(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 407 227 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.01.2025 Patentblatt 2025/04

(21) Anmeldenummer: **24153458.5**

(22) Anmeldetag: **23.01.2024**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F17C 1/00 *(2006.01)* ***F17C 6/00*** *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F17C 1/00; F17C 1/007; F17C 6/00;
F17C 2201/052; F17C 2221/012; F17C 2221/033; F17C 2223/0161; F17C 2223/033; F17C 2225/0123; F17C 2225/033; F17C 2227/0121; F17C 2227/0135; F17C 2227/0157; F17C 2227/0311; F17C 2250/0626; (Forts.)

(54) **VERFAHREN ZUM BEFÜLLEN EINES KAVERNENSPEICHERS MIT FLÜSSIGEM WASSERSTOFF**

METHOD FOR FILLING A CAVERNOUS ACCUMULATOR WITH LIQUID HYDROGEN

PROCÉDÉ DE REMPLISSAGE D'UN RÉSERVOIR DE STOCKAGE DE CAVERNES AVEC DE L'HYDROGÈNE LIQUIDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **24.01.2023 DE 102023101619**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.07.2024 Patentblatt 2024/31

(73) Patentinhaber: **Ontras Gastransport GmbH**
04129 Leipzig (DE)

(72) Erfinder: **Päßler, Steffen**
14542 Werder (DE)

(74) Vertreter: **Castell, Klaus**
Patentanwaltskanzlei Liermann-Castell
Oberstraße 135
52349 Düren (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 848 204
DE-B4- 102007 046 268
US-A1- 2006 150 640
US-A1- 2011 305 515
US-A1- 2014 161 533
US-A1- 2017 183 160
US-B1- 6 932 121

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Processed by Luminess, 75001 PARIS (FR)

(Forts. nächste Seite)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F17C 2250/0631; F17C 2260/025; F17C 2260/04;
F17C 2270/0142; F17C 2270/0152;
F17C 2270/0155; F17C 2270/016

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen eines Kavernenspeichers mit flüssigem Wasserstoff (H_2).

[0002] Zum bekannten Befüllen eines Kavernenspeichers mit Erdgas (CH_4) ist es üblich, gasförmiges Erdgas (CH_4), also Methan mit natürlichen Fremdgasbeimengungen, mit Hilfe eines bestehenden Pipelinedrucks und einer Nachverdichtung unmittelbar in die Kaverne zu pumpen. Die durch die Kompressionswärme erzeugte Temperaturerhöhung des verdichteten Erdgases (CH_4) wird durch Abgabe der Wärme im Kavernenspeicher an das Gebirge und/oder an eine bestehende Grundsole in der Kaverne wieder ausgeglichen. Es ist zu beobachten, dass eine Temperaturäquilibrierung in der Kaverne stattfindet, so dass die Gastemperatur in einer Kaverne zwischen 20°C und 30°C betragen kann. Je nach Teufe der Kaverne kann die dort vorherrschende Temperatur der Erdwärme das in der Kaverne befindliche Erdgas (CH_4) erwärmen oder das in der Kaverne befindliche Erdgas (CH_4) mit der Kompressionswärme, die sich in dem großen Gasvolumen der Kaverne verliert, abkühlen.

[0003] Im Zuge einer Befüllung mit LNG (Liquified Natural Gas, deutsch: flüssiges Erdgas) wurde festgestellt, dass eine unmittelbare Befüllung einer Kaverne mit LNG mit einer Temperatur von ca. 110 K dazu führt, dass die Temperatur in der Kaverne so weit abfällt, dass ein Mindestdruck in der Kaverne nicht aufrecht erhalten werden kann. Der mit dem Temperaturabfall einhergehende Druckabfall kann zu Schäden an der Kaverne führen und im extremsten Fall zu einem Zusammenbruch des Gebirges führen, was eine schwerwiegende Havarie darstellt.

[0004] Übliche Kavernen sind in einer Teufe zwischen 800 m und 2.000 m angeordnet, haben Höhen zwischen 100 m und 300 m und einen Durchmesser zwischen 30 m und 80 m. Es gibt auch deutlich größere Kavernen. Die Kavernen des zuvor beschriebenen Typs jedoch in Deutschland vorherrschend. Bei diesen Größen haben in Deutschland vorherrschende Kavernen Nennvolumina von 100 Mio Normkubikmeter bis 300 Mio Normkubikmeter. Wenn eine solche Kaverne mit einer typischen Übersee-Schiffsladung LNG befüllt wird, ohne das LNG vorher energieaufwändig zu vergasen, so ist ein zuvor beschriebener Zusammenbruch der Kaverne möglich und wahrscheinlich. Um die LNG-Ladung eines Schiff möglichst rasch abzuleichtern, wäre es mithin notwendig, das LNG in speziellen Anlagen mit entsprechend hoher Kapazität zu vergasen, um das vergaste LNG in ein Pipeline-System zu leiten, wo das vergaste Erdgas mit üblichen Mitteln in die Kaverne gepumpt wird. In der aktuellen Situation ist in Deutschland kein LNG-Terminal vorhanden, das übliche Schiffladungen LNG in einem Zeitraum vergasen kann, die für das Ableichtern eines Schiffes noch wirtschaftlich vertretbar wäre. Das Dokument US6932121B1 offenbart das Speichern von LNG in Kavernen.

[0005] Eine nahezu identische Situation stellt sich ein für Schiffsladungen mit flüssigem Wasserstoff (H_2). Trotz der Tiefkälte des Wasserstoffs (H_2) und dem Transportverlust durch sog. Boil-off-Gas bei einem Übersee-Transport wird es in Erwägung gezogen, auch flüssigen Wasserstoff (H_2) aus Übersee mit einem Schiff zu importieren und in Deutschland in Kavernen einzulagern, die ursprünglich für die Einlagerung von Erdgas (CH_4) konzipiert wurden. Gegenüber LNG unterscheidet sich flüssiger Wasserstoff (H_2) durch seine Temperatur von 20 K im Gegensatz von ca. 110 K für LNG. Auch hat Wasserstoff (H_2) eine auffällig hohe spezifische Wärmekapazität. Die Einlagerung von Wasserstoff (H_2) in Kavernen kann auch durch Mischen von Erdgas (CH_4) mit Wasserstoff (H_2) geschehen, indem beispielsweise Wasserstoff (H_2) in mit Erdgas (CH_4) gefüllte Kavernen geleitet wird. Dabei entsteht ein Mischgas, das so an den Verbraucher aus der Kaverne weitergeleitet wird. Es werden auch Konzepte umgesetzt, Kavernenspeicher ausschließlich mit Wasserstoff (H_2) zu befüllen, um den Wasserstoff (H_2) für Fahrzeuge und/oder für Brennstoffzellen nutzbar zu machen. Auch hier besteht ein Bedarf, ein Verfahren zu finden, um ein mit flüssigem Wasserstoff (H_2) beladenes Schiff möglichst rasch abzuleichtern und den Wasserstoff (H_2) in eine Kaverne zu füllen. Die Regasifizierungsproblematik ist bei flüssigem Wasserstoff (H_2) noch stärker ausgeprägt als bei LNG.

[0006] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird gelöst durch die Schrittfolge in Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen zu Anspruch 1 angegeben.

[0007] Nach dem Gedanken der Erfindung ist es vorgesehen, flüssigen Wasserstoff (H_2) entgegen der Erwartungshaltung, dass die Temperatur in der Kaverne unter einen kritischen Punkt mit einhergehendem Druckabfall sinken könnte, flüssigen Wasserstoff (H_2) unmittelbar in die Kaverne einzuleiten. Um die zu erwartenden Folgen des Druckabfalls zu vermeiden, ist nach dem Gedanken der Erfindung vorgesehen, dass der flüssige Wasserstoff (H_2) durch eine Wärmetauscherwendel oder eine Leitung ('Coil Tubing') in die Kaverne geleitet wird. Die Wärmetauscherwendel oder die Leitung ist in dem verrohrten Bohrloch vorhanden, das bis zum Kavernenkopf führt. Beim Einleiten des flüssigen Wasserstoffs (H_2) in die Wärmetauscherwendel oder in die Leitung nimmt der flüssige Wasserstoff (H_2) Wärme aus dem Gebirge und oder dem entgegenströmenden Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas oberhalb der Kaverne auf. Diese Wärmemenge reicht allerdings nicht aus, den eingeleiteten flüssigen Wasserstoff (H_2) vollständig zu vergasen, auch wenn die Teufe und damit die Länge der Wärmetauscherwendel oder der Leitung 800 m bis 2 km lang sein kann. Am Kavernenkopf kommt immer noch flüssiger Wasserstoff (H_2) an. Dieser flüssige Wasserstoff (H_2) wird über eine Prallplatte am Ende der Wärmetauscherwendel oder der Leitung aufgefächert. Dadurch vergast der flüssige Wasserstoff (H_2) beim freien Fall in der Kaverne über einen Weg bis zu 300 m.

[0008] Um den beim Vergasen einhergehenden Temperatur -und Druckabfall in der Kaverne nicht zu groß werden zu lassen, kann vorgesehen sein, dass eine typische LKW-Ladung zwischen 10 m^3 und 50 m^3 flüssigen Wasserstoffs (H_2) in

die Kaverne eingeleitet wird. Der hierdurch erzeugte Temperaturabfall, der merklich ist, führt noch nicht zu einem solchen Druckabfall, dass die Stabilität der Kaverne gefährdet ist. Das vorhandene Gas in der Kaverne heizt sich durch die Erdwärme wieder auf und somit steigt der Druck. Erst wenn der Druck wieder zwischen 70% und 120 % des ursprünglichen Drucks angestiegen ist, wird eine weitere LKW-Ladung flüssigen Wasserstoffs (H_2) zwischen 10m^3 und 50 m^3 in die Kaverne verfüllt. In der Regel umfassen Kavernenspeicher gleich mehrere benachbarte Kavernen. Für ein Befüllen des Kavernenspeichers, der mehrere, benachbarte Kavernen umfasst, können die benachbarten Kavernen reihum mit LKW-Ladungen betankt werden. Ab einer Anzahl von 4 Kavernen kann die erste Kaverne schon dann wieder befüllt werden, wenn die letzte von vier Kavernen betankt worden ist. Auf diese Weise kann ein Schiff mit einer größeren Anzahl von Tankfahrzeugen abgeleichtert werden und die Tankfahrzeuge fahren vom Hafen bis zur Kavernenstätte, wobei die Entfernung bis zu mehrere 100 km betragen kann, beispielsweise von Wilhelmshaven, Bremerhaven oder Brunsbüttel bis in den Salzlandkreis in Halle/Saale, wo sich Kavernenspeicher befinden.

[0009] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn während des Betankens mit flüssigen Wasserstoff (H_2) gasförmiger Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas von außen entlang der Wärmetauscherwendel oder der Leitung strömt. Dazu kann vorgesehen sein, dass aus der Kaverne gasförmiger Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas entnommen wird. Noch vorteilhafter ist, es, wenn während des Einleitens von flüssigem Wasserstoff (H_2) zusätzlich gasförmiges Gas, also Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas in die Kavernen gepumpt wird. Das durch die Kompression erwärmte Wasserstoffgas (CH_4), Erdgas (CH_4) oder Mischgas wärmt somit die Wärmetauscherwendel oder der Leitung und hilft so, den flüssigen Wasserstoff (H_2) zu vergasen. Entgegen der Erwartungshaltung, dass durch Einleiten von flüssigem Wasserstoff (H_2) der Kavernendruck noch weiter abfällt, ist das Gegenteil zu beobachten. Das dem flüssigen Wasserstoff (H_2) in der Wärmetauscherwendel oder der Leitung entgegen- oder entlangströmende Wasserstoffgas (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas gibt Wärme an den flüssigen Wasserstoff (H_2) ab und kühlt sich dabei selbst ab und verlässt die Kaverne bzw. geht in die Kaverne ein. Wird Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas aus der Kaverne entnommen, so muss dieses Gas aus der Kaverne beim Entspannen ohnehin eine Erwärmungsprozess durchlaufen, um die Temperatur an das lokale Gasnetz anzupassen. In diesem Fall müsste also das entspannte und dabei abgekühlte Gas durch atmosphärische oder beheizte Wärmetauscher erwärmt werden oder im Entspannungsprozess mehr atmosphärische Wärme aufnehmen oder auch Wärme aus der Verbrennung von Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas aufnehmen. Um die Temperatur des während des Betankens entnommenen Wasserstoffs (H_2) nicht zu weit zu verringern, kann vorgesehen sein, dass der entnommene Wasserstoff (H_2) mit Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas gemischt wird, das aus anderen, benachbarten Kavernen des gleichen Kavernenspeichers entnommen wird. Wird hingegen die Kaverne gleichzeitig mit gasförmigem Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas gefüllt, so ist die Kühlung des durch die Kompression erwärmten Wasserstoffs (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas sogar von Vorteil.

[0010] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert.

[0011] Es zeigt:

Fig. 1 einen Betankungsvorgang eines Kavernenspeichers

[0012] In **Figur 1** ist eine Kaverne 100 skizziert, die in einer hier angenommenen Teufe von 800 m bis 2.000 m angeordnet ist. Diese Kaverne 100 ist über ein verrohrtes Bohrloch 120 mit der Erdoberfläche verbunden, durch welches gasförmiges Wasserstoffgas (CH_4), Erdgas (CH_4) oder Mischgas 310 aus der Kaverne 100 entnommen werden kann. Zum Einleiten von flüssigem Wasserstoff (H_2) 300 ist es notwendig, den flüssigen Wasserstoff (H_2) 300 mit einer Kryo-Hochdruckpumpe 105 gegen den Kavernendruck in die Kaverne zu pumpen. Nach dem Gedanken der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Wärmetauscherwendel 110 oder eine Leitung in das verrohrte Bohrloch 120 eingebracht wird, zumindest aber eine Leitung, die in der Gasentnahmeverrohrung vorliegt. Diese Wärmetauscherwendel 110 oder Leitung führt bis zum Kavernenkopf 130, wo der aus dem Ausgang 111 austretende flüssige Wasserstoff (H_2) 300 auf eine Prallplatte 112 fällt und dadurch breit aufgefächert wird. Durch das Auffächern bildet sich der hier dargestellt Kegel des flüssigen Wasserstoffs (H_2) 300, in dem der aufgefächerte, flüssige Wasserstoff (H_2) 300 innerhalb der Kaverne 100, die eine Höhe zwischen 100 m und 300 m haben kann, über einen breiten Durchmesser im freien Fall innerhalb der Kaverne 100 bis auf eine am Grund befindliche Restsohle fällt. Dabei vergast der flüssige Wasserstoff (H_2) 300 zu gasförmigem Wasserstoff (H_2) und nimmt dabei die Wärme aus dem Wasserstoffgas (CH_4), Erdgas (CH_4) oder Mischgas in der Kaverne 100 auf. Die Kaverne 100 wird sodann mit Erdwärme, die in 800 m bis 2.000 m Teufe vorliegt, wieder aufgewärmt. Um die Vergasung des flüssigen Wasserstoffs (H_2) 300 zu beschleunigen, kann vorgesehen sein, dass während des Betankens einer Kaverne 100 mit 100 Mio Normkubikmeter bis 300 Mio Normkubikmeter Nennvolumen gasförmiges Wasserstoffgas (CH_4), Erdgas (CH_4) oder Mischgas aus der Kaverne 100 entnommen wird. Dabei stellt sich ein Gegenstrom-Wärmetauscher-Effekt zwischen dem gasförmigen Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas 310, das aus der Kaverne 100 strömt, und dem entgegenströmenden flüssigen Wasserstoff (H_2) 300 ein. Das abgekühlte gasförmigen Wasserstoffgas (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas 310 kann sodann über einen atmosphärischen oder beheizten Wärmetauscher 400 wieder erwärmt werden. Alternativ ist es möglich, dass parallel zum Befüllen mit flüssigem Wasserstoff (H_2) gasförmiges Wasserstoffgas (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas in die Kaverne gefüllt wird. Die durch die Kompression erzeugte

Wärme hilft, den eingeleiteten flüssige Wasserstoff (H_2) zu vergasen.

[0013] Um die Temperatur in der Kaverne 100 nicht unterhalb eines kritischen Punktes, der zu einem zu starken Druckabfall führt, fallen zu lassen, kann in Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass verschiedene, benachbarte Kavernen 100 reihum mit flüssigem Wasserstoff (H_2) 300 nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betankt werden.

[0014] In Detail A ist der Ausgang der Wärmetauscherwendel 110 oder der Leitung dargestellt, die an ihrem Ausgang 111 ein Prallblech 112 aufweist, welches den ausströmenden, flüssigen Wasserstoff (H_2) 300 weit auffächert.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0015]

100	Kavernenspeicher	300	flüssiger Wasserstoff
105	Kryo-Hochdruckpumpe	310	Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgases
110	Wärmetauscherwendel		
111	Ausgang	400	Wärmetauschervorrichtung
112	Prallblech	A	Detail
120	Bohrloch		
130	Kavernenkopf		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Befüllen einer Kaverne 100 eines Kavernenspeichers (101) mit flüssigem Wasserstoff , **gekennzeichnet durch**

   - **Einbringen** einer Wärmetauscherwendel (110) oder einer Leitung ('Coil Tubing') in ein verohrtes Bohrloch (120), das von der Erdoberfläche (200) bis zum Kavernenkopf (130) führt, bis zum Kavernenkopf (130),
   - **Abschließen** eines Ausgangs (111) der Wärmetauscherwendel (110) oder der Leitung mit einem Prallblech (112),
   - **Einleiten** von 10 m^3 bis 50 m^3 flüssigem Wasserstoff (H_2) (300) in die Wärmetauscherwendel (110) oder in die Leitung,
   - **Warten** bis der Druck in der Kaverne des Kavernenspeichers (100) wieder auf 70% bis 120% des ursprünglichen Drucks angestiegen ist,
   - **erneutes Einleiten** von 10m^3 bis 50 m^3 flüssigem Wasserstoff (H_2) (300) in die Wärmetauscherwendel (110) oder in die Leitung,
   - wobei das Warten und das erneute Einleiten so lange wiederholt wird, bis eine vorgewählte Füllmenge des Kavernenspeichers (100) erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
   gekennzeichnet durch
   ein Normvolumen des zu befüllenden Kavernenspeichers (100) zwischen 100 Mio m^3 bis 300 Mio m^3.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
   gekennzeichnet durch
   Einleiten von 10 m^3 bis 50 m^3 flüssigem Wasserstoff (H_2) pro einzelnen Betankungsvorgang.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
   dadurch gekennzeichnet, dass
   der Kavernenspeicher (100) aus einer Mehrzahl benachbarter, einzelner Kavernen besteht, die reihum befüllt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
   gekennzeichnet durch
   gleichzeitige Entnahme von gasförmigen Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas (310) währen des Befüllens.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
gekennzeichnet durch
Entspannen des entnommenen Wasserstoffs (310) und Erwärmen des Wasserstoffs (310) durch mindestens eine atmosphärische oder beheizte Wärmetauschervorrichtung (400).

7. Verfahren nach Anspruch 5,
gekennzeichnet durch
Mischen von Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas (310) aus der aktuell befüllten Kaverne (100) mit Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas aus einer benachbarten Kaverne vor dem Entspannen des Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas (310) aus der aktuell befüllten Kaverne (100).

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
gekennzeichnet durch
gleichzeitiges Einbringen von gasförmigem Wasserstoff (H_2), Erdgas (CH_4) oder Mischgas (310) währen des Befüllens.

Claims

1. Method for filling a cavern (100) of a cavern storage facility (101) with liquid hydrogen,
characterized by

- introducing a heat exchanger coil (110) or a tube (coil tubing) into a cased bore hole (120), which leads from the ground surface (200) to the cavern head (130) all the way up to the cavern head (130),
- sealing an outlet (111) of the heat exchanger coil (110) or the line with a baffle plate (112),
- introducing 10 m^3 to 50m^3 of liquid hydrogen (H_2) (300) into the heat exchanger coil (110) or into the tube,
- waiting until the pressure in the cavern of the cavern storage facility (100) has risen again to 70% to 120% of the original pressure,
- re-introducing 10 m^3 to 50 m^3 of liquid hydrogen (H_2) (300) into the heat exchanger coil (110) or into the tube,
- wherein the waiting and re-introducing are repeated until a pre-selected filling quantity of the cavern storage facility (100) has been reached.

2. The method according to Claim 1,
characterized by
a standard volume of the cavern storage facility being filled (100) between 100 million m^3 and 300 million m^3.

3. Method according to Claim 1 or 2,
characterized by
introducing 10m^3 to 50 m^3 of liquid hydrogen (H_2) for each individual refuelling operation.

4. The method according to any one of the Claims 1 to 3,
characterized in that
the cavern storage facility (100) consists of a plurality of adjacent individual caverns that are filled in turn.

5. Method according to one of the Claims 1 to 4,
characterized by
simultaneous extraction of gaseous hydrogen (H_2), natural gas (CH_4) or mixed gas (310) during filling.

6. The method according to Claim 5,
characterized by
decompressing the extracted natural gas (310) and heating the natural gas (310) by at least one atmospheric or heated heat exchanger device (400).

7. The method according to Claim 5,
characterized by
mixing hydrogen (H_2), natural gas (CH_4) or mixed gas (310) from the currently filled cavern (100) with hydrogen (H_2), natural gas (CH_4) or mixed gas from an adjacent cavern before decompressing the hydrogen (H_2), natural gas (CH_4) or mixed gas (310) from the currently filled cavern (100).

8. The method according to any one of the Claims 1 to 4,
characterized by
simultaneously introducing gaseous hydrogen (H_2), natural gas (CH_4) or mixed gas (310) during filling.

Revendications

1. Procédé, destiné à remplir une caverne (100) d'une caverne de stockage (101) avec de l'hydrogène liquide,
caractérisé par

- l'insertion jusqu'à la tête de caverne (130) d'une spirale d'échangeur de chaleur (110) ou d'une conduite ('Coil Tubing') dans un trou de forage (120) tubé, qui mène de la surface terrestre (200) jusqu'à la tête de caverne (130),
- la fermeture d'une sortie (111) de la spirale d'échangeur de chaleur (110) ou de la conduite avec un déflecteur (112),
- l'introduction de 10 m^3 à 50 m^3 d'hydrogène (H_2) liquide (300) dans la spirale d'échangeur de chaleur (110) ou dans la conduite,
- l'attente jusqu'à ce que la pression soit remontée jusqu'à de 70 % à 120 % de la pression initiale dans la caverne de la caverne de stockage (100),
- l'introduction renouvelée de 10m^3 à 50 m^3 d'hydrogène (H2) liquide (300) dans la spirale d'échangeur de chaleur (110) ou dans la conduite,
- l'attente et l'introduction renouvelée étant répétées jusqu'à ce qu'une quantité de remplissage présélectionnée de la caverne de stockage (100) soit atteinte.

2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé par
un volume standard de la caverne de stockage (100) qui doit être remplie compris entre 100 millions de m^3 et 300 millions de m^3.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,
caractérisé par
l'introduction de 10 m^3 à 50 m^3 d'hydrogène (H_2) liquide pour chaque processus de ravitaillement.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que
la caverne de stockage (100) est constituée d'une pluralité de cavernes individuelles, que l'on remplit tour à tour.

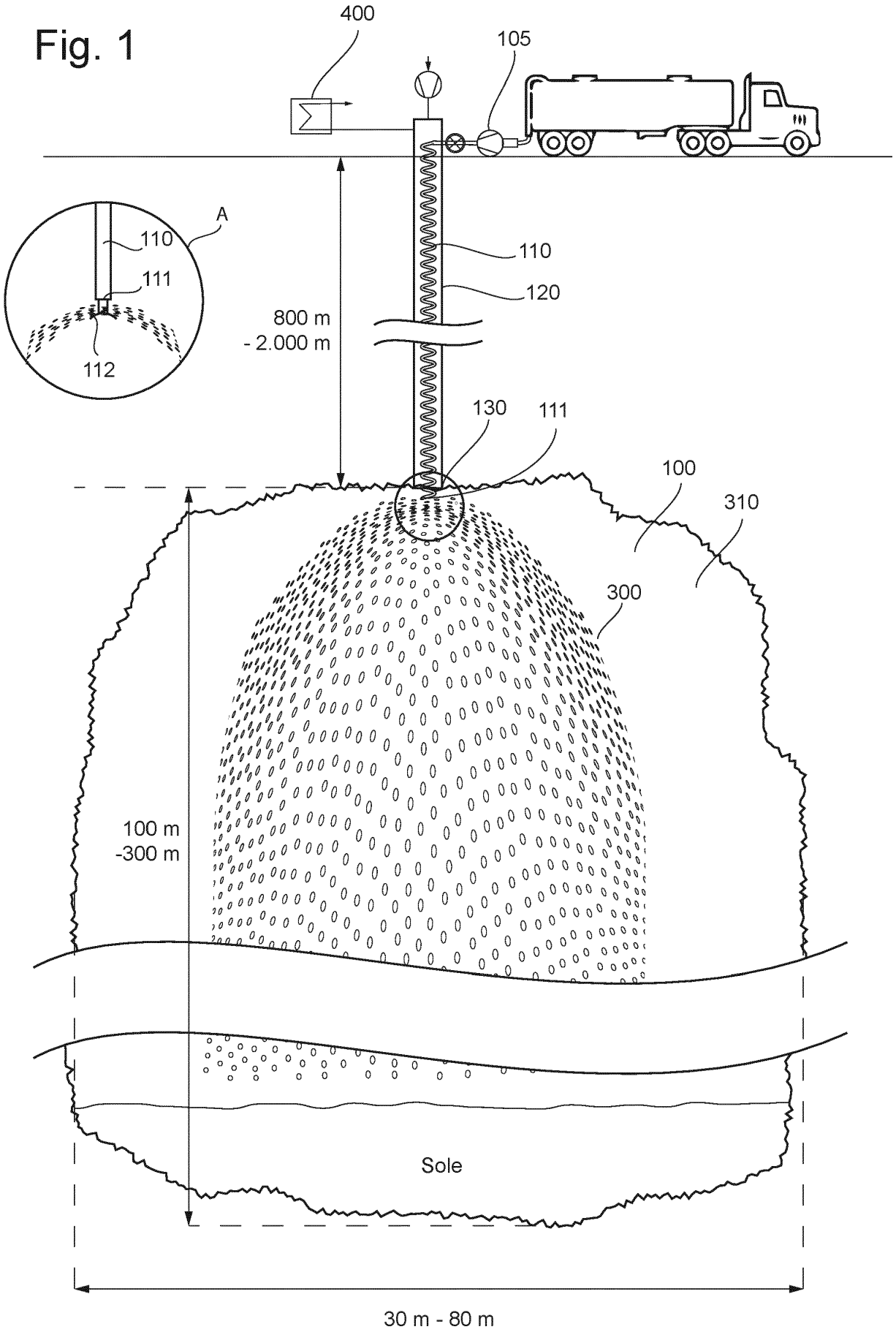
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,
caractérisé par
un prélèvement simultané d'hydrogène (H_2), de gaz naturel (CH_4) ou de gaz mixte (310) pendant le remplissage.

6. Procédé selon la revendication 5,
caractérisé par
la détente de l'hydrogène (310) prélevé et l'échauffement de l'hydrogène (310) par au moins un dispositif d'échangeur de chaleur (400) atmosphérique ou chauffé.

7. Procédé selon la revendication 5,
caractérisé par
le mélange d'hydrogène (H_2), de gaz naturel (CH_4) ou de gaz mixte (310) issu de la caverne (100) actuellement remplie avec de l'hydrogène (H_2), du gaz naturel (CH_4) ou du gaz mixte issu d'une caverne voisine avant la détente de l'hydrogène (H_2), du gaz n naturel (CH4) ou du gaz mixte (310) issu de la caverne (100) actuellement remplie.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,
caractérisé par
l'introduction simultanée d'hydrogène (H_2) gazeux, de gaz naturel (CH_4) ou de gaz mixte (310) pendant le remplissage.

Fig. 1


400
105
A
110
111
112
800 m
- 2.000 m
110
120
130
111
100
310
300
100 m
-300 m
Sole
30 m - 80 m

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 6932121 B1 **[0004]**