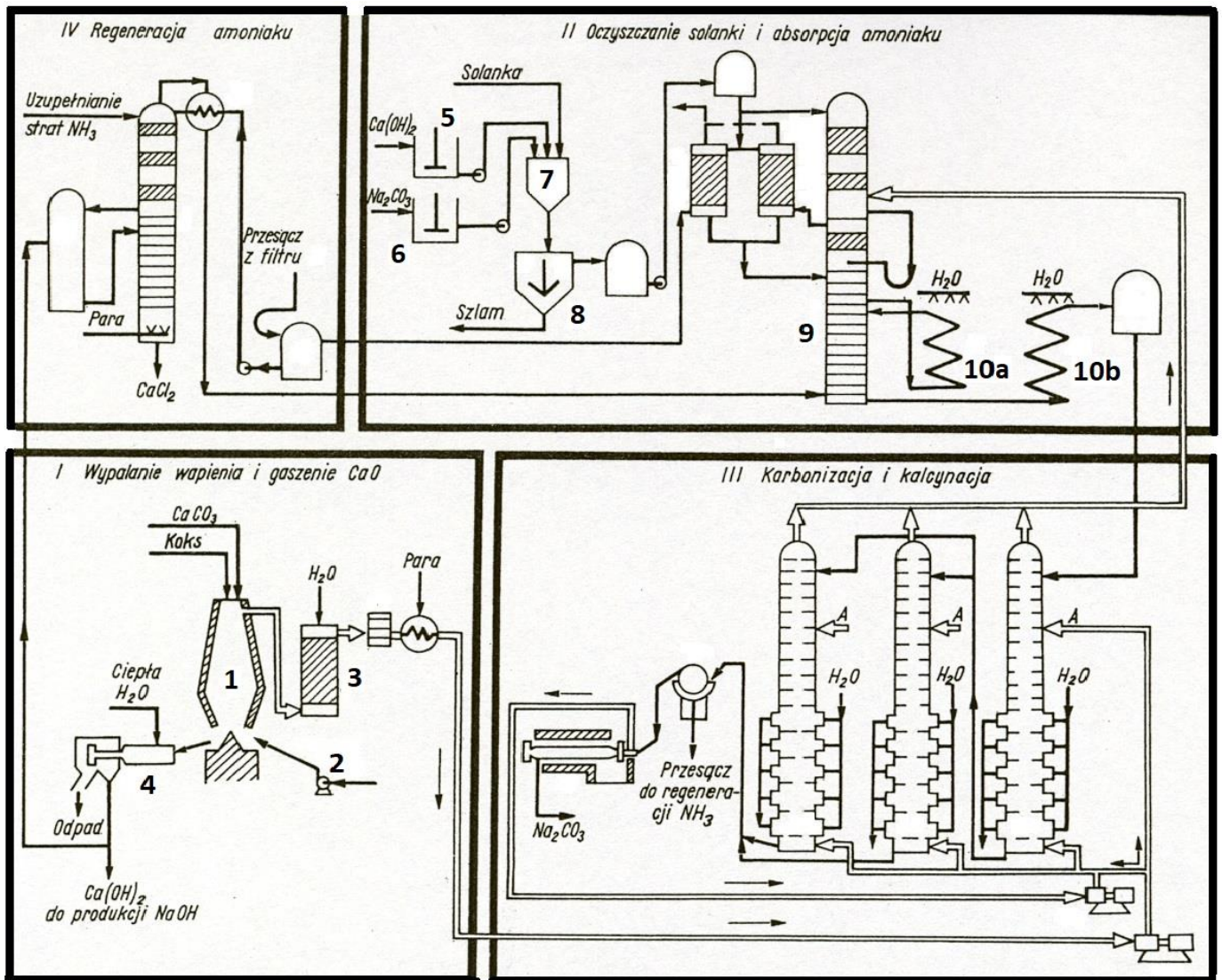


Tabela 2. Opis uproszczonego schematu węzła I (wypalanie wapienia i gaszenie CaO) i węzła II (oczyszczanie solanki i absorpcja amoniaku) instalacji do produkcji sody kalcyonowanej metodą Solvaya

(W pustych polach tabeli wpisz odpowiednio brakującą nazwę urządzenia lub brakujące oznaczenie)

Nazwa urządzenia	Oznaczenie urządzenia na schemacie instalacji
Węzeł I – Wypalanie wapienia i gaszenie CaO	
	numer 4
Skruber do oczyszczania gazów 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

Tabela 3. Zestawienie obliczeń i wyników dotyczących bilansu materiałowego procesu karbonizacji solanki

1. Masa produktu końcowego – sody kalcynowanej [kg]
2. Stechiometryczna (dla teoretycznej 100 % wydajności procesu kalcynacji) masa wodorowęglanu sodu potrzebnego do otrzymania założonej ilości sody [kg]
<i>Uwaga. Do dalszych obliczeń należy użyć obliczonej wartości masy wodorowęglanu sodu zaokrąglonej do liczby całkowitej</i>
3. Rzeczywista masa wodorowęglanu sodu potrzebnego do otrzymania założonej ilości sody [kg]
4. Masa NaCl potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO₃ w procesie karbonizacji [kg]
5. Masa NH₃ potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO₃ w procesie karbonizacji [kg]
6. Masa CO₂ potrzebnego do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO₃ w procesie karbonizacji [kg]
7. Masa wody potrzebnej do wytworzenia niezbędnej ilości NaHCO₃ w procesie karbonizacji [kg]
8. Masa NH₄Cl powstającego w procesie karbonizacji [kg]

Tabela 4. Zestawienie danych w odniesieniu do wykresu Sankeya dla procesu karbonizacji solanki

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

Szkic wykresu Sankeya dla procesu karbonizacji

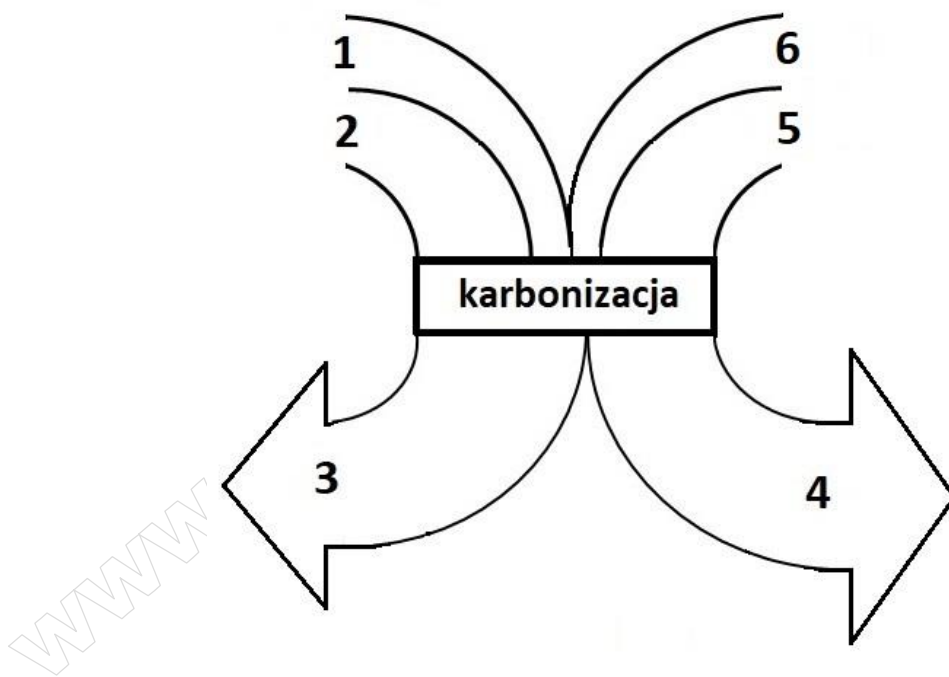


Tabela 5. Opis szkicu wykresu Sankeya dla procesu karbonizacji

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

Tabela 6. Wykaz wartości temperatury w wybranych punktach kontroli

Pomiar temperatury w punkcie kontroli	Oczekiwana wartość temperatury lub przedział [°C]
Temperatura w górnej części pieca wapiennego	
Temperatura w strefie wypalania pieca wapiennego	
Temperatura w strefie chłodzenia pieca wapiennego	
Temperatura wody podawanej do lasownika	
Temperatura w kolumnie absorpcyjnej (absorpcja amoniaku)	
Temperatura na szczycie kolumny karbonizacyjnej	
Temperatura w środkowej części kolumny karbonizacyjnej	
Temperatura zawiesiny odbieranej z dołu kolumny karbonizacyjnej	
Temperatura w piecu kalcynacyjnym	
Temperatura sody odbieranej z pieca kalcynacyjnego	