

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **237180**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **426469**

(22) Data zgłoszenia: **27.07.2018**

(51) Int.Cl.

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/04 (2006.01)

C01B 32/50 (2017.01)

(54)

**Dwustopniowy sposób wychwytu ditlenku węgla z gazów spalinowych
metodą adsorpcyjną**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

10.02.2020 BUP 04/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

22.03.2021 WUP 06/21

(73) Uprawniony z patentu:

**TAURON WYTWARZANIE SPÓŁKA AKCYJNA,
Jaworzno, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**DARIUSZ WAWRZYŃCZAK, Częstochowa, PL
IZABELA MAJCHRZAK-KUCĘBA,
Częstochowa, PL
WOJCIECH NOWAK, Częstochowa, PL
ZBIGNIEW BUDNER, Kędzierzyn-Koźle, PL
JANUSZ ZDEB, Orzesze, PL
WOJCIECH SMÓŁKA, Trzebinia, PL
ARTUR ZAJCHOWSKI, Sosnowiec, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Janusz Tchórz

PL 237180 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest dwustopniowy sposób wydzielania ditlenku węgla z gazów spalinowych metodą próżniowej adsorpcji zmiennociśnieniowej z ponownym wzbogacaniem produktu niskociśnieniowego. Prezentowany sposób wychwytu ditlenku węgla jest przeznaczony do wykorzystania w branży energetycznej, jak również wszędzie tam, gdzie jednostopniowy adsorpcyjny sposób wychwytu ditlenku węgla z gazów poprocesowych będzie niewystarczający.

Gazy spalinowe pochodzące z konwencjonalnego spalania paliw kopalnych poza pyłami, tlenkami siarki, azotu zawierają znaczną ilość ditlenku węgla, będącego jednym z gazów cieplarnianych, którego stężenie w przypadku przemysłu energetycznego wynosi zwykle od 5 do 15%, natomiast w przypadku innych gałęzi przemysłu, na przykład przemysłu cementowego około 30%. W tym celu, w ramach czystych technologii węglowych, proponuje się oczyszczanie gazów spalinowych oraz wydzielanie ditlenku węgla, który następnie może zostać przeznaczony do utylizacji bądź składowania. Wśród proponowanych metod wyróżnia się m.in. metodę adsorpcyjną, wykorzystującą stałe sorbenty do wychwytu ditlenku węgla z gazów spalinowych.

Proponowane jednostopniowe układy adsorpcyjne do separacji CO₂ z gazów spalinowych nie pozwalają na uzyskanie stężenia ditlenku węgla w otrzymywanym produkcie na wystarczającym poziomie, tj. powyżej 90%, dlatego też istnieje konieczność separacji CO₂ w instalacjach dwustopniowych. Jest to realizowane przez skierowanie gazu pochodzącego z pierwszego stopnia separacji, wzbogaconego najczęściej do stężenia 40÷60%, do układu drugiego stopnia separacji, połączonych ze sobą w sposób szeregowy. Taka budowa instalacji pozwala na uzyskanie wysokiej czystości, spełniającej wymagania ditlenku węgla przeznaczonego do składowania, tj. 95% i więcej.

Znany z opisu patentowego EP 0483670 B1 dwustopniowy proces adsorpcji zmiennociśnieniowej (PSA) przedstawia sposób podziału kolumny adsorpcyjnej na dwie sekcje pierwotną i odwróconą. Sekcje mogą być połączone, stanowiąc pojedyncze złożo adsorpcyjne, bądź rozdzielone, składające się z pierwotnego oraz odwróconego złoża połączonego ze sobą przewodem. Gaz zasilający jest doprowadzony do pierwotnego złoża w miejscu połączenia obu sekcji, zaś do odwróconego złoża, od dołu kolumny, doprowadzana jest część produktu ciężkiego. Zastrzeżenie obejmuje sekwencję operacji składających się z:

- przynajmniej dwóch operacji adsorpcji, realizowanych jako selektywną adsorpcję ciężkiego składnika z gazu zasilającego przy podwyższonym ciśnieniu w pierwotnym złożu wraz z otrzymaniem składnika lekkiego stanowiącego produkt lekki oraz zastąpienie produktu lekkiego przez produkt ciężki w odwróconym, zregenerowanym złożu, poprzez selektywną adsorpcję składnika ciężkiego z części produktu ciężkiego kierowanego do odwróconego złoża wraz z odprowadzeniem składnika lekkiego z pozostałą ilością składnika ciężkiego do pierwotnego złoża,
- obniżenia ciśnienia w jednej z kolumn adsorpcyjnych z jednoczesnym podwyższeniem ciśnienia w drugiej z kolumn adsorpcyjnych na zasadzie wyrównania ciśnienia,
- wytwarzania gazu płuczącego, poprzez skierowanie części rozprężonego produktu lekkiego, stanowiącego produkt wysokociśnieniowy, pochodzący z jednej z kolumn adsorpcyjnych, do regeneracji pierwotnego i odwróconego złoża drugiej z kolumn adsorpcyjnych, ze składnika ciężkiego,
- regeneracji pierwotnego i odwróconego złoża za pomocą produktu lekkiego, kierowanego w przeciwnym kierunku do kierunku gazu zasilającego, który ma za zadanie zastąpić i wyprzeć z kolumny zaadsorbowany składnik ciężki, odbierany z dołu odwróconego złoża; część składnika ciężkiego – produktu niskociśnieniowego – odprowadzana jest poza instalację, natomiast pozostała ilość, po sprężeniu i ochłodzeniu doprowadzana jest do odwróconego złoża, znajdującego się w operacji adsorpcji,
- podwyższenia ciśnienia w jednej z kolumn adsorpcyjnych z jednoczesnym obniżeniem ciśnienia w drugiej z kolumn adsorpcyjnych na zasadzie wyrównania ciśnienia.

Zaprezentowany system pozwala na produkcję składnika lekkiego i/lub ciężkiego o dużej czystości z wysokim stopniem odzysku i jest przeznaczony do otrzymywania: argonu, bądź helu, bądź wodoru, bądź ksenonu, bądź kryptonu, stanowiących składnik lekki mieszaniny zasilającej instalację oraz składnika ciężkiego stanowiącego mieszaninę zawierającą tlen, bądź mieszaninę zawierającą azot i metan. Układ, o którym mowa, zawiera sprężarkę, która magazynuje produkt ciężki w zbiorniku buforowym, z którego część gazu jest odprowadzana jako produkt ciężki, ni-

skociśnieniowy, zaś pozostała część podlega zawróceniu do dolnej sekcji kolumny będącej w operacji adsorpcji.

Znany z opisu patentowego EP 0769319 B1 dwustopniowy proces adsorpcji zmiennotemperaturowej (TSA), w którym budowa kolumn adsorpcyjnych jest identyczna jak w opisie patentowym EP 0483670 B1, jest przeznaczony do rozdziału mieszaniny płynów. Zastrzeżenie obejmuje przynajmniej jednokrotny wzrost oraz obniżenie temperatury podczas sekwencji operacji składających się z:

- selektywnej adsorpcji składnika ciężkiego z części produktu ciężkiego kierowanego do odwróconego złoża przy obniżonej temperaturze wraz z odprowadzeniem składnika lekkiego z pozostałą ilością składnika ciężkiego do pierwotnego złoża,
- odprowadzenia składnika lekkiego z góry pierwotnego złoża,
- ogrzewania adsorbera do temperatury desorpcji,
- regeneracji pierwotnego oraz odwróconego złoża w temperaturze desorpcji za pomocą produktu lekkiego, kierowanego do pierwotnego złoża w przeciwnym kierunku do kierunku gazu zasilającego, mającego za zadanie zastąpić i wyprzeć z kolumny zaadsorbowany składnik ciężki, odbierany z dołu odwróconego złoża, część składnika ciężkiego – produktu niskociśnieniowego – odprowadzana jest poza instalację, natomiast pozostała ilość, po sprężeniu i ochłodzeniu jest doprowadzana do odwróconego złoża, znajdującego się w operacji adsorpcji,
- chłodzeniu złoża od temperatury, w której jest realizowana operacja desorpcji, do niższej temperatury, w której przebiega operacja adsorpcji,
- doprowadzeniu gazu zasilającego pomiędzy pierwotne i odwrócone złoża podczas przynajmniej jednej z operacji: adsorpcji, w której jest odprowadzany składnik lekki z pierwotnego złoża, ogrzewania złoża do temperatury desorpcji, regeneracji złoża w temperaturze desorpcji za pomocą produktu lekkiego, chłodzenia złoża.

Zaprezentowany system pozwala na produkcję składnika lekkiego i ciężkiego o dużej czystości przy wysokim stopniu odzysku i jest przeznaczony do otrzymywania: argonu, wody, etanolu, n-węglowodorów, stanowiących składnik lekki mieszaniny zasilającej instalację oraz składnika ciężkiego stanowiącego: tlenek węgla, wodę, izo-węglowodory. W układzie, o którym mowa, ogrzewanie złoża jest realizowane przeponowo.

Znane z opisu patentowego US 6500235 B2 rozwiązanie, jest przeznaczone do odzysku surowego argonu, pochodzącego z kriogenicznej jednostki separacji powietrza, o dużej czystości przy wysokim stopniu odzysku. Zastrzeżenie obejmuje proces oraz instalację, pozwalającą na dwustopniowy rozdział gazu zasilającego metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej, zbudowaną z czterech złoża adsorpcyjnych, pracujących w dwóch układach po dwa złoża (górne i dolne), połączonych ze sobą. Wypełnienie złoża może stanowić jeden adsorbent, bądź mieszaninę adsorbentów do usuwania tlenu oraz azotu. Proces oczyszczania argonu w pierwszym układzie dwóch kolumn obejmuje następujące operacje:

- sprężania złoża do odpowiedniego ciśnienia, poprzez doprowadzenie sprężonego, zanieczyszczonego argonu do dolnej części górnego złoża oraz doprowadzenie części sprężonego produktu niskociśnieniowego, stanowiącego gaz recyrkulacji, pochodzącego z etapu regeneracji złoża z drugiego układu dwóch złoża, do dolnej części dolnego złoża; produkt wysokociśnieniowy, pochodzący z dolnego złoża po procesie adsorpcji, przepływa do dolnej części górnego złoża,
- dalszego sprężania złoża z doprowadzeniem sprężonego, oczyszczonego argonu w przeciwnym kierunku do kierunku gazu zasilającego do górnej części górnego złoża,
- adsorpcji azotu oraz tlenu przy odpowiednim ciśnieniu wraz z odbiorem produktu wysokociśnieniowego – czystego argonu – z górnej części górnego złoża,
- dalszej adsorpcji azotu oraz tlenu przy jednoczesnym skierowaniu otrzymanej części produktu wysokociśnieniowego do górnej części górnego złoża, połączonych z dolnym złożem, znajdujących się w drugim układzie dwóch złoża w celu ich pełnej regeneracji, podczas której otrzymywany jest produkt niskociśnieniowy,
- kontynuacji adsorpcji azotu oraz tlenu wraz z odbiorem produktu wysokociśnieniowego z górnej części górnego złoża do momentu akceptowalnej czystości argonu,
- obniżenia ciśnienia, poprzez wyrównanie ciśnienia pomiędzy pierwszym i drugim układem dwóch złoża, realizowanego jako przepływ gazu z górnej części górnego złoża, znajdującego się w pierwszym układzie dwóch złoża, do górnej części górnego złoża znajdującego się

w drugim układzie dwóch złóż oraz przepływ gazu z dolnej części dolnego złoża, znajdującego się w pierwszym układzie dwóch złóż, do dolnej części dolnego złoża, znajdującego się w drugim układzie dwóch złóż,

- obniżenia ciśnienia w górnym i dolnym złożu poprzez odprowadzenie produktu niskociśnieniowego z dolnej części dolnego złoża z jego częściową recyrkulacją do dolnej części dolnego złoża w drugim układzie dwóch złóż, gdzie realizowana jest operacja sprężania,
- płukania górnego i dolnego złoża częścią produktu wysokociśnieniowego, pochodzącego z drugiego układu dwóch złóż, poprzez jego doprowadzenie do górnej części górnego złoża oraz odbiór produktu niskociśnieniowego z dolnej części dolnego złoża, z częściową jego recyrkulacją do dolnej części dolnego złoża w drugim układzie dwóch złóż,
- kontynuacji obniżenia ciśnienia i regeneracji górnego i dolnego złoża, poprzez odprowadzenie produktu niskociśnieniowego z dolnej części dolnego złoża z częściową jego recyrkulacją do dolnej części dolnego złoża w drugim układzie dwóch złóż,
- podwyższenia ciśnienia poprzez wyrównanie ciśnienia pomiędzy pierwszym i drugim układem dwóch złóż, realizowanego jako przepływ gazu z górnej części górnego złoża, znajdującego się w drugim układzie dwóch złóż, do górnej części górnego złoża, znajdującego się w pierwszym układzie dwóch złóż oraz przepływ gazu z dolnej części dolnego złoża znajdującego się w drugim układzie dwóch złóż do dolnej części dolnego złoża znajdującego się w pierwszym układzie dwóch złóż.

Zaprezentowany system, pozwala na produkcję składnika lekkiego – argonu o czystości minimum 99,9995%, przy stopniu odzysku wynoszącym przynajmniej 90% w przypadku, gdy gaz zasilający instalację zawiera około 97,5% argonu. Każde ze złóż jest wypełnione adsorbentem pozwalającym na selektywną adsorpcję azotu oraz tlenu, przy czym górna warstwa zawiera adsorbent selektywny względem azotu, np. zeolit typu X albo zeolit LiX o wysokim stopniu wymiany ($\geq 86\%$ Li), zaś dolna warstwa adsorbentu jest selektywna względem tlenu, np. węglowe sito molekularne, czy zbudowany z kompleksów pierwiastków przejściowych (tzw. TECs), np. kompleks kobaltu dianionu ligandu chelatującego. Układ o którym mowa zawiera dwie sprężarki, do sprężania gazu zasilającego oraz części produktu niskociśnieniowego, stanowiącego gaz recyrkulacji, pompę próżniową oraz zbiorniki buforowe do magazynowania produktu wysokociśnieniowego oraz gazu recyrkulacji.

Z dostępnego przeglądu literaturowego wynika, iż obecnie prowadzono dwustopniowe badania wychwytu ditlenku węgla z gazów spalinowych, za pomocą połączonych ze sobą szeregowo dwóch instalacji adsorpcyjnych, w których nie występował podział adsorbera na sekcję górną i dolną, następującymi metodami: adsorpcji zmiennociśnieniowej i zmiennotemperaturowej (PTSA), adsorpcji zmiennociśnieniowej (PSA), próżniowej adsorpcji zmiennociśnieniowej (VPSA), (Ishibashi M. i in., *Energy Conversion and Management* 37 (1996) 929–933; Wang L. i in., *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52 (2013) 7947–7955). Prowadzono również dwustopniowe badania metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej z ponownym wzbogacaniem produktu niskociśnieniowego (DR-PSA), w których adsorber był podzielony na sekcję górną oraz dolną. Były to symulacje numeryczne (Thakur i in., *Computers and Chemical Engineering* 35 (2011) 973–983; Bhatt i in., *Chemical Engineering Science* 122 (2015) 34–52), bądź symulacje numeryczne połączone z badaniami eksperymentalnymi przy zastosowaniu syntetycznej mieszaniny gazów spalinowych (Shen i in., *International Journal of Greenhouse Gas Control* 65 (2017) 55–64).

Sposób według niniejszego wynalazku jest realizowany w układzie wyposażonym w urządzenia do schładzania, odpylania, oraz osuszania gazu spalinowego, jak również obniżenia stężenia dwutlenku siarki oraz tlenków azotu, dwóch dmuchaw, z których jedna spręża oczyszczony gaz spalinowy, druga zaś gaz recyrkulacji do ciśnienia adsorpcji, chłodnic sprężonego, oczyszczonego gazu spalinowego oraz gazu recyrkulacji, dwóch pomp próżniowych, z których jedna zainstalowana jest w obiegu gazu recyrkulacji, zaś druga do otrzymywania produktu niskociśnieniowego (CO_2), układu recyrkulacji gazu, zbiorników buforowych produktu nisko- oraz wysokociśnieniowego, jak również gazu recyrkulacji, czterech adsorberów, w których budowie wyróżnia się górną oraz dolną sekcję, wypełnionych stałym sorbentem, innym w górnej oraz dolnej sekcji adsorbera. Budowa układu zapewnia stałą produkcję gazu recyrkulacji otrzymywanego przy podciśnieniu, który jest następnie sprężany, schładzany oraz okresowo magazynowany w zbiorniku buforowym gazu recyrkulacji, celem uniknięcia wahań ciśnienia gazu zasilającego.

Celem rozwiązania według wynalazku jest dwustopniowy sposób wychwytu ditlenku węgla z gazów spalinowych, obejmujący opracowany harmonogram kolejno następujących po sobie ope-

racji technologicznych, realizowany w kompaktowej instalacji metodą próżniowej adsorpcji zmiennociśnieniowej z ponownym wzbogacaniem produktu niskociśnieniowego (DR-VPsA, zwaną metodą dual-reflux vacuum pressure swing adsorption), pozwalający na uzyskanie czystości ditlenku węgla powyżej 90% objętościowych w produkcie, przy jednocześnie wysokim stopniu odzysku CO₂. W zastosowanym sposobie, w procesie regeneracji złoża, jest stosowana próżnia o ciśnieniu 30 kPa abs. i niższym.

Sposobem według wynalazku usuwa się ditlenek węgla z gazów spalinowych oraz gazów procesowych na stałym sorbencie, stanowiącym złożo, wypełniającym kolumny adsorpcyjne, poprzez selektywną adsorpcję składników gazowych przez adsorbent przy podwyższonym ciśnieniu, a następnie usunięciu ze złoża zaadsorbowanych składników gazowych podczas następujących po sobie operacji: obniżania ciśnienia oraz próżniowej regeneracji złoża, połączonej w drugiej części harmonogramu z jego płukaniem, celem zwiększenia stopnia odzysku. Jako wypełnienie kolumn adsorpcyjnych należy stosować sorbent, bądź kilka rodzajów sorbentu, selektywnych względem ditlenku węgla. Przy doborze sorbentu/-ów i/lub objętości sekcji kolumn adsorpcyjnych, należy kierować się obciążeniem każdego ze złożów kolumny adsorpcyjnej, aby czas przebiegu złoża górnej sekcji, przez które przepływa przygotowany gaz spalinowy wraz z produktem poadsorpcyjnym z dolnej sekcji, był zbliżony do czasu wysycenia złoża dolnej sekcji, przez które przepływa gaz recyrkulacji.

Istota dwustopniowego sposobu wydzielania ditlenku węgla z gazów spalinowych metodą próżniowej adsorpcji zmiennociśnieniowej z ponownym wzbogacaniem produktu niskociśnieniowego polega na tym, że proces jest realizowany w układzie co najmniej czterech adsorberów, podzielonych na dwie sekcje: górną (a) i dolną (b), pracujące cyklicznie według powtarzalnego harmonogramu, podczas którego są wykonywane kolejno następujące operacje technologiczne:

- adsorpcji A1 i A2, odpowiednio w górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, podczas których do dolnej części górnej (a) sekcji adsorbera doprowadza się przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego przygotowany gaz spalinowy, zaś do dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera – gaz recyrkulacji, przy czym ciśnienia w obu sekcjach są zbliżone, zaś swobodny przepływ gazu poadsorpcyjnego pomiędzy dolną (b) oraz górną (a) sekcją adsorbera zapewnia by-pass łączący obie sekcje; gaz po procesie adsorpcji jest doprowadzany do zbiornika buforowego gazu poadsorpcyjnego, z którego minimum 80% jest odprowadzana poza instalację jako gaz oczyszczony z CO₂, pozostała część jest stosowana w operacji napełniania adsorbera,
- obniżania ciśnienia EQ↓, realizowana jako wyrównanie ciśnień pomiędzy odpowiednimi adsorberami, podczas której z górnej części górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passem z dolną (b) sekcją adsorbera, we współprądzie do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, odprowadza się gaz i doprowadza w przeciwnym kierunku do górnej części górnej (a) sekcji drugiego adsorbera, połączonej by-passem z dolną (b) sekcją drugiego adsorbera, w którym wykonywana jest operacja podwyższania ciśnienia EQ↑; przepływ gazu zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
- wytwarzania gazu płuczącego w pierwszym PP1 oraz drugim PP2 stopniu, podczas których następuje obniżenie ciśnienia w górnej (a) sekcji adsorbera, poprzez odprowadzenie gazu we współprądzie do przepływu gazu w operacji A1 do górnej części adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania złoża pierwszego P1 lub drugiego P2 stopnia, odbywająca się w przeciwnym kierunku do operacji A1 i A2, przy czym by-pass łączący obie sekcje adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania, pozwala na swobodny przepływ gazu pomiędzy tymi sekcjami; podczas operacji PP1 jest wytwarzany gaz do płukania górnej (a) i dolnej (b) sekcji odpowiedniego adsorbera w celu otrzymania gazu recyrkulacji, zaś podczas operacji PP2 jest wytwarzany gaz do płukania górnej (a) i dolnej (b) sekcji odpowiedniego adsorbera w celu otrzymania produktu niskociśnieniowego (CO₂); przepływ gazu pomiędzy poszczególnymi sekcjami zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
- desorpcji próżniowej pierwszego E1 i drugiego E2 stopnia, podczas której z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera odprowadza się desorbujący gaz w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacji A2, przy czym: podczas operacji E1 jest produkowany gaz recyrkulacji, który doprowadza się do zbiornika buforowego gazu recyrkulacji, zaś podczas operacji E2 jest wytwarzany produkt niskociśnieniowy (CO₂), który doprowadza się do zbiornika buforowego produktu niskociśnieniowego (CO₂); gaz w obu operacjach jest usuwany przy pomocy pomp próżniowych odpowiednio dla operacji E1 oraz E2,

- desorpcji próżniowej E, podczas której z górnej (a) sekcji adsorbera, w której panuje wyższe ciśnienie, odprowadza się gaz poprzez by-pass, łączący obie sekcje, do dolnej (b) sekcji adsorbera, a następnie usuwa przy pomocy pompy próżniowej do zbiornika buforowego gazu recyrkulacji, przy czym przepływ gazu w adsorberze zachodzi w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2,
- płukania złóż pierwszego P1 oraz drugiego P2 stopnia, podczas których do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej poprzez by-pass z dolną (b) sekcją adsorbera, w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, doprowadza się gaz płuczący, pochodzący z odpowiedniej górnej (a) sekcji adsorbera, przy czym operację płukania pierwszego stopnia P1 górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, realizuje się za pomocą gazu płuczącego, pochodzącego z operacji wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia PP1, zaś otrzymany z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera gaz recyrkulacji jest magazynowany w zbiorniku buforowym gazu recyrkulacji, natomiast operację płukania drugiego stopnia P2 górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, realizuje się za pomocą gazu płuczącego, pochodzącego z operacji wytwarzania gazu płuczącego drugiego stopnia PP2, zaś otrzymany z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera produkt niskociśnieniowy (CO₂) jest magazynowany w zbiorniku buforowym produktu niskociśnieniowego (CO₂); przepływ gazu przy podciśnieniu zachodzi przy pomocy odpowiednich pomp próżniowych,
- podwyższania ciśnienia EQ↑, realizowana jako wyrównanie ciśnień pomiędzy odpowiednimi adsorberami, podczas której do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passem z dolną (b) sekcją adsorbera, w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, doprowadza się gaz pochodzący z adsorbera, w którym realizowana jest operacja obniżania ciśnienia EQ↓; przepływ gazu zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
- napełniania adsorbera R, podczas której do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passem z dolną (b) sekcją adsorbera, doprowadza się, w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, gaz ze zbiornika buforowego gazu poadsorpcyjnego do uzyskania wzrostu ciśnienia w adsorberze do wartości ciśnienia adsorpcji.

Sposób wydzielania ditlenku węgla z gazów spalinowych według wynalazku jest wyjaśniony na podstawie opisu budowy i zasady działania przykładowej instalacji, w której jest realizowany wynalazek, pokazanej na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat technologiczny instalacji, fig. 2 przedstawia harmonogram operacji technologicznych dla instalacji, fig. 3 przedstawia harmonogram poszczególnych operacji technologicznych dla pojedynczego adsorbera, a fig. 4 przedstawia profil ciśnień w obu sekcjach dla pojedynczego adsorbera w poszczególnych operacjach procesu.

Wydzielanie ditlenku węgla prowadzi się w instalacji uwidocznionej na fig. 1, w której skład wchodzi: układ przygotowania (odpylania, odsiarczania, odazotowania oraz osuszania) i sprężania 10 gazów spalinowych, adsorbery 1, 2, 3, 4, pompa próżniowa gazu recyrkulacji 5, zbiornik buforowy gazu recyrkulacji 6, sprężarka gazu recyrkulacji 7, chłodnica gazu recyrkulacji 8 i pompa próżniowa produktu niskociśnieniowego (CO₂) 9 oraz zbiornik buforowy gazu poadsorpcyjnego 11. Poszczególne urządzenia technologiczne połączone są przewodami oznaczonymi numerami 101–113. Adsorbery 1, 2, 3, 4 w obu sekcjach mogą być wypełnione tym samym rodzajem sorbentu, bądź różnymi rodzajami sorbentów, takimi jak: węgiel aktywny, zeolit, węglowe sita molekularne, struktury metaloorganiczne, struktury kowalencyjnoorganiczne, zeolitowe struktury imidazolowe, sorbenty modyfikowane i inne. Proces dwustopniowej, próżniowej adsorpcji zmiennociśnieniowej z ponownym wzbogacaniem produktu niskociśnieniowego jest realizowany przy pomocy zaworów V11 do V55, sterowanych z nie uwidocznionego na schemacie sterownika programowalnego oraz zaworów regulacyjnych V52, V54, V59, V65 służących do regulacji strumienia przepływającego gazu.

Zawory V11, V21, V31, V41 służą do doprowadzenia przygotowanego i sprężonego gazu spalinowego przewodem 102 do górnej (a) sekcji adsorberów 1, 2, 3, 4 podczas wykonywania w nich operacji A1, zaś zawory V12, V22, V32, V42 służą do doprowadzenia gazu recyrkulacji przewodem 103 do dolnej (b) sekcji adsorberów 1, 2, 3, 4, podczas wykonywania w nich operacji A2, przy czym strumień gazu recyrkulacji reguluje się za pomocą zaworu V52, zaś przepływ gazu poadsorpcyjnego między dolną (b) a górną (a) sekcją adsorberów, podczas wykonywania w nich odpowiednio operacji A2 i A1, jest realizowany przewodem 104 poprzez zawory V13, V23, V33, V43.

Zawory V14, V24, V34, V44 służą do odprowadzenia gazu poadsorpcyjnego z kolumn 1, 2, 3, 4 przewodem 105, a następnie przewodem 106, poprzez zbiornik buforowy gazu poadsorpcyjnego 11 oraz zawór regulacyjny V54, poza instalację.

Zawory V15, V25, V35, V45 służą do operacji obniżania i podwyższania ciśnienia pomiędzy poszczególnymi adsorberami 1, 2, 3, 4 za pomocą przewodu 107, zgodnie z harmonogramem przedstawionym na fig. 2, przy czym przewód ten odcina się na czas tej operacji od reszty instalacji za pomocą zaworu V55 oraz służą do operacji doprowadzania gazu płuczącego do adsorberów 1, 2, 3, 4 przewodem 108 poprzez zawór V55 zgodnie z harmonogramem przedstawionym na fig. 2, przy czym strumień gazu płuczącego reguluje się za pomocą zaworu regulacyjnego V65.

Zawory V16, V26, V36, V46 służą do operacji odprowadzenia produkowanego gazu płuczącego z górnej (a) sekcji adsorberów 1, 2, 3, 4 przewodem 108, zgodnie z harmonogramem przedstawionym na fig. 2.

Zawory V17, V27, V37, V47 służą do odprowadzenia przewodem 110 z adsorberów 1, 2, 3, 4 gazu recyrkulacji, zgodnie z harmonogramem przedstawionym na fig. 2, przy czym przepływ gazu zachodzi przy pomocy pompy próżniowej 5, która magazynuje gaz w zbiorniku buforowym 6.

Zawory V18, V28, V38, V48 służą do odprowadzenia przewodem 112 z adsorberów 1, 2, 3, 4 produktu niskociśnieniowego (CO_2) za pomocą pompy próżniowej 9, zgodnie z harmonogramem przedstawionym na fig. 2, a następnie poza instalację przewodem 113.

Zawory V19, V29, V39, V49 wraz z zaworem regulującym przepływ V59 służą do napełniania kolumn adsorpcyjnych 1, 2, 3, 4 gazem poadsorpcyjnym w przeciwnym kierunku do gazu zasilającego, do ciśnienia zbliżonego do ciśnienia występującego w operacji adsorpcji.

Na schemacie instalacji przedstawionym na fig. 1, gazy spalinowe są doprowadzane przewodem 101 do układu przygotowania spalin 10, w którym są realizowane procesy: odpylania, usuwania alkaliów i halogenków, odsiarczania, odazotowania, osuszania oraz sprężania. Przewodem 102 przygotowany gaz spalinowy jest doprowadzany do górnych (a) sekcji adsorberów 1, 2, 3, 4. Jednocześnie przewodem 103 jest doprowadzany do dolnych (b) sekcji adsorberów 1, 2, 3, 4 gaz recyrkulacji, którego ciśnienie oraz temperaturę zapewnia sprężarka 7 oraz chłodnica 8. Przewody 104 służą do odprowadzania gazu poadsorpcyjnego z dolnej (b) sekcji adsorbera do górnej (a) sekcji adsorbera, z uwagi na znaczną zawartość ditlenku węgla zawartego w tym gazie, która wynika z dużego obciążenia złoża dolnej (b) sekcji gazem recyrkulacji. Przewodem 105 jest odprowadzany gaz poadsorpcyjny z adsorberów 1, 2, 3, 4 do zbiornika buforowego gazu poadsorpcyjnego 11, a następnie przewodem 106 poza instalację. Przewód 107 służy do obniżania i podwyższania ciśnienia pomiędzy poszczególnymi adsorberami. Przewód 108 jest połączony z przewodem 107 poprzez zawór V55 oraz zawór regulacyjny V65 i służy do wykonywania operacji wytwarzania gazu płuczącego. Przewodem 105 poprzez zawór regulacyjny V59 jest doprowadzana część gazu poadsorpcyjnego do adsorbera 1, 2, 3, 4, w którym jest wykonywana operacja napełniania kolumny, nadmiarowa część gazu poadsorpcyjnego jest odprowadzana z instalacji przewodem 106 przez zbiornik buforowy 11. Przewodem 110 jest odprowadzany, przy obniżonym ciśnieniu, wywołanym przez pompę próżniową 5, do zbiornika buforowego 6 gaz recyrkulacji, który następnie przewodem 111 jest pobierany i sprężany przez sprężarkę 7 oraz ochładzany za pomocą chłodnicy 8. Produkt niskociśnieniowy (CO_2) jest usuwany z adsorberów 1, 2, 3, 4 przy podciśnieniu za pomocą drugiej pompy próżniowej 9, a następnie przewodem 113 odprowadzany poza instalację.

Na fig. 2 został przedstawiony harmonogram dwustopniowego procesu DR-VPsA wydzielania ditlenku węgla z gazów spalinowych, pochodzących ze spalania paliw kopalnych, sposobem według wynalazku. W wierszach tabeli są wskazane operacje technologiczne prowadzone kolejno w czasie t w poszczególnych sekcjach (a) i (b) adsorberów 1, 2, 3, 4. Cykl DR-VPsA jest podzielony na cztery równo trwające sekwencje czasowe. W każdej sekwencji czasowej są wykonywane odpowiednie operacje technologiczne, przy czym każdy z adsorberów w czasie t pracuje w innej sekwencji czasowej, zaś w odniesieniu do całego cyklu, występuje przesunięcie o czas trwania jednej sekwencji cyklu. Rozwiązanie to umożliwia zasilanie instalacji w sposób ciągły za pomocą gazu spalinowego – sekcja górna (a) oraz gazu recyrkulacji – sekcja dolna (b), zapewniając ciągłość prowadzenia procesu. Oznaczenia literowe poszczególnych operacji technologicznych:

A1 – operacja adsorpcji w górnej (a) sekcji adsorbera, w trakcie której przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego z przygotowanego gazu spalinowego oraz z gazu poadsorpcyjnego pochodzącego z dolnej (b) sekcji adsorbera, usuwa się CO_2 ,

A2 – operacja adsorpcji w dolnej (b) sekcji adsorbera, w trakcie której przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego z gazu recyrkulacji usuwa się CO_2 ,

EQ↓ – operacja współprądowego obniżania ciśnienia w adsorberze, desorbowany gaz służy do podwyższenia ciśnienia w innym adsorberze,

PP1 – operacja współprądowego wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia; gaz pochodzący z górnej (a) sekcji adsorbera jest kierowany do adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania złoża pierwszego stopnia P1,

PP2 – operacja współprądowego wytwarzania gazu płuczącego drugiego stopnia; gaz pochodzący z górnej (a) sekcji adsorbera jest kierowany do adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania złoża drugiego stopnia P2,

E1 – operacja przeciwprądowej desorpcji próżniowej pierwszego stopnia; otrzymany gaz recyrkulacji pochodzący z dolnej (b) sekcji adsorbera, jest kierowany do dolnej (b) sekcji adsorbera znajdującego się w operacji adsorpcji A2,

E2 – operacja przeciwprądowej desorpcji próżniowej drugiego stopnia; otrzymany produkt niskociśnieniowy (CO_2), pochodzący z dolnej (b) sekcji adsorbera, zawiera średnio minimum 90% vol. CO_2 ,

E – operacja przeciwprądowej desorpcji próżniowej; otrzymany gaz recyrkulacji, pochodzący z górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera jest kierowany do dolnej (b) sekcji adsorbera znajdującego się w operacji adsorpcji A2,

P1 – operacja płukania złoża pierwszego stopnia, podczas której do adsorbera w przeciwprądzie doprowadza się gaz pochodzący z operacji wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia PP1, wytworzony produkt niskociśnieniowy (CO_2) zawiera średnio minimum 90% vol. CO_2 ,

P2 – operacja płukania złoża drugiego stopnia, podczas której do adsorbera w przeciwprądzie doprowadza się gaz pochodzący z operacji wytwarzania gazu płuczącego drugiego stopnia PP2, wytworzony gaz recyrkulacji jest kierowany do dolnej (b) sekcji adsorbera znajdującego się w operacji adsorpcji A2,

EQ↑ – operacja przeciwprądowego podwyższania ciśnienia w adsorberze, dopływający gaz pochodzi z operacji obniżania ciśnienia w innym adsorberze,

R – operacja napełniania adsorbera do ciśnienia panującego w operacji adsorpcji, podczas której do adsorbera w przeciwprądzie doprowadza się część gazu poadsorpcyjnego, z którego usunięto CO_2 .

Fig. 3 przedstawia schemat przepływu strumieni gazowych pomiędzy poszczególnymi operacjami technologicznymi w cyklu DR-VPsA. Przygotowany gaz spalinowy jest doprowadzany przewodem 102 do górnej (a) sekcji adsorbera, w którym jest wykonywana operacja adsorpcji A1, zaś gaz recyrkulacji, otrzymywany podczas operacji E1, E, P2 przewodem 110 jest doprowadzany przewodem 103 do dolnej (b) sekcji adsorbera, w którym jest wykonywana operacja adsorpcji A2. Następnie gaz poadsorpcyjny z dolnej (b) sekcji adsorbera, zubożony w ditlenek węgla, jest kierowany do górnej (a) sekcji adsorbera przewodem 104, gdzie miesza się z przygotowanym gazem spalinowym. Tam zachodzi dalszy proces wychwytu ditlenku węgla ze zmieszanych strumieni gazu, zaś oczyszczony z ditlenku węgla gaz poadsorpcyjny jest odprowadzany z adsorbera przewodem 105, a następnie poza instalację przewodem 106. Operacja współprądowego obniżania ciśnienia w adsorberze po zakończonej operacji adsorpcji A1 i A2 oraz operacja współprądowego podwyższania ciśnienia w adsorberze po zakończonej operacji płukania złoża drugiego stopnia P2 jest realizowana pomiędzy określonymi adsorberami poprzez przepływ gazu przewodem 107 w wyniku różnicy ciśnień. Pierwsza operacja wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia PP1, przepływającego przewodem 108, służy do wytworzenia produktu niskociśnieniowego (CO_2), otrzymywanego z adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania złoża pierwszego stopnia P1. Produkt niskociśnieniowy (CO_2) jest odprowadzany przewodem 112, a następnie przewodem 113 poza instalację. Przepływ gazu zachodzi w wyniku wytwarzania podciśnienia w adsorberze znajdującym się w operacji płukania złoża P1 za pomocą pompy próżniowej 9. Z kolei druga operacja wytwarzania gazu płuczącego drugiego stopnia PP2, stosowanego w operacji płukania złoża drugiego stopnia P2, służy do wytworzenia gazu recyrkulacji, który jest odprowadzany przewodem 110, a następnie poprzez zespół składający się z pompy próżniowej 5, zbiornika buforowego gazu recyrkulacji 6, przewodu 111, sprężarki 7 oraz chłodnicy 8, jest tłoczony przewodem 103 do dolnej (b) sekcji adsorbera znajdującej się w operacji adsorpcji A2. Podczas gdy górna (a) sekcja adsorbera realizuje operację wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia PP1 lub drugiego PP2 stopnia, w dolnej (b) sekcji adsorbera jest prowadzona desorpcja próżniowa pierwszego stopnia E1, z wytworzeniem gazu recyrkulacji, odprowadzanego przewodem 110, oraz desorpcja próżniowa drugiego stopnia E2, z wytworzeniem produktu niskociśnieniowego (CO_2), odprowadzanego przewodem 112. Następnie w górnej (a) jak i w dolnej (b) sekcji adsorbera jest realizowana operacja desorpcji próżniowej kolumny adsorpcyjnej E z wytworzeniem gazu recyrkulacji. Cykl

DR-VPsA kończy operacja napełniania adsorbera gazem poadsorbpcyjnym, którego część jest doprowadzana do adsorbera przewodem 109, pozostały gaz odprowadzany jest przewodem 106 poza instalację.

Rysunek fig. 4 przedstawia przebieg zmian ciśnienia w obu sekcjach adsorbera w trakcie trwania poszczególnych operacji procesu DR-VPsA dla pojedynczego adsorbera. Operacja adsorpcji A1 w górnej (a) oraz A2 dolnej (b) sekcji adsorbera jest prowadzona przy stałym ciśnieniu p_1 . W operacji EQ↓ ciśnienie obniża się do wartości p_2 . Następnie w górnej (a) oraz dolnej (b) sekcji adsorbera ciśnienie obniża się dwukrotnie podczas następujących operacji: PP1 do wartości p_3 oraz PP2 do wartości p_5 oraz odpowiednio E1 do wartości p_4 oraz E2 do wartości p_6 . W operacji E ciśnienia w obu sekcjach zostają wyrównane do wartości p_7 . Następnie w obu sekcjach adsorbera następuje jednocześnie obniżenie ciśnienia do wartości p_8 podczas operacji P1 oraz do wartości p_9 podczas operacji P2. Kolejno podczas operacji EQ↑ górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera następuje wzrost ciśnienia do wartości p_{10} , po której w trakcie operacji R ciśnienie wzrasta do wartości ciśnienia p_1 jakie występuje podczas operacji adsorpcji.

Efektywność wydzielania ditlenku węgla z gazów spalinowych sposobem według wynalazku przedstawia poniższy przykład technologiczny.

W pilotowej instalacji DR-VPsA, zawierającej cztery adsorbery, każdy o pojemności: sekcja (a) górna 0,213 m³, sekcja (b) dolna 0,070 m³ prowadzono rozdział rzeczywistego gazu spalinowego, pochodzącego z kotła na parametry nadkrytyczne w warunkach przemysłowych. Gaz po oczyszczeniu, sprężeniu i osuszeniu zawierał średnio 13% vol. CO₂. Adsorbery zostały wypełnione w górnej (a) sekcji zeolitem w ilości 117 kg każdy oraz w dolnej (b) sekcji węglem aktywnym w ilości 29 kg każdy. Dodatkowo w każdej sekcji adsorbera na spodzie znajdowało się: w sekcji (a) górnej 16 kg tlenku glinu, w sekcji (b) dolnej 12 kg tlenku glinu. Zeolit posiadał powierzchnię właściwą 492 m²/g, węgiel aktywny powierzchnię właściwą 748 m²/g, a tlenek glinu 536 m²/g według BET. Proces DR-VPsA wydzielania ditlenku węgla prowadzono w temperaturze 284 K. Parametry cyklu DR-VPsA zestawione zostały w tabeli 1.

T a b e l a 1
Parametry cyklu DR-VPsA

Operacja technologiczna	czas trwania operacji technologicznej [s]	oznaczenie ciśnienia	ciśnienie charakterystyczne operacji technologicznej [kPa abs.]
A1, A2	240	p_1	160
EQ↓/ EQ↑	6	p_2	75
PP1	15	p_3	65
E1	15	p_4	20
PP2	219	p_5	45
E2	219	p_6	5
E	6	p_7	35
P1	15	p_8	25
P2	219	p_9	15
R	234	p_{10}	160

Z instalacji otrzymano 72,5 Nm³/h gazu poadsorbpcyjnego, zawierającego średnio 5% vol. CO₂ oraz 7,3 Nm³/h produktu niskociśnieniowego (CO₂), zawierającego średnio 91% vol. CO₂. Na tej podstawie oszacowano strumień gazu zasilającego, liczonego jako suma produktu nisko- oraz wysokociśnieniowego, który wyniósł 79,8 Nm³/h. Stopień odzysku ditlenku węgla, definiowany jako stosunek ilości CO₂ zawartego w produkcie niskociśnieniowym (CO₂) do ilości CO₂ zawartego w gazie poadsorbpcyjnym oraz produkcie niskociśnieniowym (CO₂), wyniósł około 65%. Ilość gazu recyrkulacji o stężeniu 83%, kierowanego do dolnej (b) sekcji adsorbera wyniosła 12,5 Nm³/h.

Zastrzeżenia patentowe

1. Dwustopniowy sposób wychwytu ditlenku węgla z gazów spalinowych metodą adsorpcyjną w instalacji zawierającej: sprężarki wytwarzające ciśnienie dla realizacji operacji adsorpcji, pompy próżniowe generujące podciśnienie dla realizacji operacji desorpcji, wytwarzania gazu płuczącego oraz operacji płukania złóż, zbiorniki buforowe do magazynowania produktów oraz gazu recyrkulacji, wymiennik, bądź wymienniki ciepła, służące do regulacji temperatury gazu doprowadzanego do adsorberów, korzystnie cztery adsorbery, w których budowie wyróżnia się górną oraz dolną sekcję, przy czym sekcje te są połączone za pomocą by-passu wyposażonego w zawór odcinający, zaś adsorbery połączone są ze sobą układem przewodów wyposażonych w zawory odcinające, polegający na doprowadzeniu do adsorpcyjnego układu wydzielania CO₂ przygotowanych spalin do sekcji górnej oraz gazu recyrkulacji do sekcji dolnej, **znamienny tym**, że pełny cykl zawiera kolejno po sobie wykonywane operacje technologiczne:
 - adsorpcji A1 i A2, odpowiednio w górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, podczas których do dolnej części górnej (a) sekcji adsorbera doprowadza się przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego przygotowany gaz spalinowy, zaś do dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera – gaz recyrkulacji, przy czym ciśnienia w obu sekcjach są zbliżone, zaś swobodny przepływ gazu poadsorpcyjnego pomiędzy dolną (b) oraz górną (a) sekcją adsorbera zapewnia by-pass łączący obie sekcje; gaz po procesie adsorpcji jest doprowadzany do zbiornika buforowego gazu poadsorpcyjnego, z którego minimum 80% jest odprowadzana poza instalację jako gaz oczyszczony z CO₂, zaś pozostała część jest stosowana w operacji napełniania adsorbera,
 - obniżania ciśnienia EQ↓ realizowana jako wyrównanie ciśnień pomiędzy odpowiednimi adsorberami, podczas której z górnej części górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passem z dolną sekcją (b) adsorbera, we współprądzie do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, odprowadza się gaz i doprowadza w przeciwaprądzie do górnej części górnej (a) sekcji drugiego adsorbera, połączonej by-passem z dolną (b) sekcją drugiego adsorbera, w którym jest wykonywana operacja podwyższania ciśnienia EQ↑; przepływ gazu zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
 - wytwarzania gazu płuczącego w pierwszym PP1 oraz drugim PP2 stopniu, podczas których następuje obniżenie ciśnienia w górnej (a) sekcji adsorbera, poprzez odprowadzenie gazu we współprądzie do przepływu gazu w operacji A1 do górnej części adsorbera, w którym realizowana jest operacja płukania złoża pierwszego P1 lub drugiego P2 stopnia, odbywająca się w przeciwaprądzie do operacji A1 i A2, przy czym by-pass łączący obie sekcje adsorbera, w którym jest realizowana operacja płukania, pozwala na swobodny przepływ gazu pomiędzy tymi sekcjami; podczas operacji PP1 jest wytwarzany gaz do płukania górnej (a) i dolnej (b) sekcji odpowiedniego adsorbera w celu otrzymania gazu recyrkulacji, zaś podczas operacji PP2 wytwarzany jest gaz do płukania górnej (a) i dolnej (b) sekcji odpowiedniego adsorbera w celu otrzymania produktu niskociśnieniowego (CO₂); przepływ gazu pomiędzy poszczególnymi sekcjami zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
 - desorpcji próżniowej pierwszego E1 i drugiego E2 stopnia, podczas której z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera odprowadza się desorbujący gaz w przeciwaprądzie do przepływu gazu w operacji A2, przy czym: podczas operacji E1 jest produkowany gaz recyrkulacji, który doprowadza się do zbiornika buforowego gazu recyrkulacji, zaś podczas operacji E2 jest wytwarzany produkt niskociśnieniowy (CO₂), który doprowadza się do zbiornika buforowego produktu niskociśnieniowego (CO₂); gaz w obu operacjach jest odsysany przy pomocy pomp próżniowych odpowiednio dla operacji E1 oraz E2,
 - desorpcji próżniowej E, podczas której z górnej (a) sekcji adsorbera, w której panuje wyższe ciśnienie, odprowadza się gaz poprzez by-pass, łączący obie sekcje, do dolnej (b) sekcji adsorbera, a następnie usuwa przy pomocy pompy próżniowej do zbiornika buforowego gazu recyrkulacji, przy czym przepływ gazu w adsorberze zachodzi w przeciwaprądzie do przepływu gazu w operacjach A1 i A2,
 - płukania złóż pierwszego P1 oraz drugiego P2 stopnia, podczas których do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej poprzez by-pass z dolną (b) sekcją adsorbera, w przeciwaprądzie do przepływu gazu w operacjach A1 i A2,

prądzie do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, doprowadza się gaz płuczący, pochodzący z odpowiedniej górnej (a) sekcji adsorbera, przy czym operację płukania pierwszego stopnia P1 górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, realizuje się za pomocą gazu płuczącego, pochodzącego z operacji wytwarzania gazu płuczącego pierwszego stopnia PP1, zaś otrzymany z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera gaz recyrkulacji jest magazynowany w zbiorniku buforowym gazu recyrkulacji, natomiast operację płukania drugiego stopnia P2 górnej (a) i dolnej (b) sekcji adsorbera, realizuje się za pomocą gazu płuczącego, pochodzącego z operacji wytwarzania gazu płuczącego drugiego stopnia PP2, zaś otrzymany z dolnej części dolnej (b) sekcji adsorbera produkt niskociśnieniowy (CO_2) magazynowany jest w zbiorniku buforowym produktu niskociśnieniowego (CO_2); przepływ gazu przy podciśnieniu zachodzi przy pomocy odpowiednich pomp próżniowych,

- podwyższania ciśnienia $\text{EQ}\uparrow$, realizowana jako wyrównanie ciśnień pomiędzy odpowiednimi adsorberami, podczas której do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passsem z dolną (b) sekcją adsorbera, w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, doprowadza się gaz pochodzący z adsorbera, w którym realizowana jest operacja obniżania ciśnienia $\text{EQ}\downarrow$; przepływ gazu zachodzi w wyniku różnicy ciśnień,
 - napełniania adsorbera R, podczas której do górnej (a) sekcji adsorbera, połączonej by-passsem z dolną (b) sekcją adsorbera, doprowadza się, w przeciwnym kierunku do przepływu gazu w operacjach A1 i A2, gaz ze zbiornika buforowego gazu poadsorpcyjnego do uzyskania wzrostu ciśnienia w adsorberze do wartości ciśnienia adsorpcji.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w instalacji istnieje możliwość pracy większej liczby dwusekcyjnych adsorberów niż cztery, w układzie dwóch lub większej ilości adsorberów podczas jednej bądź większej ilości operacji technologicznych.
 3. Sposób według zastrz. 1–2, **znamienny tym**, że sposób przygotowania gazów spalinowych polegający na ich oczyszczeniu, osuszeniu oraz ochłodzeniu może być realizowany za pomocą integralnego układu przygotowania gazów spalinowych z adsorpcyjnym układem wychwytu ditlenku węgla, jak również stanowić oddzielną instalację niezwiązaną z układem wychwytu CO_2 .
 4. Sposób według zastrz. 1–2, **znamienny tym**, że jako wypełnienie złóż adsorbera stosuje się jeden sorbent, bądź mieszaninę sorbentów selektywnych względem CO_2 , które należy dobrać w taki sposób, aby zapewnić w sekcji górnej wystarczającą pojemność adsorpcyjną względem CO_2 ze spalinowego gazu zasilającego oraz gazu poadsorpcyjnego, pochodzącego z dolnej sekcji adsorbera, zaś w sekcji dolnej wystarczającą pojemność adsorpcyjną względem CO_2 dla gazu recyrkulacji, przy czym przy doborze sorbentu/-ów i/lub objętości sekcji kolumn adsorpcyjnych, należy kierować się obciążeniem każdego ze złóż kolumny adsorpcyjnej, aby czas przebiegu złoża górnej sekcji, przez które przepływa przygotowany gaz spalinowy wraz z produktem poadsorpcyjnym z dolnej sekcji, był zbliżony do czasu wysycenia złoża dolnej sekcji, przez które przepływa gaz recyrkulacji.
 5. Sposób według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że proces wydzielania CO_2 może być realizowany z gazów spalinowych pochodzących z branży energetycznej oraz innych gazów procesowych.