

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 181**

51 Int. Cl.:

C12P 3/00 (2006.01)

C12P 7/24 (2006.01)

C12M 1/00 (2006.01)

C12M 1/107 (2006.01)

C05F 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2017** **E 17164444 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3382030**

54 Título: **Método e instalación para la producción de biogás e hidrógeno, y fertilizantes que contienen quelatos obtenidos por este método**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.10.2023

73 Titular/es:

IGNACIUK, HENRYK (50.0%)
ul. Debowa 7
21-560 Miedzyrzec Podlaski, PL y
IGNACIUK, JAKUB (50.0%)

72 Inventor/es:

IGNACIUK, HENRYK y
IGNACIUK, JAKUB

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 951 181 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método e instalación para la producción de biogás e hidrógeno, y fertilizantes que contienen quelatos obtenidos por este método

5

El objeto de la invención es un método para llevar a cabo el proceso de fermentación de hidrógeno-metano, que da como resultado una alta eficiencia de biogás e hidrógeno. Asimismo, el objeto de la invención incluye también un fertilizante vegetal obtenido como un digestato líquido.

10 Los métodos comúnmente conocidos de producción de biogás se basan en la tecnología de fermentación de biomasa y desechos agrícolas sin acceso al oxígeno, en el intervalo de temperaturas psicrófilas (18-28 °C), mesófilas (32-43 °C) y termófilas (52-68 °C).

15 En China, hay predominantemente fermentadores pequeños y ovalados con capacidad entre varios hasta varias decenas de metros cúbicos, con la fermentación de varios tipos de desechos producidos por pequeñas granjas tales como heces de animales, residuos de biomasa, etc., principalmente en tecnología psicrófila, es decir, sin calefacción. Tal fermentación se lleva a cabo generalmente en tanques de fermentación individuales, donde el valor de pH es cercano a la neutralidad y asciende de 7,1 a 7,5.

20 Sucesivamente, en Europa, la industria del biogás está dominada por la tecnología alemana NaWaRo o afines. Son instalaciones compuestas por tanques circulares de hormigón en su mayoría de 24 a 36 m de diámetro, cubiertos con un revestimiento flexible, que produce biogás como resultado de la fermentación del metano de los sustratos. El proceso está funcionando a una sobrepresión entre 3 y 5 hPa (3 y 5 mbar). Los sustratos son principalmente ensilajes, principalmente del maíz pero también de cereales y heces de animales: estiércol, purines y estiércol, en donde se implementan los sustratos de un tipo y se introduce su posible cambio con cautela y lentamente durante aproximadamente 20 días.

30 Bajo las condiciones polacas relacionadas con una menor rentabilidad de la producción de biogás en comparación con Alemania, los sustratos utilizados en la tecnología NaWaRo se complementan con pequeñas cantidades de residuos del procesamiento agroalimentario tal como destilería, desechos vegetales, pulpa de fruta, etc. El principio básico en las tecnologías de fermentación existentes es mantener el pH con un valor de al menos 7, ya que a partir del nivel 6,8 se produce la inhibición metanogénica y se detiene la producción de metano.

35 Se conocen los métodos de pretratamiento de los sustratos para la fermentación en el proceso de hidrólisis aislada realizado en tanque inicial. De acuerdo con los datos proporcionados por DBFZ (Deutsche Biomasseforschungszentrum) en Leipzig, Alemania, que supervisa el mercado de biogás encargado por el Ministerio Federal de Agricultura, Alemania tiene varios cientos de plantas de biogás equipadas con un tanque de hidrólisis adicional, y el pH del proceso de hidrólisis varía entre 6,2 y 5,8 y, con mayor frecuencia, entre 5,8 y 6,2. Por otra parte, gases que son un producto de la hidrólisis, que son principalmente CO₂ y H₂, con mezcla de H₂S y NH₃, se sacan a través de los filtros reduciendo los malos olores.

40 Cabe destacar, que la salida de CO₂ y especialmente H₂ fuera de la planta de biogás, reduce la eficiencia de la fermentación, porque tanto el hidrógeno como el dióxido de carbono son componentes básicos del metano formados por las bacterias del metano en la fase final del proceso de fermentación. De acuerdo con los datos de DBFZ, en Alemania y en cualquier parte del mundo, no se han encontrado hidrolizadores que trabajen por debajo de pH = 5, y la obtención de un pH tan bajo en instalaciones industriales se considera imposible y desfavorable para el proceso.

45 Hay una serie de tecnologías de producción de hidrógeno comercialmente viables que trabajan a escala industrial. Sin embargo, se basan en procesos fisicoquímicos o electrolíticos más que en procesos biológicos.

50

La producción de hidrógeno a partir de biomasa o el procesamiento de biorresiduos está sujeta a numerosos estudios, pero hasta ahora solo se ha realizado a escala de laboratorio. Los líderes científicos son Japón y la Unión Europea. En Japón, la producción de biohidrógeno ha sido desarrollada por Hydrogen Innovation Town Business Research Group bajo la tecnología Blue Tower. Sin embargo, teniendo en cuenta el método de producción de hidrógeno, cabe señalar que esta tecnología no está relacionada con procesos biológicos porque se basa en procesos de pirólisis y combustión. Mientras tanto, el concepto de biohidrógeno se usa solo porque el sustrato base utilizado para el proceso de pirólisis es un biorresiduo, un lodo seco. El esquema tecnológico está disponible en <http://biomassmagazine.com/articles/8088/japanese-group-plans-to-commercialize-biohydrogen-production>

60 A su vez, en la Unión Europea, el proyecto que tuvo como objetivo desarrollar la producción de hidrógeno utilizando la actividad microbiana fue el HYVOLUTION (proyecto integrado 019825-SES6) implementado en 2006-10. Este proyecto ha desarrollado la producción de biohidrógeno a partir de biomasa bajo la tecnología HYVOLUTION consistente en tratar el sustrato vegetal con un compuesto alcalino fuerte con el fin de acelerar la degradación de los compuestos de celulosa, seguido de una fermentación premesófila, luego fermentación termófila, que requiere calentamiento hasta 70 °C en fotobiorreactores. Como consecuencia, el coste de la producción de hidrógeno, utilizando un conjunto desarrollado de fotobiorreactores, era muy alto y, por lo tanto, excluía bastante el uso industrial

65

a gran escala de esta tecnología.

La publicación de STRÄUBER et al., "Metabolic and microbial community dynamics during the anaerobic digestion of maize silage in a two-phase process", APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, (2016), vol. 100, divulga un proceso de digestión anaerobia de dos fases, que se puede utilizar para la producción de biogás bajo demanda o una producción combinada de productos químicos y bioenergía. En este método, la hidrólisis/acidogénesis se separa de la acetogénesis/metanogénesis. El proceso se lleva a cabo en consecuencia: la primera fase hidrolítica/acidogénica en un reactor de lecho de lixiviación con percolación consistió en cuatro columnas de vidrio, y la segunda fase acetogénica/metanogénica en un reactor híbrido de vidrio. La temperatura del proceso fue de 37 °C en ambas fases.

La publicación de KIM et al., "Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste", JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING, (2006), vol. 102, revela un sistema modificado de fermentación de metano de tres fases desarrollado para digerir los desechos de alimentos de manera eficiente. Este sistema consiste en tres fases: hidrólisis semianaerobia, acidogénesis anaerobia y metanogénesis estrictamente anaerobia. La temperatura de funcionamiento se ajustó de 30 °C a 55 °C, y el tiempo de retención hidráulica varió entre 8 y 12 días.

Se conoce por la publicación de patente US8741142 (B1) un proceso de fermentación de cuatro fases llevado a cabo en un digestor anaerobio de múltiples fases para el tratamiento de aguas residuales que incluyen polímeros orgánicos complejos. El proceso incluye una fase de hidrólisis que convierte los polímeros orgánicos complejos recibidos a la entrada en monómeros solubilizados a la salida; una fase de acidogénesis, acoplada a la salida de la fase de hidrólisis, que convierte los monómeros solubilizados en productos intermedios a la salida de la fase de acidogénesis; una fase de acetogénesis, acoplada a la salida de la fase de acidogénesis, que convierte los productos intermedios en moléculas simples a la salida de la fase de acetogénesis; y una fase de metanogénesis, acoplada a la salida de la fase de acidogénesis, que convierte las moléculas simples en un producto final. El producto final que incluye una cantidad de metano y una cantidad de dióxido de carbono.

A partir de la publicación de la descripción de patente EP0806404 (A2), se conoce un método de tratamiento de residuos domésticos o sustancias similares, que comprende las siguientes fases: (A) fragmentación de la fracción en una fase de pretratamiento, por ejemplo trituración; (B) eliminación de sustancias inertes; (C) llevar a cabo un proceso anaerobio durante el cual los metales se liberan del compuesto quelante en las fases de hidrólisis y fermentación ácida para convertirlos en una forma soluble en agua ionizada; (D) la fase que contiene los metales disueltos se separa del precipitado; (E) el lodo se suministra a la planta de fabricación de metano; (F) decantación para separar el lodo de fermentación del residuo y (g) el lodo de fermentación se seca utilizando una fuente de calor externa y se utiliza como lecho de fertilizante sólido con un contenido de materia seca superior al 55 %. El método muestra así la preparación del fertilizante en la fase típica del proceso de hidrólisis a pH 5,5-6,5 y en la fase específica de fermentación.

La solicitud de patente US2010032370A1 se refiere a la construcción de digestores anaerobios. Además, divulga un método para la producción de biogás (metano) con el uso de un digestor. El método descrito se relaciona con un método clásico para la producción de metano con el uso de inóculo de bacterias metanogénicas. La relación C:N de los sustratos se mantiene en el intervalo de aproximadamente 15:1 a aproximadamente 25:1, y preferentemente de aproximadamente 20:1 a 25:1.

El objetivo de la invención es proponer métodos altamente eficientes para la producción de biogás e hidrógeno, con alto grado de margen de formación de sustrato.

Este objeto se logra mediante los métodos de la presente invención, realizado en una instalación especialmente diseñada.

Descripción de la invención

El método de producción de biogás en el proceso de fermentación de metano de acuerdo con la presente invención, donde la biomasa o los residuos de origen vegetal, animal, agrícola o industrial se utiliza como sustrato, con el uso de inóculo bacteriano proveniente del cultivo primario realizado en purines bovinos y procesos de fermentación con fases posteriores de hidrólisis, acidogénesis, acetaneogénesis y metanogénesis se basa en estas tres fases, cada una de las cuales funciona en una cámara separada y todas las cámaras están conectadas entre sí y forman un sistema lineal.

Estas tres fases son las siguientes:

1. En la primera fase, el sustrato se mezcla, se homogeneiza y luego el lote se moldea, con un contenido de materia seca que varía entre el 10 y el 25 %. Posteriormente, el lote se inocula con un inóculo de bacterias de hidrólisis, acidogénesis y acetaneogénesis justo antes de la alimentación de la cámara de fermentación de ácido-hidrógeno. El inóculo bacteriano se deriva del digestato del proceso posterior a la fermentación y se somete a un tratamiento aerobio antes de la inoculación. La relación C:N del lote formado a partir de sustratos es de 14:1 a 40:1. La duración de la primera fase es de entre 90 y 180 minutos. El proceso se realiza en la cámara de inóculo y mezclado.
2. En la segunda fase, el lote obtenido en la primera fase se alimenta con una bomba a la cámara de fermentación

ácido-hidrógeno con un caudal volumétrico no inferior a 1,5 m³/min. El proceso se lleva a cabo a un pH de 2,5 a 4,5 y sobrepresiones que varían entre 100 y 200 hPa (100 y 200 mbar), durante 6 a 24 horas.

3. En la tercera fase, el lote obtenido en la segunda fase, en forma de pulpa, se alimenta cíclicamente con una bomba con caudal volumétrico no inferior a 1,5 m³/min a la cámara de fermentación de metano, que tiene una forma longitudinal a través de la cual la pulpa se mueve solo en una dirección desde el comienzo de la cámara hasta su final. El proceso se realiza en un intervalo de pH de 7,2 a 7,5 al inicio de la cámara hasta un pH de 7,8 a 8,2 al final de la cámara. La sobrepresión del proceso en esta fase está entre 100 y 200 hPa (100 y 200 mbar). El tiempo de flujo de la parte de pulpa a través de la cámara de fermentación de metano es de 20 a 25 días. Después de este tiempo, la pulpa ya está fermentada y el biogás que contiene metano se recoge al final de la cámara de fermentación de metano.

Preferentemente, en la primera fase se forma el lote con un contenido de materia seca del 10 al 15 %.

Los sustratos para la producción de biogás se pueden formular todos los días en cualquier proporción, a partir de cualquier componente de biomasa y residuos biológicos, y suponiendo una relación C:N adecuada. Análogamente, el pH del lote no es importante y puede ser muy diferente según los tipos de sustratos utilizados y puede variar entre pH 2,0 y pH 9,0. El sustrato se selecciona de modo que el contenido de materia seca sea preferentemente del 10 al 15 %. Sin embargo, para algunos sustratos, el contenido de materia seca, a pesar de ser líquido, es casi el 70 %. Un ejemplo de dicho sustrato que es deseable para la producción de biogás es la melaza. El inóculo bacteriano obtenido a partir de la fracción líquida de su propio digestato, recibido al final del ciclo del proceso de fermentación, se almacena y se somete a tratamiento con oxígeno. Las bacterias metanogénicas son anaerobias absolutas y mueren en contacto con el oxígeno, a diferencia de otras cepas que son relativamente anaerobias y pueden sobrevivir en condiciones aerobias. El inóculo bacteriano utilizado en el proceso proviene de su propio cultivo primario realizado en purines de ganado vacuno obtenidos de la zona donde se está realizando el proceso. Asimismo, durante el almacenamiento, la temperatura del digestato está disminuyendo.

Por lo tanto, los procesos de la segunda y tercera fases están a una sobrepresión entre 100 y 200 hPa (100 y 200 mbar), que es diferente a las plantas de biogás que funcionan con tecnología NaWaRo y afines, trabajando a sobrepresiones entre 3 y 5 hPa (3 y 5 mbar). El bajo pH en la cámara de fermentación ácido-hidrógeno en la segunda fase, la alta sobrepresión en la segunda y tercera fases, y la dinámica de reacción se obtienen mezclando los sustratos y añadiendo en la primera fase el digestato con bacterias de metano inactivadas.

Preferentemente, en la primera fase se acidifica el sustrato, particularmente preferentemente con vinagre, añadido en una cantidad de 13 a 19 g/dm³ contenido en una mezcla 3:2 en masa de mezcla de hollejo de manzana y cargas de fruta que contengan más del 30 % en peso de azúcar, previamente sometido a fermentación acética. La adición de los sustratos e inóculo de vinagre de uva, ya en la primera fase a la mezcla, en la cámara de mezcla, influye significativamente en la acidificación más profunda de la cámara de ácido-hidrógeno. La adición de inóculo bacteriano de hidrólisis, acidogénesis y acetatogénesis, y acidificación con vinagre, produce aproximadamente 5 a 28 g/dm³ de ácido acético, que es más de varias docenas de veces mayor que en los sistemas convencionales.

El ácido acético es entonces un sustrato para la síntesis de metano. Asimismo, proporcionar un pH bajo óptimo para las bacterias de la hidrólisis, la acidogénesis y la acetaneogénesis pueden acortar los procesos que tienen lugar en la cámara de fermentación ácido-hidrógeno a un día e incluso hasta 6 horas.

De esta manera, en la segunda fase se produce una intensificación de los procesos de descomposición de la materia orgánica, lo que da como resultado la extracción del sustrato, que es extremadamente alto en la escala mundial. La digestión está al nivel del 98,5 %.

Preferentemente, el aditivo de digestato con inóculo bacteriano añadido en la primera fase constituye del 8 al 14 % del volumen total del lote.

Preferentemente, la pulpa se carga en la cámara de fermentación de metano en la cantidad que proporciona la producción de biogás durante un periodo de 2 a 3 horas.

Si se añade una cantidad mayor, se rompería el tampón alcalino y se distorsionaría el proceso. La aplicación de una cantidad menor no permite el burbujeo deseado. De manera favorable, la pulpa se alimenta a la cámara de fermentación de metano en la cantidad que asegura que quede una zona de gas libre sobre la superficie de la pulpa.

Preferentemente, el gas formado en la segunda fase, que contiene dióxido de carbono e hidrógeno, se transporta desde la cámara de fermentación de hidrógeno ácido a la cámara de fermentación de metano, directamente a su zona de gas.

El bombeo del lote con caudal volumétrico, como se ha mencionado, en la cámara de fermentación de ácido-hidrógeno ayuda a obtener procesos de descomposición muy fuertes y violentos que ya tienen lugar pocos minutos después de la aplicación del lote. Hay reacciones biológicas intensas. El mezclado y la acidificación de la carga aseguran un pH ácido estable. Ocurre una situación similar cuando la pulpa se carga a la cámara de fermentación de metano en la

tercera fase.

Concretamente, al bombear la parte de la cámara de ácido-hidrógeno a la cámara de fermentación de metano, se produce una reacción muy fuerte, provocando una rápida emisión de metano y dióxido de carbono, conectado con un aumento de sobrepresión en la cámara de fermentación de metano hasta 200 hPa (200 mbar) en 10 a 20 minutos.

Adicionalmente, la suplementación de pulpa en esta cantidad, quedando un espacio libre sobre su superficie en la cámara de fermentación de metano - la zona de gas, permite la intensificación del proceso de producción de biogás mediante la producción parcial en la zona de gas. En la zona de gas, en las condiciones dadas, existe un proceso único que mejora la eficiencia de la tecnología descrita.

Existe, como resultado de reacciones bioquímicas, la síntesis adicional de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, proporcionada por una conexión tubular de la segunda fase del proceso, es decir, fermentación ácido-hidrógeno. La presencia de bacterias de metano contenidas en los llamados aerosoles biológicos en la zona de gas de la cámara de fermentación de metano está asegurada debido a la intensa suplementación del contenido ácido de la fermentación de hidrógeno ácido de la segunda fase al contenido ligeramente alcalino de la cámara de fermentación de metano en la tercera fase, cuando se producen reacciones muy intensas de ruptura de la capacidad amortiguadora, combinado con emisiones de gases inmediatas e intensivas. Principalmente estos son los siguientes gases: CO₂, CH₄ y H₂. Se produce el efecto de burbujeo violento, lo que a su vez provoca el desprendimiento de partículas muy pequeñas de pulpa que contienen bacterias de metano. Estas bacterias autótrofas que flotan en el gas son responsables del rápido proceso, que dura menos de un segundo, de formación de moléculas de metano en presencia de las materias primas disponibles, es decir, dióxido de carbono e hidrógeno suplementados.

Se ha estimado que incluso hasta un 30 % del metano se forma de esta forma en la zona de gas. Este proceso es prácticamente inexistente en otras tecnologías de fermentación debido a la fracción residual de menos del 1 % de hidrógeno libre en el biogás que se desprende, ya que no hay fase separada de fermentación ácido-hidrógeno y la sobrepresión gaseosa para la fermentación típica es varias décimas menor. Adicionalmente, los gases resultantes se descargan al exterior. Se ha investigado que en la tecnología descrita el contenido de hidrógeno en los gases de la cámara de fermentación de ácido-hidrógeno puede alcanzar incluso el 20-40 %.

Preferentemente, la temperatura de la segunda fase del proceso varía entre 30 a 35 °C.

La temperatura del proceso no debe exceder los 35 °C, ya que la alimentación de la pulpa de temperatura más alta a la tercera fase da como resultado un fuerte proceso exotérmico que inhibe la producción de metano como resultado de la degradación de las bacterias del metano.

Preferentemente, la pulpa se toma de la parte final de la cámara de fermentación de metano y se somete a riego en la zona de gas de la parte final de la cámara.

El consumo de la parte final es una solución que aumenta la producción de metano en un promedio del 3 - 4 %. Debido a la dilución de las gotas de pulpa húmeda, que se mueven a través de la atmósfera de la mezcla de dióxido de carbono y metano, capturan CO₂ que es más soluble en agua que CH₄.

Por tanto, al retroceder aumentan la disponibilidad de CO₂. Es particularmente deseable al final de la cámara, ya que en esta parte ya hay bajo contenido de ácido acético, que se ha utilizado para la síntesis de metano en secciones anteriores de la cámara de fermentación de metano. En la parte final, existe una gran cantidad de bacterias autótrofas metanogénicas capaces de dirigir la producción de metano a partir de CO₂. La concentración de ácido acético cercana a cero en la parte final de la cámara de fermentación de metano también es una situación diferente en comparación con los fermentadores típicos en las plantas de biogás europeas, porque en instalaciones normales de trabajo las concentraciones de ácido acético nunca descienden por debajo de 1 g/dm³ de la pulpa. Un experto típico que evalúa el rendimiento de una planta de biogás, que observa que el contenido de ácido acético en la pulpa en fermentación es cercano a cero, diría que el proceso de fermentación no se lleva a cabo. Entretanto, en la tecnología descrita, la falta de ácido acético en la parte final del fermentador demuestra un proceso de funcionamiento óptimo.

El método de la presente invención permite obtener biogás que contiene aproximadamente el 56-67 % de metano. Además de la eficacia demostrada, este método se distingue por la notable dinámica de los procesos, resultante de la descomposición profunda de los sustratos en la cámara de ácido-hidrógeno en forma de compuestos simples fácilmente descomponibles, finalmente al ácido acético. Después de 6 horas de falta de alimentación de la cámara de fermentación de metano, la producción de biogás en la instalación cae un 50 %, mientras que en una planta de biogás típica, este efecto ocurre solo después de unos pocos días. Por otro lado, cuando el sustrato de la cámara de ácido-hidrógeno se alimenta a la cámara de fermentación de metano, la producción de biogás comienza inmediatamente. Esto significa que una gran proporción de los sustratos se descomponen al nivel de ácidos grasos volátiles, especialmente ácido acético, para que los metanógenos puedan procesar rápidamente estos ácidos en metano. Debido a esta dinámica sin precedentes de crecimiento de la producción y parada rápida, la instalación descrita también se puede dedicar a trabajar como una llamada instalación pico, trabajando en el periodo de 24 horas cuando la demanda de energía es más alta, es decir, de 6:00 am a 8:00 pm.

El método de producción de hidrógeno, llevado a cabo mediante la producción de biogás en el proceso de fermentación de metano, de acuerdo con el método de producción de biogás, se caracteriza por que el sustrato en el inóculo y la cámara de mezcla se homogeniza y luego se utiliza para formar un lote con un contenido de materia seca del 10 al 15 %. El lote obtenido se transporta a la cámara de fermentación ácido-hidrógeno y se inocula con un inóculo bacteriano, que contiene bacterias predominantemente metanogénicas, cuya fuente es el digestato obtenido en el proceso de producción de biogás, llevado a cabo mediante la producción de biogás en el proceso de fermentación de metano de acuerdo con la invención antes mencionada durante el transporte o en la cámara de fermentación ácido-hidrógeno. Posteriormente, la mezcla gaseosa obtenida que contiene hidrógeno se recibe de la cámara de fermentación ácido-hidrógeno.

Preferentemente, el aditivo de digestato con inóculo bacteriano, añadido en la segunda etapa a la cámara de fermentación ácido-hidrógeno es del 15 al 35 % del volumen total del lote.

Preferentemente, se añade vinagre al sustrato para acidificar el sustrato en una cantidad de 13 a 19 g/dm³, en una mezcla 3:2 de hollejo de manzana y mezcla de frutas que contenga más del 30 % de azúcar, previamente sometido a fermentación acética.

Para la producción de hidrógeno, obtenido puramente en una mezcla con CO₂, sin la participación de metano, se usa la adición de bacterias ricas en metano con un alto grado de concentración, es decir, tomadas directamente del final de la tercera fase de fermentación. Esto es paradójico, porque la adición de bacterias del metano dio como resultado la producción inmediata de metano, además de hidrógeno y dióxido de carbono, de acuerdo con la investigación llevada a cabo en el marco del proyecto HYVOLUTION (019825-SES6) realizado dentro del 6º Programa Marco de la UE. En la tecnología discutida no ocurre el proceso de producción de metano en la segunda fase.

Preferentemente, la pulpa obtenida en la cámara de fermentación ácido-hidrógeno, al recibir hidrógeno, se dirige a la cámara de fermentación de metano y se produce biogás a partir de la misma.

El hidrógeno se recoge después de aproximadamente 6 horas. Posteriormente, la pulpa se utiliza para alimentar la cámara de fermentación de metano en ciclos de 2-3 horas. El proceso de producción de hidrógeno, de acuerdo con esta invención, produce un gas que contiene hasta un 40 % de hidrógeno.

El proceso de producción de un fertilizante mineral que contiene quelatos se caracteriza por el hecho de que se obtiene en el proceso de producción de biogás descrito anteriormente. La temperatura de proceso en la segunda fase varía entre 30 y 35 °C.

El bajo pH mantenido en la segunda fase de fermentación y la temperatura en el intervalo de 30-35 °C son factores de higienización del proceso, porque ambas bacterias patógenas (*Salmonella* y *E. coli*) y huevos de parásitos, tales como gusanos humanos o porcinos, no sobreviven a la residencia en la cámara de ácido-hidrógeno.

Opcionalmente, cuando se utilizan sustratos provenientes de, por ejemplo, un matadero, antes de la aplicación de los sustratos al inóculo y la cámara de mezcla, es aconsejable realizar una higienización inicial de acuerdo con métodos conocidos.

Preferentemente, el digestato obtenido se utiliza para preparar un fertilizante, por lo que el grado de digestión es de hasta el 98,5 %. El fertilizante que contiene minerales quelados se distingue por el hecho de que es un digestato líquido obtenido durante la producción del biogás, de acuerdo con la presente invención, y el grado de su digestión es de hasta el 98,5 %.

El digestato logrado por la tecnología de procesamiento de biomasa descrita se caracteriza por características únicas que determinan las siguientes funciones del producto:

- la fertilización de las plantas es más efectiva,
- las plantas están protegidas de patógenos,
- mayor resistencia de las plantas a condiciones climáticas difíciles, como la resistencia a la sequía, invernada/hibernación.

Las propiedades específicas de los fertilizantes y las propiedades biológicas del digestato están determinadas por:

- alto contenido de potasio y hierro,
- nitrógeno en forma de amoníaco,
- alta disponibilidad de compuestos orgánicos quelantes,
- estructura específica del contenido de ácidos orgánicos particulares.

La función de una fertilización efectiva está relacionada con un alto contenido de potasio, que influye directamente en el rendimiento de la planta a través de la fotosíntesis, activa las enzimas y desempeña un papel en la economía/gestión

del nitrógeno. A su vez, la presencia de hierro en el digestato, especialmente en forma quelada, es importante para optimizar la producción de clorofila en la planta, lo que afecta directamente el desarrollo y rendimiento de la planta. La alta eficiencia del soporte de plantas con fertilizantes está determinada por la profunda hidrólisis de los sustratos durante el proceso.

Esto, a su vez, determina el alto grado de digestión del digestato, alcanzando el 98,5 %. Debido a una digestión tan alta, se ha logrado una alta disponibilidad de compuestos quelantes orgánicos en el digestato, tales como aminoácidos y micro y macroelementos en forma de quelatos de fácil absorción. El hecho de que la forma de amonio (N-NH_4) sea una parte significativa del contenido total de nitrógeno también juega un papel importante en el valor fertilizante del digestato. La forma de amonio es fácilmente absorbida por las plantas, tanto en aplicaciones foliares como al suelo.

Las funciones de protección de las plantas contra patógenos, principalmente enfermedades fúngicas, descritas en el digestato, están relacionadas con un alto contenido de potasio, un contenido de sodio relativamente alto y composición de ácidos orgánicos, resultantes de las intensidades de los procesos de fermentación, con predominio de ácido propiónico y caproico.

Descripción detallada

A continuación se muestra la invención en las implementaciones ilustrativas.

Para una mejor comprensión, se llevan a cabo los métodos de acuerdo con las invenciones, sin limitación en una instalación de biogás, mostrada en los dibujos, donde:

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un plan de instalación para la producción de biogás e hidrógeno.

La Fig. 2 muestra el fragmento "A" ampliado, marcado en la Fig. 1

La Fig. 3 muestra la cámara de fermentación de metano en la sección transversal A-A, mostrada en la Fig. 2

La instalación antes mencionada sirve únicamente para resaltar el aspecto técnico de los métodos reivindicados y no forma parte de la presente invención.

Instalación ilustrativa de biogás e hidrógeno

La instalación de biogás que se muestra en la Fig. 1, Fig. 2 y Fig. 3 sirve simultáneamente para producir hidrógeno. La instalación comprende una cámara 1 de inóculo y mezclado, que está conectada en este caso por un canal con dos cámaras 2 de fermentación de hidrógeno-ácido, y a su vez estas cámaras están conectadas con tres cámaras 3 de fermentación de metano. Las cámaras 1, 2 y 3 son de hormigón armado. Las cámaras 2 de fermentación de hidrógeno-ácido y las cámaras 3 de fermentación de metano son depósitos cerrados estancos diseñados para una sobrepresión no inferior a 250 hPa (250 mbar) producida en su interior. Las cámaras 1 y 2 de la presente ejecución tienen una sección transversal circular. Por otra parte, las cámaras 1 y 2 están equipadas con agitadores mezcladores que convierten el sustrato. Las cámaras 3 de fermentación de metano tienen una forma longitudinal y una sección transversal circular. La longitud de las cámaras 3 es de 90 m. La longitud y la forma longitudinal permiten que la pulpa bombeada a la cámara 3 de fermentación de metano se mueva lentamente en su interior desde la parte inicial hasta la final, y se somete progresivamente a procesos cambiantes de fermentación de metano. Las cámaras 3 tienen una toma de biogás 6. Las tuberías que transportan el sustrato de la primera fase a la segunda y la pulpa de la segunda fase a la tercera fase son realizadas por la primera estación de bombeo 7. La primera estación de bombeo 7 está equipada con un grupo motobomba que no se muestra en el dibujo, que permite reenviar el material con la dinámica deseada. La regulación del flujo en direcciones apropiadas se logra por medio de correderas adecuadas. En los esquemas, la dirección del manejo adecuado de materiales, en una fase dada, se indica con flechas.

En cada cámara 3 de fermentación de metano se encuentra la zona de gas 4, como se muestra en la Figura 3. La zona de gas 4 es el espacio libre formado sobre la superficie de la pulpa que se mueve a lo largo de la cámara 3.

En la zona de gas 4, se introduce un tubo gaseoso 8 desde la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno, que suministra los gases obtenidos en la cámara 2: hidrógeno y dióxido de carbono, que luego se utilizan en la cámara 3 de fermentación de metano para la síntesis de metano y tienen un efecto significativo sobre el rendimiento del proceso.

En la parte final 5 de cada cámara 3 de fermentación de metano, en la zona de gas 4 hay un sistema de distribución de pulpa 9 alimentado desde la segunda estación de bombeo 10 que recibe el digestato. La parte final 5 no tiene una longitud estrictamente definida, y la ubicación del sistema de distribución de pulpa 9 en esta parte resulta del hecho de que las gotitas húmedas humedecidas de la pulpa se mueven a través de la atmósfera de la mezcla de dióxido de carbono y metano, capturando CO_2 que es más soluble en agua que CH_4 . Y por lo tanto, al retroceder aumentan la disponibilidad de CO_2 .

Al final de la cámara 3 ya es bajo el contenido de ácido acético, que se utilizó para sintetizar metano en secciones anteriores de la cámara 3 de fermentación de metano. Al final de la sección 5, sin embargo, hay una cantidad significativa de bacterias autótrofas metanogénicas capaces de producir metano directamente a partir de CO_2 , que

ayuda a digerir las moléculas de sustrato no fermentadas y, por lo tanto, aumenta la producción de metano. La cámara 3 de fermentación de metano está equipada en toda su longitud con los agitadores 11 para evitar la formación de sedimentos en el fondo y una capa de revestimiento sobre la superficie de la pulpa que se desliza. Los agitadores no provocan los movimientos de la pulpa hacia el final de la cámara 3. La instalación dispone de una estación 12, que desactiva las bacterias metanogénicas, equipada con un agitador. En esta ejecución, la estación 12 está conectada a la cámara 1 de inóculo y mezclado. La estación 12 toma el digestato de la laguna 13, donde se bombea desde el final de la cámara 3 de fermentación de metano a través de la segunda estación de bombeo 10. Antes de la alimentación de la laguna 13, el digestato se envía al separador 14. Desde la toma 5 de biogás, el biogás obtenido llega con la línea 15 a la desulfuradora 17, después de reducir su sobrepresión a aproximadamente 130 hPa (130 mbar) a través del reductor 18. Posteriormente, el biogás se dirige al pozo de condensado del biogás 19 y luego a la estación de deshidratación y drenaje 20. La instalación también está equipada con los silos 21 para ensilaje. La especificación de fases particulares y su realización en cámaras separadas crea las condiciones ideales para el desarrollo de grupos microbianos particulares con diferentes niveles óptimos de pH. La cámara 1 de inóculo y mezclado permite inocular el sustrato con un inóculo bacteriano adecuado y la formación de lotes. En una cámara 2 de fermentación de ácido-hidrógeno cerrada y separada, se continúa con una segunda fase, donde se producen las fases de hidrólisis, acidogénesis y acetaneogénesis. Mientras tanto, en la cámara 3 de fermentación de metano, se realiza una tercera fase apropiada en el proceso de metanogénesis.

Para la producción de hidrógeno, la cámara 2 de fermentación de hidrógeno-ácido tiene una captura de hidrógeno 22 y la cámara 2 de fermentación de hidrógeno-ácido está directamente conectada a la segunda estación de bombeo 10. Esta conexión se realiza por la línea 23. Esta permite la entrega de digestato que contiene inóculo bacteriano en condiciones anaerobias necesarias para la supervivencia de bacterias metanogénicas. La segunda estación de bombeo 10 bombea así el digestato recibido desde el final de la cámara 3 de fermentación de metano al sistema de distribución de pulpa 9, al separador 14 y a la laguna 13, así como también bombea el digestato con inóculo que contiene bacterias metanogénicas a la cámara 2 de fermentación de hidrógeno-ácido para producir hidrógeno.

La instalación de biogás, como se ha descrito anteriormente, también puede servir para llevar a cabo la producción de hidrógeno. Una conexión directa de la cámara 2 de fermentación de ácido-hidrógeno a la segunda estación de bombeo permite inocular el sustrato con bacterias metanógenas, que son anaerobias absolutas. Es obvio que la producción de hidrógeno podría tener lugar independientemente de la producción de biogás y en una instalación limitada únicamente a la cámara 1 de inóculo y mezclado, así como a la cámara 2 de ácido-hidrógeno. Sin embargo, sería un requisito proporcionar el inóculo bacteriano obtenido de la cámara de fermentación 3 en la producción de biogás. Adicionalmente, la pulpa obtenida después de la producción de hidrógeno tendría que ser eliminada, lo que conduciría al desperdicio de material de biogás aún valioso y, además, el reciclaje sería un problema importante. Por tanto, es económicamente irrazonable y problemático producir hidrógeno independientemente de la producción de biogás. Por tanto, es particularmente ventajoso producir hidrógeno en la misma instalación que el biogás y, por ejemplo, alternativamente, o dependiendo de la demanda actual.

Ejemplo 1.

El lodo de la industria de la colza se utilizó para la producción de biogás. El proceso se llevó a cabo en la instalación de generación de biogás e hidrógeno que se muestra en los dibujos adjuntos. Para el procesamiento en biogás de 10 mg de lodos de colza procedentes de prensas de colza que contienen un 58 % de materia seca y un 94 % de materia orgánica seca, este material de desecho se mezcló en una primera fase con 10 mg de ensilaje de maíz con un contenido del 35 % de materia seca y 52 mg de destilería de melaza con un 7 % de materia seca. Se obtuvo el sustrato con un contenido de materia seca del 12,9 % y una relación carbono - nitrógeno de C:N = 40:1. El sustrato se mezcló y homogeneizó en la cámara 1 de inóculo y mezclado que se muestra en la Fig. 1 y la Fig. 2, en 3 horas. Para forzar una alta dinámica de los procesos de fermentación que tienen lugar en la cámara de fermentación de ácido-hidrógeno, se añadieron al sustrato 5 mg de la mezcla de vinagre. La mezcla se obtuvo a partir de 3 mg de hollejo de manzana y 2 mg de cargas de fruta con un contenido de azúcar superior al 30 % en masa. La mezcla se sometió previamente a fermentación acética. A partir de este sustrato se formó un vinagre que contenía ácido acético. Se añadió digestato líquido al 12 % del volumen total del lote. El digestato contenía un inóculo bacteriano y se obtuvo en el proceso de producción de biogás en ciclos anteriores. El digestato, antes de añadirse a la cámara 1 de inóculo y mezclado, se sometió a un tratamiento aerobio por aireación con el fin de eliminar las bacterias metanógenas. El inóculo incluía bacterias de hidrólisis, acidogénesis y acetaneogénesis.

Después del mezclado, destinado a la homogeneización para la bombeabilidad, el sustrato estaba listo para su uso en la segunda fase. El sustrato se bombeó completamente con una alta eficiencia de 100 m³/h en la cámara 2 de fermentación de ácido-hidrógeno en una hora. En la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno ya había 40 m³ de inóculo líquido de la cepa anterior que contiene las bacterias de hidrólisis, acidogénesis y acetaneogénesis. En la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno, a 35 °C de temperatura, las tres fases de fermentación: hidrólisis, acidogénesis y acetatogénesis, ocurrieron intensamente. Después de 6 horas, se obtuvo un nivel muy alto de ácido acético saturado de 6000 mg CH₃COOH/litro de baño. El contenido de ácido a este nivel y, en consecuencia, el bajo pH y el inóculo bacteriano añadido, para los cuales el valor de pH de 2,5-3,5 proporciona condiciones óptimas de vida y desarrollo, permitió que la reacción dinámica produjera una sobrepresión de 150 hPa (150 mbar). El lote preparado en la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno, actualmente en forma de pulpa, se enviaba cíclicamente cada 2

horas a la cámara 3 de fermentación de metano donde estaba funcionando la tercera fase. Como en el caso anterior, la pulpa se bombeó a la cámara 3 de fermentación de metano con alta eficiencia de 100 m³/h. La forma alargada de la cámara 3 permitió que la pulpa se moviera solo en una dirección desde el comienzo de la cámara 3 hasta su final. El proceso se realizó en un intervalo de pH de aproximadamente 7,3 al comienzo de la cámara 3 a un valor de pH de 8,0 al final. En esta fase, con una sobrepresión de 150 hPa (150 mbar), hubo un intenso proceso de metanogénesis. Las mediciones de sobrepresión de gas mostraron un aumento muy dinámico en la producción de biogás, dentro de los primeros minutos desde el inicio de la adición del sustrato de la cámara de ácido. La alimentación de la pulpa con la dinámica indicada y en cierta cantidad dio como resultado el llenado de la cámara 3 a una altura de 0,6 h de su altura a la luz. Permitted crear en la cámara 3 de fermentación de metano, por encima de la superficie de la pulpa, la zona de gases 4. El gas que contiene dióxido de carbono e hidrógeno, creado en la segunda fase en la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno fue transferido a la zona de gas 4. Debido a esto, fue posible en la zona de gas 4 intensificar la formación de partículas de metano, dado que la pulpa ácida intensamente cargada reaccionó violentamente con el contenido básico de la cámara 3, derivado del ciclo anterior del proceso. El burbujeo violento provocó el desprendimiento de partículas muy finas de pulpa que contenía metano, que, creando aerosoles biológicos, produjo un proceso rápido, de menos de 1 segundo, de formación de partículas de metano en presencia de dióxido de carbono e hidrógeno añadidos.

Por otra parte, en la tercera fase, también se tomó la pulpa de la parte final 5 de la cámara 3 de fermentación de metano y se sometió a su distribución en la zona de gas 4, de la parte final 5 de la cámara 3. La duración de la tercera fase en la que toda la parte de pulpa pasó por la cámara 3 y fue digerida fue de 22 días. Después de este tiempo, la parte de pulpa se digirió en un 95 % y el biogás que contenía metano se recogió de la cámara 3 de fermentación de metano. Como resultado del proceso, se produjeron 10.400 m³ de biogás con un contenido de metano del 60 % y 25,3 MWh de electricidad.

Ejemplo 2

La producción de biogás se realizó utilizando sustratos con predominio de la destilería, verduras, ensilaje de lácteos y maíz y materiales de desecho de lodos.

El proceso se realizó en la instalación de producción de biogás e hidrógeno, mostrada en el dibujo adjunto. Se realizó una encuesta mensual de eficiencia operativa de la planta de biogás de 1,2 MW.

El suministro de los sustratos mencionados a la instalación se realizó alimentando los residuos en dosis iguales de masa fresca en intervalos de 2 a 2,5 horas durante todo el periodo de 24 horas, incluyendo los festivos legales. Como promedio, se alimentaron aproximadamente 9,8 mg de sustrato en un solo mes, teniendo en cuenta un 12 % en volumen de aditivo de digestato como inóculo bacteriano que acelera el proceso de fermentación, libre de bacterias metanogénicas, en analogía al ejemplo 1.

Durante el mes se suministró la siguiente cantidad de residuos utilizados como lote de biogás:

Sustrato	Masa fresca [mg]	Masa seca [mg]
Ensilaje de maíz	183	61,3
Destilería	1801	135,16
Permeado de suero	572	125,64
Hollejos de manzana	350	84,06
Residuos de verduras y frutas	5,58	0,56
Yogures caducados	20,98	3,15
Pastel	6,86	1,37
Verduras congeladas caducadas	24,06	2,41
Lodos de depuradoras de aguas residuales	264,31	69,62

En total, se utilizaron 3227,79 mg de masa fresca de sustratos, que contenían 483,27 mg de materia seca. La relación C:N del lote estaba en el intervalo de 14:1 a 40:1. El proceso se llevó a cabo de forma análoga a la del Ejemplo 1, excepto que el tiempo de flujo de pulpa fue de 25 días. En el mes de ensayo, se produjo un total de 769 MWh de electricidad. Esto se logró debido a la producción de 374.674 m³ de biogás que contenía 215.438 m³ de metano en el proceso de fermentación. Como resultado, la producción de biogás fue de 116,08 m³ a partir de 1 mg de sustrato fresco y 775,29 m³ a partir de 1 mg de materia seca.

A su vez, la eficiencia de producción de metano fue de 66,74 m³ a partir de 1 mg peso fresco y 445,79 m³ a partir de 1 mg de materia seca. La eficiencia de la producción de biogás a partir de 1 mg de materia seca, a esta composición de sustratos, con el predominio de destilería, verduras, ensilajes y lodos de maíz y lácteos, era más alto en aproximadamente 150-200 m³, rendimiento de 1 mg de materia seca de mezcla de sustratos vegetales y residuales obtenidos en la tecnología NaWaRo tradicional y más extendida en Europa.

Como resultado de la descomposición de complejos orgánicos-minerales en el proceso de hidrólisis y acidificación y acetanogénesis en la segunda fase, se liberaron micronutrientes que, en el digestato listo para usar, son directamente accesibles a las plantas y microorganismos en forma de bioquelatos. El digestato obtenido es líquido y actúa como fertilizante vegetal listo para usar y agente fitosanitario antifúngico.

5

El digestato obtenido en el ejemplo analizado poseía propiedades de fertilización muy altas, que consistía en:

- nitrógeno en forma de amonio NH_4 : 0,1 % en masa fresca del digestato líquido resultante;
- fósforo P: - 0,99 % en masa seca (d.m.) de digestato líquido obtenido;
- 10 - potasio K: 13,6 % en d.m.;
- magnesio Mg: 0,35 % en d.m.;
- sodio Na: 2,26 % en d.m.;
- calcio Ca: 2,21 % en d.m.;
- azufre S: 0,83 % en d.m.;
- 15 - cobre Cu: 20 mg/kg en d. m.;
- níquel Ni: 9,6 mg/kg en d.m.;
- zinc Zn: 173 mg/kg en d.m.;
- hierro Fe: 5.050 mg/kg en d.m.;
- berilo Be: 32 mg/kg en d.m.;
- 20 - cobalto Co: 1,24 mg/kg en d.m.;
- manganeso Mn: 171 mg/kg en d.m.;
- molibdeno Mo: 1,9 mg/kg en d.m.;
- selenio Se: 0,38 mg/kg en d.m.;

25 Ejemplo 3.

Los sustratos dominados por lácteos, desechos de destilería y azúcar se utilizaron en la producción de hidrógeno y biogás. El proceso se realizó en la instalación de producción de biogás e hidrógeno que se muestra en el dibujo adjunto. Se realizó un estudio de 4 días de la eficiencia operativa de una planta de biogás de 1,2 MW. El propósito de los ensayos era determinar la intensidad de la producción de hidrógeno de la cámara 2 de hidrógeno ácido y biogás de la cámara 3 de fermentación de metano.

30

Los ajustes de la cámara 2 de fermentación ácido-hidrógeno se realizaron aportando la mezcla de sustratos una vez al día.

35

Durante el estudio, se utilizó la siguiente cantidad de residuos como entrada a la planta de biogás:

Sustrato	Masa fresca [mg]	Masa seca [mg]
Pulpa de remolacha prensada	12,60	2,55
Destilería	64,00	4,61
Permeado de suero	161,60	33,09
Hollejos de manzana	19,20	4,61
Verduras congeladas caducadas	2,49	0,25
Lodos de depuradoras de aguas residuales	45,24	9,07

40

Durante la investigación del funcionamiento de la planta de biogás sobre los sustratos mencionados se utilizó un total de 305,13 mg de peso fresco, lo que da 54,18 mg de materia seca. Como promedio da 76,28 mg de materia fresca y 13,55 mg de materia seca al día. El lote con la composición dada, después de mezclar y homogeneizar, se alimentó en esta cantidad una vez cada 24 horas a la cámara 2 de ácido-hidrógeno. En la cámara 2, se añadió el digestato al 12 % del volumen total del sustrato. El digestato contenía un inóculo bacteriano y se obtuvo en el proceso de producción de biogás en ciclos anteriores.

45

El inóculo no se oxidó como en el Ejemplo 1 o 2, por lo que predominaron las bacterias metanogénicas. El lote se acidificó aún más en la cámara 1 de inóculo y mezclado mediante la adición de 5 mg de mezcla de vinagre, obtenido a partir de 3 mg de pulpa de manzana y 2 mg de pulpa de fruta con un contenido de azúcar superior al 30 % en masa. La mezcla se sometió previamente a fermentación acética. En esta mezcla se formó vinagre que contenía ácido acético.

50

El gas producido en la cámara 2 de fermentación de ácido-hidrógeno contenía una concentración de aproximadamente el 39 % de H_2 y una concentración de aproximadamente el 41 % de CO_2 . La producción diaria de gas ascendió a 1540 m^3 durante el ensayo. Se observó que, después de la aplicación del lote y del inóculo metanogénico, una intensa

producción de hidrógeno duró unas 6 horas. Los ensayos de estudio se realizaron en una serie de cuatro repeticiones, en total 4 días del ciclo de estudio. La pulpa obtenida después del proceso de producción de hidrógeno se dirigió a la cámara 3 de fermentación de metano y se llevó a cabo una mayor producción de biogás en las mismas condiciones que en el Ejemplo 1.

5

REIVINDICACIONES

1. Método para la producción de biogás en el proceso de fermentación de metano, en donde la biomasa o los residuos de origen vegetal, animal, agrícola o industrial se utilizan como sustrato, con el uso de inóculo bacteriano proveniente del cultivo primario realizado sobre purines bovinos y se realiza el proceso de fermentación que incluye las fases de hidrólisis, acidogénesis, acetaneogénesis y metanogénesis, caracterizado por que se lleva a cabo en tres fases, donde cada fase individual se ejecuta en una cámara separada, y estas cámaras están conectadas entre sí y forman un sistema lineal y, además:
 - en la primera fase, el sustrato se mezcla, se homogeneiza y de ahí se forma el lote con un contenido de materia seca del 10 al 25 %, al que posteriormente se introduce un inóculo de bacterias de hidrólisis, acidogénesis y acetaneogénesis, en donde el inóculo bacteriano se deriva del digestato obtenido y antes de la inoculación se somete a un tratamiento aerobio, y la relación C:N del lote formado a partir de sustratos es de 14:1 a 40:1, y la duración de la primera fase es de 90 a 180 minutos y el proceso se realiza en la cámara de inóculo y mezclado (1);
 - en la segunda fase, el lote obtenido en la primera fase se alimenta con una bomba con caudal volumétrico no inferior a 1,5 m³/min a la cámara (2) de fermentación ácido-hidrógeno y se lleva a cabo el proceso a valor de pH 2,5 a 4,5 y sobrepresión entre 100 y 200 hPa (100 y 200 mbar) durante 6 a 24 horas;
 - en la tercera fase, el lote obtenido en la segunda fase, en forma de pulpa, se alimenta cíclicamente con una bomba con caudal volumétrico no inferior a 1,5 m³/min a la cámara (3) de fermentación de metano, que tiene una forma longitudinal a través de la cual se mueve la pulpa en una sola dirección desde el inicio de la cámara (3) hasta su final, el proceso se realiza en un intervalo de pH entre 7,2 a 7,5 al inicio de la cámara (3) hasta un pH de 7,8 a 8,2 al final de la cámara (3) y una sobrepresión entre 100 y 200 hPa (100 y 200 mbar), el tiempo de flujo de las partes de pulpa a través de la cámara de fermentación de metano es de 20 a 25 días y después de eso, desde la cámara (3) de fermentación de metano se recoge el biogás que contiene metano.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que en la primera fase se forma el lote con un contenido de materia seca del 10 al 15 %.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el sustrato resultante de la primera fase se acidifica.
4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que el sustrato se acidifica con vinagre, añadido en la cantidad de 13-19 g/dm³, contenido en una mezcla 3:2 de hollejo de manzana y pulpa de fruta con un contenido de azúcar superior al 30 %, previamente sometido a fermentación acética.
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la adición del digestato con inóculo bacteriano añadido en la primera fase a la cámara (1) de inóculo y mezclado es del 8 al 14 % del volumen total del lote.
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la pulpa se alimenta a la cámara (3) de fermentación de metano en la cantidad que asegura la producción de biogás durante un periodo de 2-3 horas.
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la pulpa se alimenta a la cámara (3) de fermentación de metano en la cantidad que asegura dejar la zona (4) libre de gas por encima de la superficie de la pulpa.
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas formado en la segunda fase, que contiene dióxido de carbono e hidrógeno, se transporta desde la cámara (2) de fermentación de ácido-hidrógeno a la cámara (3) de fermentación de metano, directamente a su zona (4) de gas.
9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la temperatura del proceso en la segunda fase está entre 30 y 35 °C.
10. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la tercera fase se toma la pulpa de la parte final (5) de la cámara (3) de fermentación de metano y se la somete a difusión en la zona (4) de gas en la parte final (5) de la cámara (3).
11. Método para la producción de hidrógeno, llevado a cabo mediante la producción de biogás en el proceso de fermentación de metano, de acuerdo con las reivindicaciones 1-10, caracterizado por que el sustrato en la cámara (1) de inóculo y mezclado se homogeneiza y a partir de este se forma un lote con un contenido de materia seca del 10 al 15 % y una relación C:N entre 14:1 y 40:1 y el lote obtenido posteriormente se envía a cámara (2) de fermentación de ácido-hidrógeno y durante el transporte o en la cámara (2) de fermentación de ácido-hidrógeno se introduce inóculo bacteriano, que contienen predominantemente bacterias metanogénicas, cuya fuente es el digestato obtenido en el proceso de producción de biogás de acuerdo con las reivindicaciones 1-10; y luego la mezcla de gas resultante que

contiene hidrógeno se recibe de la cámara (2) de fermentación de ácido-hidrógeno.

12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que la adición de digestato con inóculo bacteriano comprende del 15 al 35 % del volumen total del lote.

5 13. Método de acuerdo con las reivindicaciones 11 - 12, caracterizado por que el sustrato se acidifica en la cámara (1) de inóculo y mezclado.

10 14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que el sustrato se acidifica con vinagre añadido en cantidad 13 - 19 g/dm³, contenido en una mezcla 3:2 de hollejo de manzana y pulpa de frutas con un contenido de azúcar superior al 30 %, previamente sometido a fermentación acética.

15 15. Método de acuerdo con las reivindicaciones 11-14, caracterizado por que la pulpa obtenida en la cámara (2) de fermentación ácido-hidrógeno al recibir hidrógeno se dirige a la cámara (3) de fermentación de metano y a partir de esta se produce biogás.

20 16. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1-10 que comprende además preparar un fertilizante que contiene compuestos minerales en forma de quelatos, caracterizado por que la temperatura de proceso en la segunda fase varía de 30 a 35 °C.

17. Método de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por que es un digestato líquido obtenido por el método de la reivindicación 16 con un grado de digestión de hasta el 98,5 %.

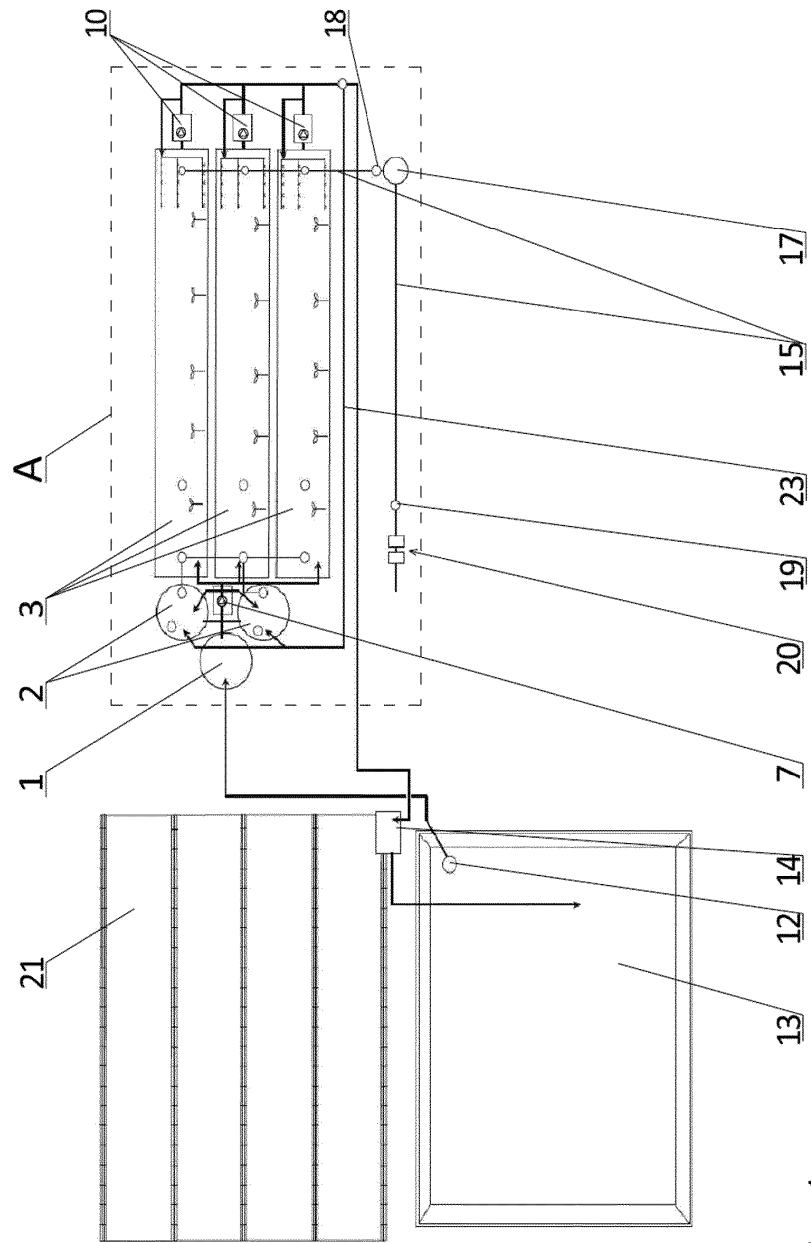


Fig. 1

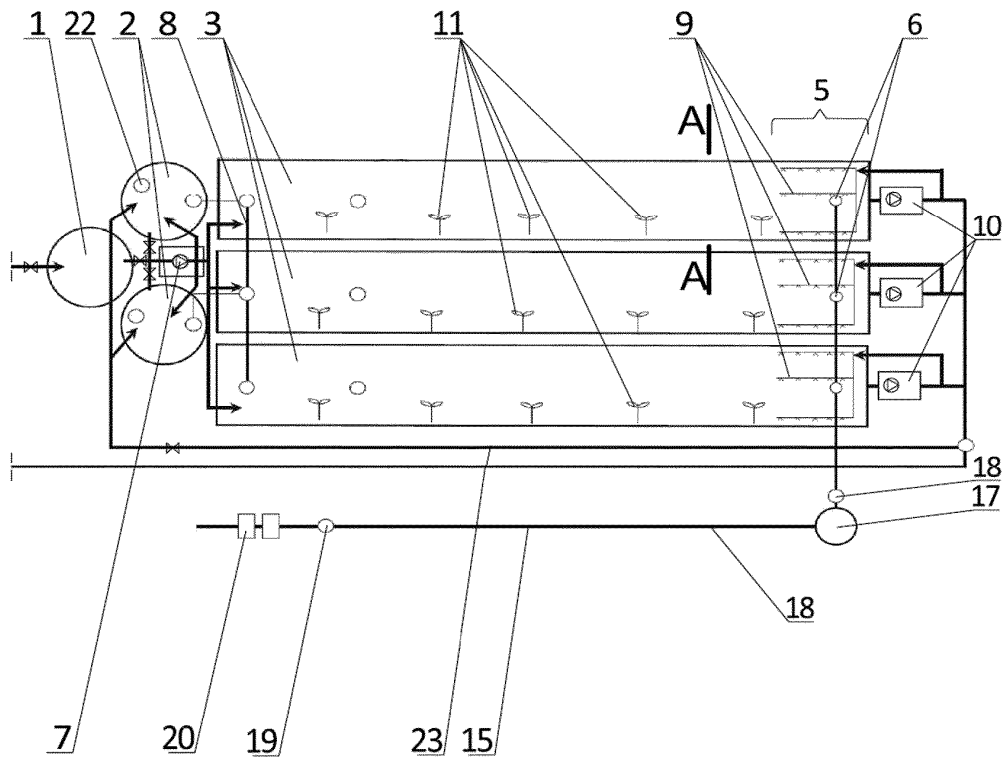


Fig. 2

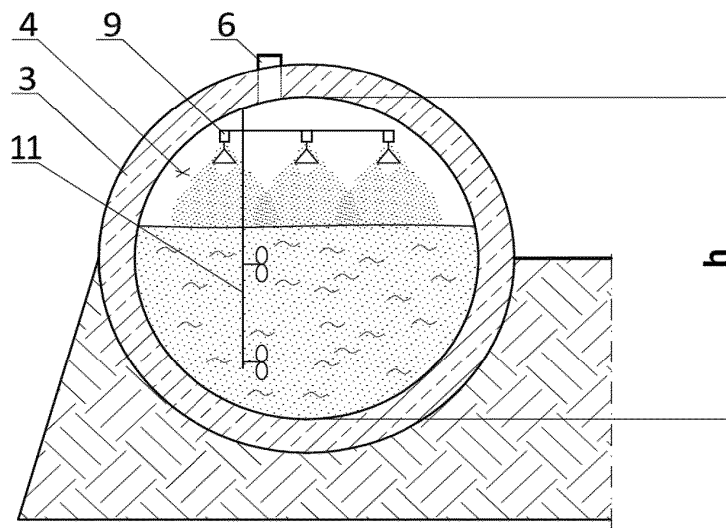


Fig. 3