

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245093 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438595**

(22) Data zgłoszenia: **2021.07.27**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.01.30 BUP 05/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.05.13 WUP 20/2024**

(51) MKP:

C02F 11/00 (2006.01)

C02F 11/122 (2019.01)

C02F 11/131 (2019.01)

B09B 3/00 (2022.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

LECH SITNIK, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Katarzyna Paprzycka, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

Sposób przetwarzania substratów z biomasy oraz układ do jego realizacji

PL 245093 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób przekształcania substratów z biomasy do produktów płynnych, które wykorzystywane są jako paliwa silnikowe lub komponenty paliw lub energii elektrycznej i cieplnej. Wynalazek dotyczy również układu przetwarzania biomasy, który znajduje zastosowanie w przemyśle paliwowym, energetyce oraz przekształcania odpadów, w którym biomasa znajdująca w polu promieniowania zwłaszcza termicznego i/lub mikrofalowego, przekształcana jest z wykorzystaniem wody w jej stanie pod- i nadkrytycznym, a pochodzące z biomasy produkty stałe utylizowane są w drodze mikrofalowej witrifikacji.

Substratami jest biomasa w tym odpadowa zawarta w roślinach, odpadach komunalnych, osadach ściekowych itp.

Energia produktów palnych powstających w trakcie przekształcania jest częściowo wykorzystywana na potrzeby własne instalacji do realizacji przedmiotowej technologii duo hydrotermicznej tak, że instalacja ta może być autonomiczna energetycznie.

Sposób wg projektu jest szczególnie przydatny do przekształcania biomasy mokrej.

Wobec zagrożenia świata wynikającego z nadmiernej emisji CO₂, czyli emisji, która nie może być całkowicie wykorzystana w obiegu CO₂ w przyrodzie, istnieje pilna potrzeba jej zbilansowania, a to oznacza konieczność wykorzystywania do celów energetycznych wyłącznie zasobów odnawialnych.

Zasoby te stanowi m.in. biomasa w jej różnych formach i postaciach, w tym jako składowa odpadów komunalnych i osadów ściekowych.

Istnieje wiele sposobów upłynniania biomasy oraz przekształcania jej na nośniki energii takie jak gazy palne, czy palne ciecze. Sposoby te różnią się między sobą złożonością procesu, kosztami instalacji czy też skalą osiągnięcia zdolności wdrożeniowej (laboratoryjna, pilotażowa, demonstracyjna, przemysłowa). W sposobach tych, do konwersji substratów w formy o wyższej gęstości energii, najczęściej wykorzystywane jest ciepło.

W dotychczasowej praktyce i działających instalacjach technologicznych w/w substraty, są albo bezpośrednio spalane albo też wstępnie przekształcane termicznie w wysokotemperaturowych procesach taryfikacji lub pirolizy. Znane są również metody biologiczne przekształcania substratów w procesach bio zgazowania (w procesach kompostowania lub fermentacji przyspieszonej). Wadą tych procesów jest niska sprawność energetyczna oraz powstawanie problematycznych produktów – najczęściej odpadów. Niska sprawność energetyczna wynika z faktu, że substraty przed wprowadzeniem do procesów muszą osiągać bardzo niskie wartości zawilgocenia. Ich suszenie jest bardzo energochłonne. W procesach biologicznych, w których przekształcana jest biomasa mokra, przekształceniu do gazów ulega natomiast niewielka tylko część (mniejsza od 20% m/m) substratów. Powstawanie problematycznych produktów wynika również z faktu, że w/w substraty, jako paliwa, nie są przed spalaniem oczyszczane, zwłaszcza chemicznie. W procesie spalania są zatem brudnym paliwem. Spaliny, powstałe z tego spalania, zawierają cały szereg składników toksycznych, trudnych do odseparowania i utylizacji.

Problematyczne są również pozostałości po procesach spalania czyli żużle i popioły. Pozostałości te są trudne do zagospodarowania i najczęściej są składowane – ze wszystkimi tego ujemnymi skutkami.

Wątpliwe są również pozostałości po procesach bio przekształcania. Np. w biogazowniach pozostałość taka stanowi ponad 80% wsadu. Ta pozostałość traktowana jest jako nawóz, ale jak się okazuje środowisko jest w stanie przyjąć tylko ograniczoną jego masę.

Korzystniejsze, w stosunku do spalania bezpośredniego, są procesy taryfikacji lub pirolizy. Procesy te są również względnie mało sprawne energetycznie. Wynika to zarówno z faktu, że substraty kierowane do w/w procesów muszą być praktycznie pozbawione wilgoci ale też z faktu, że energia cieplna do toryfikacji lub pirolizy biomasy dostarczana jest, w istniejących rozwiązaniach technologicznych, zarówno w drodze promieniowania (termicznego) jak też w drodze przewodzenia i unoszenia. Wiadomym natomiast jest, że biomasa słabo przewodzi ciepło, zatem dostarczanie energii w wymieniony sposób oznacza długi czas realizacji procesu i wysokie straty energetyczne. Problematycznym produktem procesu toryfikacji oraz pirolizy jest powstający w tym procesie węgiel w postaci koksiku. Powstaje on na skutek wytwarzania, miejscowo, zbyt wysokiej temperatury (przy braku dostępu powietrza). Węgiel ten sorbuje, zwłaszcza metale ciężkie zawarte w substratach. Nie jest zatem możliwe jego

bezpośrednie spalanie, a utylizacja w innych procesach jest trudna i energochłonna. Oczywiście problematyczne są również poprocesowe pozostałości popiołowe. Te jak w przypadku spalania są najczęściej składowane.

Wiele form substratów charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością wilgoci (nawet rzędu 60–80%). Sprawia to, że są one trudne zarówno do przechowywania i transportu, jak i do przekształcania.

Niedogodnością jest zatem, że mokre substraty (biomasa, odpady i osady), by być substratem wielu rozwijanych obecnie technologii np. pirolizy, wymagają wstępnego przygotowania poprzez osuszenie, co jest skomplikowane i generuje dodatkowe koszty energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne.

Jednym z procesów termicznego przekształcania biomasy, w którym wykorzystywany jest wsad niewymagający wstępnego osuszania jest tzw. hydrotermiczne upłynnianie mokrej biomasy.

Proces ten przebiega na ogół w temperaturze 280–370°C i przy ciśnieniu 10–25 MPa. Są to warunki podkrytyczne, czyli bliskie warunkom krytycznym (istnienia) wody w postaci ciekłej tj. temperaturze krytycznej $T_K = 374,2^\circ\text{C} = 647,35\text{ K}$ oraz ciśnieniu krytycznemu $p_K = 22,1\text{ MPa} = 22\,131\,360\text{ Pa}$.

Istotne jest, że w temperaturze o wartościach wyższych jak wartość krytyczna woda nie istnieje w postaci ciekłej niezależnie od wartości ciśnienia. Istnieje natomiast jako gaz tzn. jest parą wodną. W temperaturze ok. 3000°C woda (para wodna) ulega termicznemu rozkładowi na tlen i wodór.

Woda w warunkach podkrytycznych ma właściwości pośrednie między cieczą a gazem. W warunkach tych np. biomasa, ulega depolimeryzacji. Głównymi produktami depolimeryzacji są (bio)gazy, bioolej, biowęgiel (koksik), związki rozpuszczalne w wodzie oraz minerały. Niekorzystne w procesie jest powstawanie biowęgla (koksiku). Można je jednak ograniczyć m.in. poprzez wprowadzenie katalizatorów alkalicznych.

Proces prowadzony jest w klasycznych reaktorach (najczęściej kotłach) ogrzewanych zewnątrz (płaszczowo). Reaktory te charakteryzują się dużą pojemnością, a jednocześnie względnie małą objętością doprowadzenia do substratów ciepła w drodze promieniowania termicznego. Ponieważ strefa promieniowania termicznego obejmuje względnie małą objętość przyścienną reaktora, to oznacza to jednocześnie, że ciepło, w drodze promieniowania (absorbowane przez biomasę), dostarczane jest do procentowo niewielkiej objętości substratów. Ponieważ przewodnictwo cieplne substratów jest względnie niskie, oznacza to, że większa ilość dostarczanego ciepła absorbowana jest przez biomasę w drodze konwekcji i unoszenia, czyli bardzo powoli i z dużymi stratami, a to z kolei oznacza konieczność realizacji procesu w długim czasie, w którym występuje nadmierne koksowanie substratów. Są to niedogodności.

Ze względu na trudne warunki prowadzenia procesu depolimeryzacji, w wodzie o parametrach podkrytycznych, jego zastosowanie w przemyśle jest ograniczone. Proces ten wciąż pozostaje w fazie badań i w większości przypadków prowadzony jest w skali laboratoryjnej. Niemniej istnieje kilka technologii w skali pilotażowej czy demonstracyjnej, w których proces jest realizowany.

Przykładem jest sposób HTU (z ang. hydrothermal upgrading). Prace nad nią prowadziły laboratoria Shell w Amsterdamie już w latach osiemdziesiątych XX wieku. W 2004 roku uruchomiona została instalacja pilotażowa w Apeldoorn w Holandii. W technologii tej, wilgotny materiał wsadowy ulega depolimeryzacji w wodzie o parametrach podkrytycznych. Czas depolimeryzacji wynosi 5–20 minut. W jej wyniku uzyskuje się ok. 45% (w stosunku do wsadu) biooleju, który może być poddany dalszemu przetwarzaniu np. odtlenieniu i uwodornieniu w obecności katalizatora, krasingowi i rozdestylowaniu do frakcji zbliżonej składem do benzyny, nafty i oleju napędowego.

Osobnym osiągnięciem jest sposób firmy CWT (Changing World Technology), w której proces przekształcania biomasy przebiega w warunkach podkrytycznych wody.

Instalacja składa się z kilku węzłów technologicznych, które można opisać jak następuje: W pierwszej kolejności występuje węzeł mielenia, gdzie wsad mielony jest do takiego stopnia rozdrobnienia by po zmieszaniu z wodą dał się pompować standardowymi pompami do pompowania cieczy brudnych. Jest to niedogodność, nie tylko energetyczna ale również technologiczna, gdyż mielenie zanieczyszczonych substratów wiąże się z przyspieszonym zużyciem elementów mielących i koniecznością ich częstej wymiany co z kolei powoduje przestoje instalacji. Zmieszany z wodą wsad pompowany jest do pierwszego reaktora, w którym panuje wysokie ciśnienie (powyżej 20 MPa) przy względnie niskiej temperaturze (ok. 300°C). Cząstki materiałów takich jak tworzywa sztuczne, odpady organiczne i inne są dyspergowane na mniejsze. W kolejnym reaktorze ciśnienie jest skokowo obniżane, w tych warunkach większa część wody odparowuje (przy mniejszym zapotrzebowaniu energii niż przy ogrzewaniu). Para jest zawracana i ogrzewa reaktor. Ciała stałe sedymentują i następnie są odseparowywane. W następ-

nym etapie zabrudzona ciecz, z poprzedniego reaktora, która podobna jest do ropy naftowej, odparowuje w dwóch reaktorach, przy wyższej temperaturze (ok. 500°C). Częstki tej mieszaniny rozpadają się na jeszcze mniejsze elementy i wraz z oparami z poprzedniego reaktora przedostają się do wież destylacyjnych, gdzie kondensują zależnie od ciężaru właściwego. W ten sposób wyekstrahowane są węgiel, woda, cięższy olej, lżejszy olej i na górze gaz. Poszczególne frakcje przekazywane są do odpowiednich zbiorników. W technologii CWT, w swojej istocie, realizowany jest jedynie proces przekształcania biomasy w warunkach podkrytycznych wody. Niedogodnością tego typu procesu jest to, iż przekształcanie jest zbyt energochłonne, a jednocześnie nie cała masa substratów jest przekształcana tak, by pozostałości procesu nie były uciążliwe dla środowiska, w szczególności występuje bowiem zjawisko przekształcania „odpadu w odpad”.

Z ukraińskiego opisu patentowego nr UA81562 U znana jest metoda hydrotermalnego przetwarzania biomasy odnawialnej, organicznych odpadów rolniczych, odpadów przemysłu drzewnego i chemicznego, odpadów obiektów użyteczności publicznej, diwotu, węgla poniżej normy do produkcji wodoru, metanu i gazu syntezowego zawierającego $H+CO$ lub $H+CO+CO$, która polega na zgazowaniu wodnych zawiesin związków węglowodorowych w obecności katalizatora na bazie węgla aktywnego z łupin orzecha kokosowego z wytworzeniem H , CO , CO_2 , CH_4 i węglowodanów C_2-C_6 w warunkach nadkrytycznych wody w temperaturze 500- pod ciśnieniem 34,5 MPa. 20% wodna zawiesina melasy o strumieniu masowym 1,5 g/g katalizatora poddawana jest obróbce na katalizatorze aluminiowo-miedziano-cynkowym przemysłowego typu CHM-U o podobnej wydajności w stosunku do wodoru w warunkach temperatury obniżonej do 200°C i ciśnienia obniżone do 24,0 MPa.

W chińskim opisie patentowym nr CN103386411 B ujawniono sposób hydrotermalnego przetwarzania odpadów biomasy i jego układ. Metoda obejmuje etapy: materiał poddaje się kolejno obróbce wstępnego podgrzewania zawiesiny, obróbce hydrotermalnej parą pod wysokim ciśnieniem i obróbce przez odparowanie rzutowe. Para stosowana w procesie hydrotermalnym obejmuje parę surową i parę wtórną. Według pary wtórnej, przy różnicy ciśnień pary pomiędzy urządzeniami do reakcji hydrotermalnej, wyrównywanie ciśnienia pary i temperatury obu urządzeń do reakcji hydrotermalnej jest zakończone. Poprzez wielopoziomowe wyrównywanie ciśnień pomiędzy urządzeniami reakcji hydrotermalnej poprawia się efektywność wymiany ciepła i można zmniejszyć zużycie pary surowej.

Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P. 399911 A1 znany jest sposób hydrotermicznego upłynniania biomasy, w którym pobraną ze zbiornika biomasę za pomocą pomp wtłacza się do reaktora, w którym biomasę podgrzewa się w celu uzyskania produktów reaktora w postaci frakcji lotnych, ciekłych i stałych, które rozdziela się w separatorze. Pobraną ze zbiornika biomasę spręża się w pompach do ciśnienia w zakresie od 220 atm. do 250 atm., po czym wstępnie nagrzewa się sprężoną biomasę w wymienniku ciepła do temperatury co najmniej 374–400°C energią cieplną gorących produktów reaktora, a następnie wstępnie nagrzaną biomasę dogrzewa się w reaktorze za pomocą emitowanego z generatorów promieniowania mikrofalowego o częstotliwości w paśmie od 900 MHz do 4 GHz poprzez rozmieszczone wzdłuż komory reaktora promienniki fal spolaryzowanych, których kierunki polaryzacji są prostopadłe dla sąsiednich promienników, a szerokość szczeliny promiennika jest mniejsza od połowy długości fali promieniowania emitowanego z generatorów, przy czym mierzy się odbicia fali elektromagnetycznej doprowadzanej do promienników za pomocą reflektometrów umieszczonych pomiędzy promiennikami, a generatorami oraz mierzy się temperaturę biomasy wewnątrz reaktora za pomocą czujników temperatury i za pomocą sterownika, na podstawie wskazań czujników temperatury i reflektometrów reguluje się moc promieniowania generowanego przez generatory, utrzymując biomasę wewnątrz reaktora w temperaturze w zakresie od 374°C do 400°C.

W amerykańskim opisie patentowym nr US 10689282 B2 opisano proces oparty na obróbce upłynnianiem hydrotermalnym (HTL) do wspólnego przetwarzania wysokowodnych osadów ściekowych i innej biomasy lignocelulozowej do wspólnej produkcji biogazu i bioropy naftowej. Mieszaninę osadu czynnego odpadowego i biomasy lignocelulozowej, takiej jak trociny brzozy/lodyga kukurydzy/MSW, poddano konwersji w warunkach HTL w obecności KOH jako homogenicznego katalizatora. Warunki operacyjne, w tym temperatura reakcji, czas reakcji i stężenie substancji stałych, zoptymalizowano w oparciu o metodologię powierzchni reakcji dla maksymalnej produkcji bioropy naftowej. Najwyższy uzysk bioropy naftowej wynoszący około 34% wag. uzyskano poprzez współzasilanie osadu czynnego odpadowego z biomasą lignocelulozową w optymalnej temperaturze 310°C, czasie reakcji 10 min i stężeniu części stałych 10% wag. Dwa produkty uboczne tego procesu (biowęgiel i produkty rozpuszczalne w wodzie) można również wykorzystać do produkcji energii. Do produkcji biogazu wykorzystano produkty rozpuszczalne w wodzie w ramach testu potencjału biometanu (BMP). Stwierdzono, że w ciągu

30 dni wytworzyły łącznie około 800 ml biometanu na 0,816 g całkowitego węgla organicznego (TOC) lub 2,09 g chemicznego zapotrzebowania na tlen (COD) produktów rozpuszczalnych w wodzie.

Celem wynalazku było zatem opracowanie nowego sposobu przetwarzania substratów z biomasy oraz układu do jego realizacji, które rozwiązywałyby niedogodności opisane powyżej.

Postanowiono zapewnić, aby całość biomasy była upłynniana (do mieszaniny gazów, w tym zawierających gaz syntezowy i par cieczy lekkich) w polu promieniowania termicznego i/lub mikrofalowego, przy wykorzystaniu wody w jej stanie pod- i nadkrytycznym, gdzie miejscowo ulegać ona może dysocjacji termicznej, natomiast poprocesowa frakcja mineralna jest częściowo przekształcona w procesie mikrofalowej wityfikacji do fazy ceramicznej i metalicznej.

Sposób przekształcania substratów z biomasy, według wynalazku, polega na tym że obejmuje następujące etapy:

- a) dwustopniowe komprimowanie substratów z biomasy, przy czym pierwszy stopień odbywa się w prasie tłokowej, drugi stopień odbywa się w prasie ślimakowej wraz z niskotemperaturowym, w temperaturze 90°C, podgrzewaniem biomasy,
- b) wtłoczenie substratów w przestrzeń międzyrurową węzła technologicznego, w postaci reaktora dwururowego z rurami umieszczonymi koncentrycznie i mieszanie biomasy z wodą w jej stanie podkrytycznym, w temperaturze 350–370°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa, w wyniku czego powstają dwa strumienie substratów tj. faza palna i faza stała,
- c) faza palna oraz stała kierowane są do kolejnego węzła technologicznego, w postaci reaktora cyklonowego z wodą w jej stanie nadkrytycznym o temperaturze od 500°C do 3500°C, w wyniku czego następuje dalsza depolimeryzacja fazy palnej i stałej do gazu i par lekkich cieczy, przy jednoczesnym strefowym wprowadzeniu energii w postaci promieniowania mikrofalowego w reaktorze mikrofalowym z zasobnikiem rurowym, celem upłynnienia części fazy stałej tj. koksiku (K),
- d) faza palna składająca się z gazów i par lekkich cieczy oraz faza stała kierowane są do węzła oczyszczania gazu z płuczkami wodnymi i filtrem magnetycznym, gdzie jest płukana wodą demineralizowaną i oczyszczana chemicznie oraz separowana od zanieczyszczeń w separatorze odśrodkowym,
- e) oczyszczona mieszanina gazów i par lekkich cieczy kierowana jest do agregatu prądotwórczego z silnikiem spalinowym, oraz generatorem energii elektrycznej w silniku spalinowym, w którego kolektorze dolotowym, następuje jej mieszanie z wcześniej oczyszczonym w węźle filtracji powietrza powietrzem zasysanym przez silnik i spalanie powstałej mieszaniny,
- f) spaliny z silnika spalinowego, kierowane są do katalitycznego węzła oczyszczania spalin w którym następuje utlenianie resztek niespalonych w silniku gazów, spaliny rozdzielane są na dwa strumienie: strumień energetyczny oraz strumień ciepły,
- g) strumień ciepły, którego ciepło wykorzystywane jest na potrzeby własne układu w węzłach technologicznych,
- h) strumień energetyczny, kierowany jest do węzła organicznego cyklu Rankine'a ORC, w którym następuje przekształcanie energii cieplnej w energię elektryczną, po czym strumienie spalin są łączone i odprowadzane na zewnątrz,
- i) woda zanieczyszczona doprowadzana jest do węzła oczyszczania wody zawierającego kompleks urządzeń do mechanicznego oraz chemicznego jej oczyszczania,
- j) w węźle wityfikacji zawierającym reaktor mikrofalowy w którym substraty osiągają temperaturę powyżej 1500°C następuje stopienie fazy stałej, grawitacyjna separacja fazy metalicznej od fazy ceramicznej w półotwartym kanale spustowym oraz szokowe chłodzenie obu faz w studni sedymentacyjnej zawierającej wodę demineralizowaną,
- k) zanieczyszczenia wody w postaci frakcji mineralnej składającej się z fazy ceramicznej i fazy metalicznej są albo wykorzystywane jako frakcja mineralna nawozów i/lub poddawane wityfikacji poprzez podgrzanie mikrofalowo do temperatury wyższej od ich temperatury topnienia po czym szokowo chłodzone w wodzie.

Układ przekształcania biomasy wg wynalazku zawiera węzeł technologiczny w postaci reaktora dwururowego z rurami umieszczonymi koncentrycznie z wodą w jej stanie podkrytycznym, który dostarcza energię cieplną do substratów w drodze promieniowania termicznego, węzeł technologiczny w postaci reaktora cyklonowego z wodą w stanie nadkrytycznym, dostarczający energię do znajdujących się w nim związków chemicznych i metali zarówno w drodze promieniowania termicznego oraz promieniowania mikrofalowego, węzeł oczyszczania gazu z płuczkami wodnymi, agregat prądotwórczy z silnikiem

spalinowym oraz generatorem energii elektrycznej, węzeł oczyszczania spalin zawierający zarówno trójdrożne reaktory katalityczne, filtry ceramiczne oraz filtry elektromagnetyczne, a także wymienniki ciepła, węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC zawierający układ przekształcania energii cieplnej w energię elektryczną, węzeł oczyszczania wody zawierający kompleks urządzeń do mechanicznego oraz chemicznego jej oczyszczania, węzeł witrifikacji zawierający reaktor mikrofalowy oraz węzeł oczyszczania powietrza zawierający filtry mechaniczne, ceramiczne i włókninowe oraz elektromagnetyczne.

Korzystnie, gdy układ zawiera węzeł technologiczny, w którym woda osiąga temperaturę 350–370°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa.

Korzystnie, gdy w węźle technologicznym energia cieplna jest dostarczana do co najmniej 90% objętości biomasy w drodze promieniowania termicznego.

Korzystnie, gdy układ zawiera węzeł technologiczny z wodą w stanie nadkrytycznym o temperaturze od 500°C do 3500°C.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania gazu co najmniej jedną płuczkę wodną oraz co najmniej jeden filtr magnetyczny.

Korzystnie, gdy agregat prądotwórczy zawiera co najmniej jeden silnik spalinowy oraz generator energii elektrycznej napędzany przez ten silnik.

Korzystnie, gdy silnik spalinowy jest silnikiem wielopaliwowym.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania spalin zawiera co najmniej jeden trójdrożny reaktor katalityczny, co najmniej jeden filtr elektromagnetyczny i co najmniej jeden filtr ceramiczny oraz wymiennik ciepła.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania spalin zawiera co najmniej jeden wymiennik ciepła spalin z innymi nośnikami ciepła, w tym metalami niskotopliwymi i/lub ich solami.

Korzystnie, gdy węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC zawiera układ przekształcania energii cieplnej w energię elektryczną: wymiennik ciepła ORC, turbina ORC oraz generator prądu elektrycznego ORC.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania wody zawiera co najmniej jeden stopień sedymentacji, co najmniej jedną wirówkę wody, co najmniej jeden stopień wymiany jonowej oraz co najmniej jeden stopień filtracji, w tym z wykorzystaniem membrany odwróconej osmozy.

Korzystnie, gdy węzeł witrifikacji, w którym substraty osiągają temperaturę powyżej 1500°C, zawiera co najmniej jeden reaktor mikrofalowy witrifikacji.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania powietrza zawiera co najmniej jeden filtr elektromagnetyczny oraz co najmniej jeden filtr z przegrodą mechaniczną.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania powietrza zawiera filtr z przegrodą włókninową i/lub ceramiczną.

Korzystnie, gdy węzeł oczyszczania powietrza zawiera filtr elektromagnetyczny umieszczony jest przed przegrodą mechaniczną.

Zaletą rozwiązania wg wynalazku jest niskoenergetyczne przekształcanie substratów do energii elektrycznej i cieplnej, a duży nadmiar tych energii może być przekazany do osób trzecich jako energia wyłącznie z zasobów odnawialnych. Istotne jest przy tym, że pochodząca z zasobów odnawialnych energia elektryczna, uzyskiwana jest w systemie rozproszonym i może być przekazywana do e-mobilności. Zaletą rozwiązania jest również to, że faza stała metaliczna jak i ceramiczna są witrifikatami wypłukanymi w wodzie i jako takie mogą stanowić surowiec dla przemysłu hutniczego (faza metaliczna) jak i budowlanego (faza ceramiczna), przy czym ta ostatnia może być przekazana bezpośrednio do środowiska gdyż nie generuje odcieku. Zaletą rozwiązania wg projektu jest również możliwość uzyskiwania mikroelementów (w procesie oczyszczania wody obiegowej) mogących być użyte m.in. jako nawozy. Rozwiązanie wg wynalazku charakteryzuje się praktycznie zerową uciążliwością dla środowiska. Energia uzyskiwana jest z bowiem zasobów odnawialnych, natomiast spaliny praktycznie nie zawierają składników toksycznych oraz cząstek stałych. Biorąc pod uwagę rozbudowany układ filtracji powietrza, doprowadzanego do silnika, oraz rozbudowany układ filtracji spalin należy spodziewać się, że spaliny opuszczające silnik zawierać będą mniej cząstek stałych jak zawartych w otaczającym powietrzu doprowadzanym do silnika. Zaletą rozwiązania wg wynalazku jest również deodoryzacja otoczenia instalacji (na skutek poboru ew. zanieczyszczonego powietrza otaczającego instalację do procesu spalania w silniku).

Przedmiot wynalazku przedstawiony jest bliżej w przykładzie realizacji oraz na fig. 1, który przedstawia układ do realizacji sposobu w którym zaznaczono strumienie substratów i produktów, a także zaznaczono strumienie energii elektrycznej i cieplnej.

Przykład 1

Układ przekształcania biomasy uwidoczniono na fig. 1, który przedstawia węzeł technologiczny 1 w postaci reaktora dwururowego 12 z rurami umieszczonymi koncentrycznie, między które wprowadzana jest biomasa, z wodą w jej stanie podkrytycznym którym woda osiąga temperaturę 350–370°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa charakteryzujący się dostarczaniem do substratów energii cieplnej w drodze promieniowania termicznego, węzeł technologiczny 2 w postaci reaktora cyklonowego 13 z wodą w stanie nadkrytycznym o temperaturze od 500°C do 3500°C, charakteryzujący się dostarczaniem energii do znajdujących się w nim związków chemicznych i metali zarówno w drodze promieniowania termicznego jak też w drodze promieniowania mikrofalowego, węzeł oczyszczania gazu 3 z jedną płuczką wodną 16 i jednym filtrem magnetycznym 17, agregat prądotwórczy 4 z wielopaliwowym silnikiem spalinowym 19 oraz generatorem energii elektrycznej 20, węzeł oczyszczania spalin 5 zawierający zarówno jeden trójdrożny reaktor katalityczny 23, jeden filtr ceramiczny 22 oraz jeden filtr elektromagnetyczny 21, a także wymienniki ciepła 24, węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC 6 zawierający układ przekształcania energii cieplnej w energię elektryczną – wymiennik ciepła ORC 25, turbina ORC 26 oraz generator prądu elektrycznego ORC 27, węzeł oczyszczania wody 7 zawierający kompleks urządzeń do mechanicznego oraz chemicznego jej oczyszczania, w postaci jednego stopnia sedymentacji 31, jednej wirówki wody, jednego wymiennika jonowego 34 oraz jednej membrany odwróconej osmozy 35, węzeł witrifikacji 8, w którym substraty S osiągają temperaturę powyżej 1500°C zawierający reaktor mikrofalowy 36 oraz węzeł oczyszczania powietrza 9 zawierający jeden filtr elektromagnetyczny 28 oraz filtr z przegrodą włókninową 30 i ceramiczną 29.

Fig. 1 przedstawia również strumienie; substratów S, powietrza P, wody W, wody zanieczyszczonej Wb, wody demineralizowanej Wd, dodatków D, a także gazów G, cieczy L, oraz węgla (koksiku) K, fazy stałej Fs. Na Fig. 1 zaznaczono również strumienie energii elektrycznej Ee, energii cieplnej Ec oraz energii cieplnej niskotemperaturowej Ecn. Ponadto na Fig. 1 zaznaczono fazę ceramiczną Fc, fazę metaliczną Fm oraz mikroelement ME.

Przykład 2

Substraty S w postaci biomasy, biomasy odpadowej i osadów ściekowych dostarczane są do węzła technologicznego 1 w postaci reaktora dwururowego 12 z rurami umieszczonymi koncentrycznie, gdzie są dwustopniowo komprimowane, przy czym pierwszy stopień odbywa się w prasie tłokowej 10, drugi stopień odbywa się w prasie ślimakowej 11 wraz z niskotemperaturowym w temperaturze 90°C, podgrzewaniem biomasy, następnie mieszane z wodą będącą w stanie podkrytycznym w temperaturze 360°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa, a mieszanina ta jest podgrzewana w polu promieniowania termicznego tak, by osiągnąć temperaturę i ciśnienie właściwe dla stanu podkrytycznego wody, a jednocześnie zapewniające destrukcję molekuł biomasy oraz np. znajdujących się w mieszaninie tworzyw sztucznych. W wyniku tej destrukcji uzyskujemy dwa strumienie substratów tj. faza palna G, L, K i faza stała Fs. W węźle technologicznym 1 następuje mechaniczna separacja w wyniku której wydzielana jest zabrudzona woda Wb. Woda ta jest odprowadzana przewodem rurowym do kolektora i dalej do węzła oczyszczania wody 7.

Mieszanina gazu G, cieczy L, koksika K oraz fazy stałej Fs, kierowana jest preizolowanym przewodem rurowym do węzła technologicznego 2, w postaci reaktora cyklonowego 13, w którym następuje obniżenie ciśnienia od 20 MPa do 10 MPa oraz wzrost temperatury od 500°C do punktowno 3500°C. W warunkach tych prowadzona jest mechaniczna separacja składowych mieszaniny. W dalszej kolejności strefowo wprowadzane jest podgrzewanie mikrofalowe w reaktorze mikrofalowym (14) z zasobnikiem rurowym 15 koksiku K oraz pozostałości fazy stałej Fs do temperatury punktowno 3500°C. Ciepło od koksiku K i od fazy stałej Fs oraz pochodzące z energii mikrofal, transportowane jest do otaczającej pary tak, że na powierzchni zarówno koksiku K jak i fazy stałej Fs następuje termiczny rozpad wody na tlen O₂ oraz wodór H₂. Tlen wchodzi w reakcję z węglem (koksikiem K) tworząc tlenek i częściowo ditlenek węgla. Tlen wchodzi również w reakcję z cięższymi węglowodorami. Gazy i pary, w tym para wodna, z węzła technologicznego 2 kierowane są przewodem rurowym do węzła oczyszczania gazu 3 z płuczkami wodnymi 16 i filtrem magnetycznym 17, gdzie jest płukana wodą demineralizowaną Wd i oczyszczana chemicznie oraz separowana od zanieczyszczeń w separatorze odśrodkowym 18. Przeciętny skład gazu kierowanego do węzła oczyszczania gazu 3 to: wodór (H₂) 30–35%, węglowodory (C_mH_n) 10–15%, tlenek węgla (CO) 35–40%, ditlenek węgla (CO₂) 15–20%, Metan (CH₄) ok. 2%, para

wodna (H_2O) do 3%, azot (N_2) do 4%. Wartość opałowa tej mieszaniny to ok. 12 GJ/Mg. Faza stała Fs, która sedymentuje w węźle technologicznym 2, tłoczona jest przewodem rurowym do kolektora i dalej do węzła oczyszczania wody 7. Do węzła oczyszczania gazu 3 dostarczana jest, przewodem rurowym, woda demineralizowana Wd z węzła oczyszczania wody 7. W węźle oczyszczania gazu 3 następuje płukanie gazów w wodzie demineralizowanej Wd, która jest w nadmiarze. W wyniku tego gaz opuszczający płuczkę 16 osiąga szokowo temperaturę 250°C. Zapobiega to reakcji de novo odtwarzania się dioksyn i furanów (PCDD/F). Część pary wodnej rozpuszcza się w wodzie demineralizowanej Wd płuczki 16. Woda ta ulega również zabrudzeniu, głównie fazą stałą Fs i dalej jako woda zabrudzona Wd, przewodem rurowym odprowadzana jest do węzła oczyszczania wody 7. W węźle oczyszczania gazu 3 działa filtr magnetyczny 17, który separuje z gazu fazę stałą Fs. Faza stała Fs tłoczona jest przewodem rurowym do kolektora i następnie do węzła oczyszczania wody 7. Oczyszczony, ale wilgotny gaz, o temperaturze 250°C, kierowany jest do wielopaliwowego silnika spalinowego 19 agregatu prądotwórczego 4, w którym w kolektorze dolotowym silnika 19 i w komorze spalania tego silnika 19 miesza się z powietrzem P. Powietrze P dostarczane do silnika 19 jest wcześniej oczyszczane w węźle oczyszczania powietrza 9, w którym oprócz filtru z przegrodą włókninową 30 i ceramiczną 29 działa również filtr elektromagnetyczny 28. Energia elektryczna Ee dostarczana jest do węzła oczyszczania powietrza 9 przewodem elektrycznym. Faza stała Fs odseparowana na filtrze elektromagnetycznym 29 kierowana jest do kolektora i dalej do węzła wityfikacji 8.

W wyniku spalania w wielopaliwowym silniku spalinowym 19 agregatu prądotwórczego 4 gazu G w tlenie zawartym w powietrzu P powstają gorące spalin Sp zawierające energię cieplną Ec oraz energię elektryczną Ee wytwarzaną poprzez generator energii elektrycznej 20 napędzany tym silnikiem 19. Ponadto w układzie chłodzenia silnika 19 powstaje energia cieplna niskotemperaturowa Ecn (o temperaturze nie przekraczającej 100°C). Spaliny Sp kierowane są do węzła oczyszczania spalin 5, w którym na skutek reakcji utleniania niespalonych, w komorze spalania silnika 19, składników gazu G, następuje ich katalityczne utlenianie, co skutkuje wzrostem temperatury spalin Sp do temperatury 600°C. Odpowiednia część energii cieplnej spalin Ec separowana jest w wymienniku ciepła 24 zawartym w węźle oczyszczania spalin 5 i dalej transportowana preizolowanymi przewodami rurowymi do węzła technologicznego 1 oraz węzła technologicznego 2. Do węzła technologicznego 1 przewodami preizolowanymi transportowana jest również energia cieplna niskotemperaturowa Ecn. Odpowiednia część (ok. 20% objętościowo) spalin Sp kierowana jest do węzła organicznego cyklu Rankine'a ORC 6, w którym energia cieplna spalin Sp zamieniana jest na energię elektryczną Ee. Spaliny Sp odprowadzane są przewodem wydechowym do powietrza. Energia elektryczna Ee, uzyskiwana w agregacie prądotwórczym 4 oraz energia elektryczna, uzyskiwana w węźle organicznego cyklu Rankine'a ORC 6 wykorzystywana jest na potrzeby ruchowe układu wg wynalazku, a jej nadmiar odprowadzany jest do osób trzecich. W szczególności energia elektryczna Ee na potrzeby własne układu przesyłana jest przewodami elektrycznymi do elementów 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9.

Woda zabrudzona Wb z węzła technologicznego 1 oraz z węzła oczyszczania gazu 3 jest transportowana, przewodami rurowymi, do węzła oczyszczania wody 7, w którym woda oczyszczana jest zarówno fizycznie jak i chemicznie. Oczyszczanie to jest bardzo dokładne, a proces oczyszczania przebiega wielostopniowo. Są trzy stopnie sedymentacji 31–33, wymiennik jonowy 34 oraz membrana odwróconej osmozy 35. Woda oczyszczona, demineralizowana Wd jest wodą obiegową układu. Ponieważ gaz G, kierowany do silnika 19 w agregacie prądotwórczym 4, jest zawilgocony to następuje ubytek wody, stąd też jest ona uzupełniana z zewnątrz tj. doprowadzana przewodem rurowym do węzła oczyszczania wody 7 jako strumień W. W pierwszym stopniu sedymentacji 31 do wody dodawany jest wodorotlenek sodu (NaOH), przez co podwyższa się jej kwasowość do pH równego około 5,5. Dodatek nadtlenu wodoru H_2O_2 ułatwia powstawanie wodorotlenków żelaza (Fe(OH)_3) i aluminium (Al(OH)_3). Wodorotlenki te osadzają się w osadniku pierwszego stopnia. W drugim stopniu sedymentacji 32, poprzez dalsze dodawanie wodorotlenku sodu (NaOH), uzyskuje się podwyższenie kwasowości wody do wartości $5,5 < \text{pH} < 9,5$, powstają wodorotlenki metali takich jak cynk (Zn(OH)_2), ołów (Pb(OH)_2), miedź (Cu(OH)_2). W trzecim stopniu sedymentacji 33 usuwany jest wodorotlenek wapnia (Ca(OH)_2), który w reakcji z ditlenkiem węgla (CO_2) tworzy węglan wapniowy CaCO_3 . W kolejnym stopniu oczyszczania wody w wymienniku jonowym 34 zatrzymywane są takie metale jak wapń (Ca), magnez (Mg) oraz cynk (Zn). Dla prowadzenia wymiany jonowej niezbędna jest (ze względu na koncentrację wymienionych metali) odpowiednia wartość pH wody, która uzyskuje się poprzez dodatek do niej kwasu solnego (HCl). Kolejnym stopniem oczyszczania wody w węźle oczyszczania wody 7 jest odwrótne osmoza w membranie odwróconej osmozy 35. W procesie

tym ciśnienie wody zwiększane jest do ok. 6 MPa i przy tym ciśnieniu przetłaczana jest ona przez membranę odwrotnej osmozy 35. W procesie odwrotnej osmozy separuje się z wody chlorek sodu (NaCl). Wszystkie strumienie dodatków D do poszczególnych stopni oczyszczania wody w węźle oczyszczania wody 7 zaznaczono na schemacie Fig. 1, łącznie jako dodatki D. Z przeprowadzonych badań i analiz wynika, że zabrudzenia wody stanowią ok. 0,003 jej masy (3 kg/Mg Wb). Woda demineralizowana Wd odprowadzana jest przewodami rurowymi z węzła oczyszczania wody 7 do węzłów technologicznych 1 i 2, oraz do węzła oczyszczania gazu 3. Osady z węzła oczyszczania wody 7 dzielone są na dwa strumienie mikroelementów ME oraz fazę stałą Fs. Mikroelementy Me kierowane są na zewnątrz instalacji do odbiorców. Pozostałość jako faza stała Fs kierowana jest do węzła wityfikacji 8, zawierając reaktor mikrofalowy 36, w którym następuje mikrofalowe podgrzanie wsadu do temperatury 1600°C. W temperaturze tej następuje stopienie fazy stałej Fs do formy płynnej, która prowadzona jest półotwartym kanałem spustowym 37 o długości ok. 3 m do studni sedymentacyjnej 38. W kanale 37 tym następuje grawitacyjne separowanie fazy ceramicznej Fc od fazy metalicznej Fm. Następnie płynna Fs wprowadzana jest do studni sedymentacyjnej 38 zawierającej wodę demineralizowaną Wd o temperaturze otoczenia. W wyniku szybszego oddawania ciepła (na skutek lepszego przewodnictwa cieplnego) przez fazę metaliczną Fm została się ona wcześniej jak pozostałość czyli faza ceramiczna Fc. Następuje samoczynna separacja obu faz. Jednocześnie obie fazy ulegają wypłukaniu w wodzie Wd. Woda ta ulega zabrudzeniu i jako Wb odtransportowywana jest przewodem rurowym do kolektora Wb i dalej do węzła oczyszczania wody 7. Po odprowadzeniu ze studni sedymentacyjnej 38, z wykorzystaniem przenośnika zgrzeblowego, obie fazy są magnetycznie separowane (faza metaliczna jest zwykle ferromagnetyczna bowiem najczęściej zawiera żelazo) rozdzielone fazy tj. faza ceramiczna Fc oraz faza metaliczna Fm kierowane są na zewnątrz układu do odbiorców zewnętrznych.

Wykaz oznaczeń na rysunku

Węzeł technologiczny 1

- Prasa tłokowa 10
- Prasa ślimakowa 11
- Reaktor dwururowy 12

Węzeł technologiczny 2

- Reaktor cyklonowy 13
- Reaktor mikrofalowy 14
- Rura kolektora 15

Węzeł oczyszczania gazu 3

- Zespół płuczek wodnych 16
- Filtr magnetyczny 17
- Separator odśrodkowy 18

Agregat prądotwórczy 4

- Silnik spalinowy 19
- Generator prądu elektrycznego 20

Węzeł oczyszczania spalin 5

- Filtr elektromagnetyczny spalin 21
- Filtr ceramiczny spalin 22
- Katalityczny reaktor trójdrożny 23
- Wymiennik ciepła 24

Węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC 6

- Wymiennik ciepła ORC 25
- Turbina ORC 26
- Generator prądu elektrycznego ORC 27

Węzeł oczyszczania wody 7

- Pierwszy stopień sedymentacji 31
- Drugi stopień sedymentacji 32
- Trzeci stopień sedymentacji 33
- Wymiennik jonowy 34
- Membrana odwróconej osmozy 35

Węzeł witrifikacji 8

Reaktor mikrofalowy witrifikacji 36

Kanał spustowy 37

Studnia sedymentacyjna 38

Węzeł oczyszczania powietrza 9

Filtr elektromagnetyczny oczyszczania powietrza 28

Filtr ceramiczny oczyszczania powietrza 29

Filtr włókninowy oczyszczania powietrza 30

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób przetwarzania substratów z biomasy, **znamienny tym**, że obejmuje następujące etapy:
 - a) dwustopniowe komprimowanie substratów (S) z biomasy, przy czym pierwszy stopień odbywa się w prasie tłokowej (10), drugi stopień odbywa się w prasie ślimakowej (11) wraz z niskotemperaturowym w temperaturze 90°C, podgrzewaniem biomasy,
 - b) wtłoczenie substratów (S) w przestrzeń międzyrurową węzła technologicznego (1), w postaci reaktora dwururowego (12) z rurami umieszczonymi koncentrycznie i mieszanie biomasy z wodą w jej stanie podkrytycznym, w temperaturze 350–370°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa, w wyniku czego powstają dwa strumienie substratów tj. faza palna (G, L, K) i faza stała (Fs),
 - c) faza palna (G, L, K) oraz stała (Fs) kierowane są do kolejnego węzła technologicznego (2), w postaci reaktora cyklonowego (13) z wodą w jej stanie nadkrytycznym o temperaturze od 500°C do 3500°C, w wyniku czego następuje dalsza depolimeryzacja fazy palnej (L) stałej (Fs) do gazu i par lekkich cieczy, przy jednoczesnym strefowym wprowadzeniu energii w postaci promieniowania mikrofalowego w reaktorze mikrofalowym (14) z zasobnikiem rurowym (15), celem upłynnienia części fazy stałej (Fs) tj. koksiku (K),
 - d) faza palna (G) składająca się z gazów i par lekkich cieczy oraz faza stała (Fs) kierowane są do węzła oczyszczania gazu (3) z płuczkami wodnymi (16) i filtrem magnetycznym (17), gdzie jest płukana wodą demineralizowaną (Wd) i oczyszczana chemicznie oraz separowana od zanieczyszczeń w separatorze odśrodkowym (18),
 - e) oczyszczona mieszanina gazów i par lekkich cieczy kierowana jest do agregatu prądotwórczego (4) z silnikiem spalinowym (19), oraz generatorem energii elektrycznej (20) w silniku spalinowym (19), w którego kolektorze dolotowym, następuje jej mieszanie z wcześniej oczyszczonym w węźle filtracji powietrza (9) powietrzem (P) zasysanym przez silnik (19) i spalanie powstałej mieszaniny,
 - f) spaliny (Sp) z silnika spalinowego (19), kierowane są do katalitycznego węzła oczyszczania spalin (5) w którym następuje utlenianie resztek niespalonych w silniku gazów, spaliny rozdzielane są na dwa strumienie: strumień energetyczny (Se) oraz strumień cieplny (Sc),
 - g) strumień cieplny (Sc), którego ciepło wykorzystywane jest na potrzeby własne układu w węzłach technologicznych 1 i 2,
 - h) strumień energetyczny (Se), kierowany jest do węzła organicznego cyklu Rankine'a ORC (6), w którym następuje przekształcanie energii cieplnej w energię elektryczną, po czym strumienie spalin są łączone i odprowadzane na zewnątrz,
 - i) woda zanieczyszczona (Wb) doprowadzana jest do węzła oczyszczania wody (7) zawierającego kompleks urządzeń do mechanicznego oraz chemicznego jej oczyszczania,
 - j) w węźle witrifikacji (8) zawierającym reaktor mikrofalowy (36) w którym substraty (S) osiągną temperaturę powyżej 1500°C następuje stopienie fazy stałej (Fs), grawitacyjna separacja fazy metalicznej (Fm) od fazy ceramicznej (Fc) w półotwartym kanale spustowym (37) oraz szokowe chłodzenie obu faz w studni sedymentacyjnej (38) zawierającej wodę demineralizowaną (Wd),

- k) zanieczyszczenia wody w postaci frakcji mineralnej składającej się z fazy ceramicznej (Fc) i fazy metalicznej (Fm) są albo wykorzystywane jako frakcja mineralna nawozów i/lub poddawane witrifikacji poprzez podgrzanie mikrofalowo do temperatury wyższej od ich temperatury topnienia po czym szokowo chłodzone w wodzie.
2. Układ przekształcania biomasy, **znamienny tym**, że zawiera węzeł technologiczny (1) w postaci reaktora dwururowego (12) z rurami umieszczonymi koncentrycznie z wodą w jej stanie podkrytycznym, węzeł technologiczny (2) w postaci reaktora cyklonowego (13) z wodą w stanie nadkrytycznym, węzeł oczyszczania gazu (3) z płuczkami wodnymi (16), agregat prądotwórczy (4) z silnikiem spalinowym (19) oraz generatorem energii elektrycznej (20), węzeł oczyszczania spalin (5) zawierający zarówno trójdrożne reaktory katalityczne (23), filtry ceramiczne (22) oraz filtry elektromagnetyczne (21), a także wymienniki ciepła (24), węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC (6) zawierający układ przekształcania energii cieplnej w energię elektryczną, węzeł oczyszczania wody (7) zawierający kompleks urządzeń (31–35) do mechanicznego oraz chemicznego jej oczyszczania, węzeł witrifikacji (8) zawierający reaktor mikrofalowy (36) oraz węzeł oczyszczania powietrza (9) zawierający filtry mechaniczne; ceramiczne (29) i włókninowe (30) oraz elektromagnetyczne (28).
 3. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że zawiera węzeł technologiczny (1), w którym woda osiąga temperaturę 350–370°C oraz ciśnienie większe niż 20 MPa.
 4. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że w węźle technologicznym (1) energia cieplna jest dostarczana do co najmniej 90% objętości biomasy w drodze promieniowania termicznego.
 5. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że zawiera węzeł technologiczny (2) z wodą w stanie nadkrytycznym o temperaturze od 500°C do 3500°C.
 6. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł oczyszczania gazu (3) zawiera płuczkę wodną (16) oraz filtr magnetyczny (17).
 7. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że agregat prądotwórczy (4) zawiera silnik spalinowy (19) oraz generator energii elektrycznej (20) napędzany przez ten silnik (19).
 8. Układ wg zastrz. 7, **znamienny tym**, że silnik spalinowy (19) jest silnikiem wielopaliwowym.
 9. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł oczyszczania spalin (5) zawiera trójdrożny reaktor katalityczny (23), filtr elektromagnetyczny (21) i filtr ceramiczny (22) oraz wymiennik ciepła (24).
 10. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł oczyszczania spalin (5) zawiera wymiennik ciepła spalin (24) z innymi nośnikami ciepła, w tym metalami niskotopliwymi i/lub ich solami.
 11. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł organicznego cyklu Rankine'a ORC (6) zawiera układ przekształcania energii cieplnej w energię elektryczną: wymiennik ciepła ORC (25), turbina ORC (26) oraz generator prądu elektrycznego ORC (27).
 12. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł oczyszczania wody (7) zawiera stopień sedymentacji (31), wirówkę wody, stopień wymiany jonowej (34) oraz stopień filtracji, w tym z wykorzystaniem membrany odwróconej osmozy (35).
 13. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł witrifikacji (8), w którym substraty (S) osiągają temperaturę powyżej 1500°C, zawiera reaktor mikrofalowy witrifikacji (36).
 14. Układ wg zastrz. 2, **znamienny tym**, że węzeł oczyszczania powietrza (9) zawiera filtr elektromagnetyczny (28) oraz filtr z przegrodą mechaniczną.
 15. Układ wg zastrz. 13, **znamienny tym**, że zawiera filtr z przegrodą włókninową (30) i/lub ceramiczną (29).
 16. Układ wg zastrz. 13, **znamienny tym**, że filtr elektromagnetyczny (28) umieszczony jest przed przegrodą mechaniczną.

Rysunek

