

UN SISTEMA QUE TIENE AL MENOS DOS CONTENEDORES CRIOGÉNICOS
PARA PROPORCIONAR UN FLUIDO

La invención se refiere a un sistema para proporcionar un fluido, que comprende al
5 menos un primer y segundo recipiente criogénico para almacenar el fluido, en el que
el primer recipiente criogénico tiene un volumen de recipiente que es mayor que el
volumen del recipiente del segundo recipiente criogénico, y en el que el sistema
comprende además una primera línea de recuperación que se conecta al primer
10 recipiente criogénico para recuperar un primer flujo másico de fluido y una segunda
línea de recuperación que se conecta al segundo recipiente criogénico para
recuperar un segundo flujo másico de fluido.

De acuerdo con el estado de la técnica, los gases licuados pueden almacenarse en
recipientes ("recipientes criogénicos") para almacenarlos como combustibles para,
15 por ejemplo, un motor. Los gases licuados son gases que están presentes a la
temperatura de ebullición en el estado líquido de la materia, en el que la temperatura
de ebullición de este fluido es una función de la presión. Si dicho líquido criogénico
se llena en un recipiente criogénico, entonces, aparte de las interacciones térmicas
con el propio recipiente criogénico, se establecerá una presión de acuerdo con la
20 temperatura de ebullición. En el caso del uso de, por ejemplo, metano como
combustible, esto significa que el metano tiene que estar presente a una
temperatura suficientemente alta para alcanzar una presión de tanque
suficientemente alta requerida para el funcionamiento de un motor después de
recargar de la estación de gasolina en el tanque del vehículo. Si la presión aplicada
25 a las válvulas de inyección del motor cae por debajo del mínimo especificado,
entonces no será posible el funcionamiento del motor.

En funcionamiento, si el fluido se recupera del recipiente y se alimenta al motor, el
fluido está presente en el recipiente criogénico, por lo tanto, tiene una presión de

operación que está, por ejemplo, entre 6 y 8 bar. En el caso de un cierre del sistema y la finalización de la recuperación, la presión en el recipiente criogénico volverá a aumentar debido al flujo de calor hacia el fluido. Para que la presión en el recipiente criogénico no suba demasiado y para evitar daños o accidentes, respectivamente, el recipiente criogénico está equipado con una válvula de control de presión, que se activa a una presión predeterminada. El período de tiempo desde la terminación de la recuperación a la presión operativa hasta alcanzar la presión predeterminada de la válvula de control de presión es designado por los expertos en la técnica como “tiempo de permanencia”.

10

Si se excede el tiempo de permanencia, la válvula de control de presión se activará y el fluido se descargará de modo que se evite un mayor aumento de presión. La descarga del fluido, sin embargo, constituye una pérdida económica, por un lado, ya que el combustible se escapará sin usar, y, por otro lado, un problema ambiental, ya que la eficiencia de almacenamiento disminuirá y el metano se descargará en el ambiente. Por esta razón, es deseable que el tiempo de permanencia del recipiente criogénico sea lo más prolongado posible para permitir largos períodos de cierre.

15

Además, se conoce por la técnica anterior montar dos recipientes criogénicos en un vehículo a motor, en el que el fluido se utiliza como combustible para el vehículo a motor. Los recipientes criogénicos normalmente se montan a la izquierda ya la derecha en el marco de soporte del vehículo entre los ejes del vehículo.

20

Debido al diferente espacio disponible a ambos lados del vehículo a motor, puede ser útil utilizar dos recipientes criogénicos que tengan diferentes volúmenes de recipiente, por ejemplo, un recipiente criogénico más corto y otro más largo. Un problema que surge, sin embargo, es que los recipientes criogénicos que tienen diferentes volúmenes de recipiente tendrán diferentes tiempos de permanencia. Por

25

lo tanto, el tiempo de permanencia “total” del sistema se calcula a partir del recipiente criogénico que tiene el tiempo de permanencia más corto.

Una solución bastante obvia sería, por ejemplo, aislar mejor el recipiente criogénico que tiene el volumen del recipiente más pequeño, que normalmente tiene un tiempo de permanencia más corto, para reducir el flujo de calor hacia el fluido. Esto haría posible tener recipientes criogénicos que tuvieran un tiempo de permanencia similar. Sin embargo, esta solución es muy inflexible ya que los recipientes criogénicos tienen que coincidir con precisión.

En sistemas con dos recipientes criogénicos de iguales dimensiones, normalmente se recupera el mismo flujo másico de ambos recipientes criogénicos. También en este caso puede ser, debido a influencias externas o desajustes del sistema, que haya una cantidad diferente de fluido en ambos recipientes criogénicos de modo que ambos recipientes tengan un tiempo de permanencia diferente. Esto, a su vez, dará como resultado que el tiempo de permanencia “total” del sistema no sea óptimo en todo momento.

Por lo tanto, el objetivo de la invención es proporcionar un sistema con al menos dos recipientes criogénicos para proporcionar un fluido, que supere las desventajas mencionadas.

Esta tarea se soluciona mediante un sistema para proporcionar un fluido, que comprende al menos un primer y un segundo recipiente criogénico para almacenar el fluido, en el que el primer recipiente criogénico tiene un volumen de recipiente mayor que el volumen del recipiente del segundo recipiente criogénico y en el que el sistema comprende además una primera línea de recuperación que se conecta al primer recipiente criogénico para recuperar un primer flujo másico de fluido y una segunda línea de recuperación que se conecta al segundo recipiente criogénico

para recuperar un segundo flujo másico de fluido, en el que el sistema comprende medios, que están configurados para establecer dos flujos másicos de diferentes dimensiones, de modo que en un primer modo operativo el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos converge al recuperarlos y/o en un segundo modo operativo, el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos disminuye esencialmente al mismo ritmo si los tiempos de permanencia de los dos recipientes criogénicos son esencialmente iguales, en el que el tiempo de permanencia es el período de tiempo desde la finalización de la recuperación hasta ese momento, cuando la presión en el recipiente criogénico alcanza un umbral predefinido.

10

La solución de acuerdo con la invención resuelve el problema mencionado inicialmente equilibrando los diferentes tiempos de permanencia de los recipientes criogénicos a través de la diferente recuperación del fluido de los recipientes. Con la solución de acuerdo con la invención, es posible así aumentar el tiempo de permanencia de todo el sistema que consta de ambos recipientes criogénicos sin realizar cambios estructurales en uno de los dos recipientes.

15

El primer modo operativo tiene el efecto de que el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos se aproxima de tal manera que, en general, aumenta el tiempo de permanencia de todo el sistema, que se define por el tiempo de permanencia más corto de los dos recipientes criogénicos. El segundo modo operativo tiene el efecto de que después de alcanzar el mismo tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos por primera vez, el tiempo de permanencia de todo el sistema disminuye lo menos posible con la recuperación adicional de fluido. También es posible equipar el sistema solo con el segundo modo operativo, por ejemplo, si los dos recipientes criogénicos se llenan de manera que tengan el mismo tiempo de permanencia.

20

25

En el caso de recipientes criogénicos que tengan un volumen de recipiente de igual tamaño, la solución de acuerdo con la invención puede utilizarse en particular si las líneas de recuperación tienen diferentes longitudes de línea o, más generalmente, diferentes pérdidas de flujo. En este caso, los medios o una unidad de control de los
5 medios, respectivamente, pueden controlar los flujos máscicos de forma que se equilibren las diferentes pérdidas de flujo.

Preferiblemente, el primer recipiente criogénico tiene un volumen de recipiente que es mayor que el volumen del recipiente del segundo recipiente criogénico. En esta
10 realización, la solución de acuerdo con la invención se puede usar de una manera particularmente preferida, ya que el tiempo de permanencia de los recipientes criogénicos generalmente será diferente y no solo cuando el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos sea diferente debido a circunstancias externas. En esta realización, se prefiere especialmente que, por ejemplo, el primer modo
15 operativo se inicie directamente después de que el tanque se haya llenado por completo, y de manera particularmente preferible después de que se haya alcanzado la presión operativa en los recipientes criogénicos, y el segundo modo operativo se inicie después de que se haya alcanzado un tiempo de permanencia igualmente largo.

20

En el caso más simple, el primer modo operativo podría implementarse proporcionando un acelerador rígido en la primera línea de recuperación de modo que el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos converja al recuperar el fluido de ambos recipientes criogénicos. Sin embargo, se prefiere que
25 los medios comprendan una unidad de control, que está configurada para regular el primer y/o el segundo flujo máscico. De esta forma, se puede lograr un control dinámico del tiempo de permanencia dependiendo del tiempo de permanencia actual o del nivel de llenado de los recipientes criogénicos, respectivamente.

En esta realización, es ventajoso que la unidad de control esté configurada para recuperar esencialmente solo fluido del primer recipiente criogénico en el primer modo operativo hasta que el tiempo de permanencia del primer recipiente criogénico corresponda esencialmente al tiempo de permanencia del segundo recipiente criogénico. En el caso más simple, esto puede lograrse mediante una válvula de
5 apertura/cierre en la primera o segunda línea de recuperación, respectivamente, que es controlada por la unidad de control.

Alternativamente, se puede proporcionar una mejora adicional en la que la unidad
10 de control está configurada para recuperar sustancialmente solo una cantidad tal de fluido del segundo recipiente criogénico en el primer modo operativo que el tiempo de permanencia del segundo recipiente criogénico permanece constante, y para recuperar el fluido restante del primer recipiente criogénico. Esto permite que el tiempo de permanencia del segundo recipiente criogénico no disminuya mientras la
15 mayor parte del fluido se recupera del primer recipiente criogénico.

En la última realización mencionada, se prefiere además que el sistema esté configurado para recuperar en el primer modo operativo fluido del segundo recipiente criogénico solo en estado gaseoso. Esto tiene el efecto de que se tiene
20 que retirar menos masa del segundo recipiente criogénico para mantener constante el tiempo de permanencia.

En todas las realizaciones, se prefiere que la unidad de control esté configurada para cambiar del primer modo operativo al segundo después de que se haya alcanzado por primera vez un tiempo de permanencia igual de los dos recipientes
25 criogénicos. De esta forma, se puede obtener un sistema que controle el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos de la manera más eficiente posible.

Además, se prefiere que la unidad de control esté configurada para seleccionar entre una recuperación del fluido en fase líquida y/o una recuperación del fluido en fase gaseosa cuando se recupera el fluido del primer y/o segundo recipiente criogénico. Esto se puede proporcionar tanto para el primer como para el segundo modo operativo. En funcionamiento normal, el fluido se recupera en fase líquida. Sin embargo, si la presión supera la presión operativa deseada, el fluido puede recuperarse en fase gaseosa. De esta forma, se puede lograr la denominada función de economizador, teniendo en cuenta el tiempo de permanencia.

- 5
- 10 Más preferiblemente, se puede proporcionar un tercer modo operativo, en el que el sistema en el tercer modo operativo está configurado para establecer una presión operativa diferente en los dos recipientes criogénicos durante la operación y para recuperar fluido solo del primero o solo del segundo recipiente criogénico. Preferiblemente, el más pequeño de los recipientes criogénicos se reduce a la
- 15 presión de operación más baja y el fluido solo se recupera del recipiente criogénico más grande si la potencia requerida esperada del sistema está por encima de un umbral, y el fluido solo se recupera del recipiente criogénico más pequeño si la potencia requerida esperada del sistema está por debajo del umbral. Más preferiblemente, se puede usar un perfil de distancia de viaje esperada para
- 20 determinar la potencia requerida. Debido a estas medidas, el contenido utilizable de los recipientes criogénicos puede aumentar aún más, ya que al reducir la presión de funcionamiento en uno de los recipientes criogénicos a un nivel en el que el sistema solo puede soportar una baja potencia del motor, el tiempo de permanencia de este recipiente criogénico puede extenderse.

25

Además, el sistema puede transferirse a una cuarta condición operativa si la presión en ambos recipientes criogénicos está entre una presión operativa y el umbral mencionado, y en el que el sistema en el cuarto modo operativo está configurado para seleccionar los dos flujos másicos de manera que la presión en ambos

recipientes criogénicos se reduce a la presión operativa mientras que el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos converge y/o aumenta sustancialmente a la misma velocidad tras la recuperación. De esta forma, se puede lograr un modo operativo que se selecciona inmediatamente después de iniciar el sistema, es decir, en las realizaciones mencionadas anteriormente, incluso antes del primer o segundo modo operativo. El cuarto modo operativo permite que la presión en los recipientes criogénicos se reduzca a la presión operativa, teniendo en cuenta el tiempo de permanencia.

- 5
- 10 En el cuarto modo operativo, se prefiere además que el fluido solo se recupere de los recipientes criogénicos en fase gaseosa, ya que esto permite alcanzar la presión operativa lo más rápido posible. Sin embargo, también puede estar previsto que el fluido se recupere de uno de los recipientes criogénicos en fase gaseosa y del otro recipiente criogénico en fase líquida, por ejemplo, si esto ayuda a que el tiempo de permanencia converja más rápidamente.
- 15

Por un lado, la unidad de control podría regular los flujos másicos de acuerdo con un esquema estipulado, por ejemplo, controlar la válvula de encendido/apagado mencionada después de un tiempo predeterminado, por lo que se puede lograr el primer modo operativo. Preferiblemente, sin embargo, la unidad de control comprende una unidad informática, que está configurada para calcular el tiempo de permanencia actual del primer y/o segundo recipiente criogénico y para controlar los flujos másicos sobre la base del tiempo de permanencia calculado. Esto se puede hacer, por ejemplo, midiendo un nivel de llenado actual y/o una presión actual en el recipiente criogénico para determinar el tiempo de permanencia actual en base a esto. Un tiempo de permanencia calculado tiene la ventaja de que el control de los flujos másicos se puede llevar a cabo con mayor precisión y, por lo tanto, se puede lograr un tiempo de permanencia mejorado de todo el sistema.

- 20
- 25

Además, la unidad de control puede configurarse para determinar el tiempo de permanencia actual del primer y/o segundo recipiente criogénico a partir de valores precalculados o de valores medidos durante una medición de referencia. Por ejemplo, la tasa de recuperación del fluido de los dos recipientes criogénicos puede medirse durante la recuperación, o simplemente puede usarse un tiempo de funcionamiento del sistema.

El sistema de acuerdo con la invención se puede implementar de una manera particularmente simple porque el sistema comprende una primera válvula en la primera línea de recuperación y una segunda válvula en la segunda línea de recuperación, y donde la unidad de control está configurada para controlar las válvulas con el fin de ajustar el primer y el segundo flujo másico. Esto permite una construcción particularmente sencilla del sistema y en particular también una adaptación de sistemas ya existentes.

En las realizaciones mencionadas, se prefiere que el sistema comprenda un dispositivo de medición, que está configurado para medir un volumen actual del fluido y/o una presión operativa actual del fluido en el primer recipiente criogénico y/o en el segundo recipiente criogénico y enviarlo a la unidad de control. Esto permite determinar con especial precisión el tiempo de permanencia de los dos recipientes criogénicos.

Más preferiblemente, los volúmenes de los recipientes pueden almacenarse en una base de datos que puede ser consultada por la unidad de control. Esto puede resultar ventajoso, por ejemplo, si el tiempo de permanencia se calcula directamente. En algunas realizaciones, sin embargo, el almacenamiento de los volúmenes del recipiente no es necesario, por ejemplo, si están disponibles los valores de referencia del tiempo de permanencia.

Realizaciones ventajosas y no limitativas de la invención se explican con mayor detalle a continuación por medio de los dibujos.

5 La Figura 1 muestra un vehículo a motor en el que está montado el sistema de acuerdo con la invención.

La Figura 2 muestra un diagrama en el que se representa el tiempo de permanencia en relación con el nivel de llenado actual de dos recipientes criogénicos diferentes.

10 La Figura 1 muestra un vehículo 1 de motor que tiene un marco 2 de soporte y dos ejes 3, 4. Un recipiente 7, 8 criogénico está montado en cada lado 5, 6 del marco 2 de soporte entre los ejes 3, 4. Los recipientes 7, 8 criogénicos cada uno almacena fluido, por ejemplo, gas natural licuado, que también ha sido conocido por los expertos en la materia como LNG ("Gas Natural Liquido"). El fluido está presente en
15 los recipientes 7, 8 criogénicos tanto en estado líquido como gaseoso. Si los recipientes 7, 8 criogénicos se usan en relación con un vehículo 1 de motor, el fluido almacenado puede, por ejemplo, servir como combustible para un motor del vehículo 1 de motor. En otras realizaciones, sin embargo, los recipientes 7, 8 criogénicos podrían también ser proporcionados en otros campos de aplicación.

20

En el presente sistema 1, el primer recipiente 7 criogénico tiene un volumen de recipiente V1, que es mayor que un volumen de recipiente V2 del segundo recipiente 8 criogénico. Dichas configuraciones pueden ser útiles, por ejemplo, si hay diferentes cantidades de espacio de instalación disponibles en los dos lados 5, 6 del
25 vehículo 1 de motor.

Cuando el sistema 1 está en funcionamiento, la presión en los recipientes 7, 8 criogénicos está, por ejemplo, entre 6 y 8 bar. Esta presión puede regularse, por ejemplo, recuperando fluido o mediante un intercambiador de calor que sobresale

en el recipiente criogénico respectivo. Sin embargo, tan pronto como el sistema 1 ya no esté en funcionamiento, es decir, se apague, la presión en los recipientes 7, 8 criogénicos aumentará constantemente debido a una entrada de calor constante en los recipientes 7, 8 criogénicos.

5

Para evitar una presión excesiva en los recipientes 7, 8 criogénicos y, por lo tanto, su falla, tanto el primer recipiente 7 criogénico como el segundo recipiente 8 criogénico tienen cada uno una válvula 9, 10 de control de presión, que está conectada directa o indirectamente al respectivo recipiente criogénico recipiente 7, 8 a través de una línea de conexión. Las válvulas 9, 10 de control de presión se activan a una presión predeterminada, que es por ejemplo de 16 bares, descargando así fluido en estado gaseoso. Por lo general, ambas válvulas 9, 10 de control de presión se activan a la misma presión predeterminada, pudiendo también estar previsto que se activen a diferentes presiones.

15

El período de tiempo desde la finalización de la recuperación hasta el momento en que la presión en el recipiente 7, 8 criogénico alcanza un valor umbral predefinido se denomina el denominado tiempo de permanencia. Se entiende que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos debe ser lo más alto posible, ya que el fluido descargado representa una pérdida económica y un impacto ambiental.

20

El tiempo de permanencia del respectivo recipiente 7, 8 criogénico se calcula, entre otras cosas, a partir del volumen del recipiente V1, V2, ya que una mayor superficie del recipiente también significa una mayor entrada de calor. Además, el tiempo de permanencia depende del volumen actual de fluido en el recipiente 7, 8 criogénico y la diferencia de presión entre la presión de activación de la respectiva válvula 9, 10 de control de presión y la presión operativa presente en el respectivo recipiente 7, 8 criogénico en el punto de terminación de la recuperación. Para el cálculo del

25

tiempo de permanencia, se puede suponer una temperatura ambiente predeterminada de los recipientes 7, 8 criogénicos o una entrada de calor predeterminada en el recipiente 7, 8 criogénico, respectivamente. Sin embargo, la relación del tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos depende solo de manera insignificante de la temperatura ambiente.

La Figura 2 muestra un diagrama en el que el volumen actual de fluido en relación con el volumen total del recipiente se representa en el eje horizontal y el tiempo de permanencia en días en el eje vertical. HT1 presenta el curso del tiempo de permanencia de un primer recipiente 7 criogénico que tiene un volumen de recipiente V1 de 500 litros. HT2 presenta el curso del tiempo de permanencia de un recipiente 8 criogénico que tiene un volumen de recipiente V2 de 300 litros. Es obvio que el primer recipiente 7 criogénico que tiene el volumen de recipiente más grande V1 tiene un tiempo de permanencia más largo que el segundo recipiente 8 criogénico que tiene el volumen de recipiente más pequeño V2 en el mismo nivel de llenado. En el ejemplo representado, se seleccionó un tiempo de permanencia mínimo de cuatro días.

Para recuperar fluido de los recipientes 7, 8 criogénicos para su funcionamiento, el sistema 1 comprende una primera línea 11 de recuperación que se conecta al primer recipiente 7 criogénico para recuperar un primer flujo másico M1 de fluido, así como una segunda línea 12 de recuperación que se conecta a el segundo recipiente 8 criogénico para recuperar un segundo flujo másico M2 de fluido.

El sistema 1 de acuerdo con la invención comprende medios 13, que están configurados para establecer los dos flujos másicos M1, M2 de diferentes dimensiones. Esto se usa con el objetivo de llegar a un tiempo posiblemente largo después de la finalización de la recuperación, en el que se activará una de las dos válvulas 9, 10 de control de presión. Esto se logra cuando el tiempo de permanencia

de los dos recipientes 7, 8 criogénicos es esencialmente igual durante la recuperación.

Los medios 13 pueden estar configurados, por ejemplo, como una unidad 14 de control, que controla los flujos máscicos M1, M2. Esto se puede lograr, por ejemplo, a través de válvulas 15, 16, que están dispuestas en cada una de las líneas 11, 12 de recuperación y son controladas por la unidad 14 de control. Sin embargo, en realizaciones alternativas, los medios 13 también pueden comprender solo un rígido acelerador en una de las líneas 11, 12 de recuperación.

10

Para determinar qué tan grandes deben ser los flujos máscicos en el primer o segundo modo operativo, respectivamente, la unidad 14 de control puede comprender una unidad informática, que está configurada para calcular el tiempo de permanencia actual del primero y/o del segundo recipiente 7, 8 criogénico. Para este propósito, el sistema 1 puede comprender en particular un dispositivo de medición, que está configurado para medir un volumen actual del fluido y/o una presión operativa actual del fluido en el primer recipiente 7 criogénico y/o en el segundo recipiente 8 criogénico y enviarlo a la unidad 14 de control. También se podrían medir y enviar otros valores a la unidad 14 de control para controlar los flujos máscicos M1, M2 aún más eficientemente.

20

Alternativamente, la unidad 14 de control también puede realizar el control de los flujos máscicos M1, M2 sin mediciones directas del fluido en los recipientes 7, 8 criogénicos, por ejemplo, controlando los flujos máscicos M1, M2 de acuerdo con un esquema predeterminado, por ejemplo, también dependiendo del tiempo de recuperación o un volumen de recuperación esperado, respectivamente, del fluido.

25

El sistema 1 puede ser operado en un primer modo operativo y/o en un segundo modo operativo por medio de los medios 13 mencionados, por medio de los cuales

se pueden establecer los flujos máscos M1, M2 de diferentes tamaños. En el primer modo operativo, los flujos máscos M1, M2 se ajustan de tal manera que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos converge. En el segundo modo operativo, los flujos máscos M1, M2 pueden ajustarse de modo que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos disminuya sustancialmente al mismo ritmo cuando los tiempos de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos son sustancialmente iguales.

En principio, podría estar previsto que el sistema 1 funcione únicamente en el primer o únicamente en el segundo modo operativo. Por ejemplo, si el sistema 1 solo funciona en el primer modo operativo y los flujos máscos M1, M2 se ajustan al mismo valor después de alcanzar un tiempo de permanencia igual, el tiempo de permanencia volverá a divergir. En algunos casos, sin embargo, esta divergencia puede aceptarse, por ejemplo, si se desea lograr un control simplificado. El sistema 1 también podría restablecerse al primer modo operativo si la divergencia supera un valor umbral.

Si el sistema 1 está configurado para operar tanto en la primera como en la segunda condición operativa, el sistema 1 preferentemente se opera primero en la primera condición operativa hasta que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos sea sustancialmente igual. Posteriormente, el sistema 2 funciona en la segunda condición operativa de manera que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos disminuye sustancialmente al mismo ritmo. Si el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos se desvía nuevamente, por ejemplo, debido a influencias externas, es posible volver al primer modo operativo hasta que el tiempo de permanencia de los dos recipientes 7, 8 criogénicos sea de nuevo de igual dimensión y luego cambie al segundo modo operativo.

Por regla general, el fluido se recupera en la primera y/o en la segunda condición operativa en fase líquida para alcanzar la mayor potencia posible. Sin embargo, el fluido también se puede recuperar en la fase gaseosa en la primera y/o segunda condición operativa, por lo que se puede lograr una función de economizador, por ejemplo. Al establecer los flujos máscicos M1, M2, la unidad 14 de control también puede seleccionar si el fluido debe recuperarse en fase gaseosa o en fase líquida para lograr un tiempo de permanencia convergente o constante, respectivamente.

Con respecto a la figura 2, se explicará ahora a modo de ejemplo práctico. Si ambos recipientes 7, 8 criogénicos están llenos, el fluido se recuperaría primero solo del recipiente 7 criogénico de 500 litros hasta que le quede un tiempo de permanencia de 7,2 días correspondiente al tiempo de permanencia del recipiente 8 criogénico de 300 litros lleno. En general, sin embargo, incluso en el primer modo operativo, puede recuperarse suficiente fluido, preferiblemente en fase gaseosa, del pequeño recipiente 8 criogénico para mantener constante la presión en él, logrando así un tiempo máximo de permanencia de este recipiente 8 criogénico.

Por ejemplo, un recipiente 7 criogénico lleno con 500 litros contiene aprox. 160 kg de GNL. Un recipiente 8 criogénico de 300 litros, por otro lado, contiene aprox. 95 kg de GNL. En el primer modo operativo, los primeros 65 kg solo se recuperan del recipiente 7 criogénico de 500 litros. Durante este tiempo, solo se recupera lo suficiente del recipiente 8 criogénico de 300 litros para mantener la presión constante.

Si el viaje continúa después de que se hayan recuperado los 65 kg de GNL, se cambiará al segundo modo operativo y las tasas de recuperación de los dos recipientes 7, 8 criogénicos se ajustarán de manera que ambos recipientes 7, 8 criogénicos tengan el mismo tiempo de permanencia restante.

Posteriormente, el tiempo de permanencia se reduce en un día si aprox. Se extraen 18,5 kg de GNL del recipiente 7 criogénico de 500 litros y aprox. Se recuperan 16,7 kg de GNL del recipiente 8 criogénico de 300 litros. Por lo tanto, respetando esta relación de recuperación, el recipiente 7 criogénico de 500 litros puede

5 funcionar hasta una cantidad residual de aprox. 34 kg de GNL (nivel de llenado 13 %) y el recipiente criogénico de 300 litros 8 hasta una cantidad residual de 42 kg (nivel de llenado 37 %). Con estos niveles de llenado, se logra el tiempo de permanencia mínimo de cuatro días.

10 En total, esto da como resultado un contenido de GNL utilizable de 160 kg - 34 kg = 126 kg para el recipiente 7 criogénico de 500 litros. Para el recipiente 8 criogénico de 300 litros, esto da como resultado un contenido de GNL utilizable de 95 kg - 42 kg = 53 kg. En total, el sistema 1 tiene un contenido de GNL utilizable de 126 kg + 53 kg = 179 kg.

15

Sin ajustar los flujos máscicos M1, M2, solo se puede usar dos veces 53 kg = 106 kg para el tiempo de permanencia restante de cuatro días, ya que cada masa adicional recuperada reduce el tiempo de permanencia del recipiente 8 criogénico más pequeño a menos de cuatro días.

20

Se puede lograr un aumento adicional del contenido utilizable del recipiente criogénico si, además, se proporciona un tercer estado operativo. En este caso, el recipiente 8 criogénico más pequeño puede reducirse a una presión más baja para lograr de nuevo un tiempo de permanencia de cuatro días debido al mayor intervalo

25

de presión así creado. Esto es posible si, hacia el final del viaje planificado, el motor en funcionamiento a carga parcial recibe presiones más bajas del recipiente 8 criogénico más pequeño. Para ello, el combustible debe recuperarse de uno u otro recipiente 7, 8 criogénico, ya que una recuperación simultánea conduciría a un equilibrio de presión entre los recipientes 7, 8 criogénicos. Para controlar de qué

recipiente 7, 8 criogénico se recupera el fluido, se puede usar un perfil de distancia de viaje, que se puede leer de un mapa pregrabado, por ejemplo.

- 5 Si, por ejemplo, la presión del recipiente criogénico de 300 litros se reduce de 8 bar a 6 bar en el tercer modo operativo, la masa residual para el tiempo de permanencia de 4 días se reduce en 16 kg de 42 kg a 26 kg y la masa utilizable total aumenta de 179 kg a 195 kg.

- 10 El tercer modo operativo puede ser controlado por la unidad 14 de control mencionada anteriormente o por una unidad de control separada, que puede estar conectada a la unidad 14 de control mencionada anteriormente. En particular, los intercambiadores de calor que sobresalen en el recipiente criogénico respectivo 7, 8 pueden controlarse para establecer la presión.

- 15 También podría proporcionarse un cuarto modo operativo, que se selecciona, por ejemplo, como un modo de inicio cuando la presión en uno o ambos recipientes 7, 8 criogénicos está por encima de una presión operativa deseada. En la técnica anterior, se recupera la mayor cantidad de fluido posible de ambos recipientes 7, 8 criogénicos para este fin, de modo que la presión operativa se alcance lo más rápido posible. En el presente cuarto modo operativo, los flujos máscicos M1, M2 en este
20 cuarto modo operativo pueden ser de diferentes dimensiones, por un lado, para alcanzar rápidamente la presión operativa, pero, por otro lado, también para lograr un tiempo de permanencia convergente o constante, respectivamente. En el cuarto modo operativo, el fluido generalmente se recupera en la fase gaseosa. Sin
25 embargo, el fluido también podría recuperarse en la fase líquida si esto ayuda a lograr un tiempo de permanencia convergente o constante, respectivamente.

En otras realizaciones, los recipientes 7, 8 criogénicos también pueden tener el mismo volumen V1, V2. Establecer diferentes flujos máscicos M1, M2 puede ser

5 ventajoso si el nivel de llenado de los dos recipientes criogénicos es de una dimensión diferente, ya que esto dará como resultado un tiempo de permanencia diferente de los dos recipientes 7, 8 criogénicos. En realizaciones con recipientes 7, 8 criogénicos de diferentes dimensiones, normalmente no se proporciona un segundo modo operativo, es decir, en algunas realizaciones, el segundo modo operativo solo se proporciona si los recipientes criogénicos tienen un volumen V_1 , V_2 de recipiente diferente.