

**NORGE**



**STYRET  
FOR DET INDUSTRIELLE  
RETTSVERN**

**Utlegningskrift nr. 118496**

Int. Cl. F 17 c 3/00 Kl. 17g-4

Patentsøknad nr. 159.489 Inngitt 26.VIII 1965

Løpedag -

Søknaden alment tilgjengelig fra 1.VII 1968

Søknaden utlagt og utlegningskrift utgitt 5.I 1970

Prioritet begjært fra: -

---

VEHOC CORPORATION, (a Corporation of Delaware),  
330 Madison Avenue, New York, N.Y., 10017, USA.

Oppfinnere: Herbert Campbell Secord, Little Cheverells,  
Markyate Herts, England og Bernhard J. Clarke,  
1540 Teeway Drive, Columbus, Ohio, USA.

Fullmektig: Siv.ing. Kjell Gulbrandsen.

Fremgangsmåte til transportlagring av en flerkomponent-  
naturgassblanding.

Oppfinnelsen vedrører lagring og transport av naturlige hydrokarbongassblandinger og mer særskilt vedrører oppfinnelsen en fremgangsmåte hvormed en naturgassblanding holdes i en fortettet tilstand egnet for transport, særlig med skip, med minimale kompresjons-, kjøle- og beholderkostnader pr. vektenhet gassblanding.

Store mengder hydrokarbongasser er tilgjengelige på gass- og oljefelter i områder som er så langt fjernet fra eller adskilt fra forbrukerstedene av så store havstrekninger, at man hittil ikke har kunnet utnytte disse gasser kommersielt. Visse tyngre gassblandinger som er rike på propan og/eller butan har man av og til gjenvunnet og transportert som væsker (LPG), men de lettere naturgasser som vesentlig består av metan tennes ofte på og brennes ut, eller slippes ut i

## 118496

det fri ved oljebrønnen. En hensikt med foreliggende oppfinnelse er å tilveiebringe en fremgangsmåte for lagring og transport av disse lettere hydrokarbongasser som er rike på metan, slik at deres store energipotensial kan gjøres tilgjengelig over hele verden. Den nye fremgangsmåten er særlig beregnet til bruk ved transport av gassblandinger i bulkskip.

Det har før vært foreslått flere fremgangsmåter for lagring og skipning av lette hydrokarbongassblandinger som er rike på metan, men ingen av disse fremgangsmåter har vært helt tilfredsstillende. Den såkalte LNG-prosess hvor metanrike naturgasser holdes ved kondenseringstemperatur ( $-165^{\circ}\text{C}$ ) og atmosfærisk trykk, har vist seg mer løfterik enn andre fremgangsmåter, men som grunnlag for transport ved en kommersiell markedsføring har fremgangsmåten utpregede ulemper på grunn av de store kostnader som er forbundet med oppnåelsen av og opprettholdelsen av de ekstremt lave frysetemperaturer. Ved isteden å benytte visse kombinasjoner av moderat komprimering og kjøling har man tilveiebragt en fremgangsmåte til transport av metanrike naturgassblandinger som ofte har vist seg økonomisk helt overlegen sammenlignet med LNG-prosessen eller andre konvensjonelle prosesser. Fremgangsmåten benytter seg av temperaturer som ikke er lavere enn rundt den kritiske temperaturen til metan ( $-82^{\circ}\text{C}$ ) og trykk som ikke er lavere enn kokepunkt-duggpunkttrykket til gassen, slik at den lagrede blanding alltid er i enfasetilstand. Selv om beholderkostnadene er større enn ved LNG-prosessen, fordi beholderne må kunne motstå trykk, så er innsparingene ved kjølingen så meget større at denne sistnevnte fremgangsmåte er meget mer økonomisk.

Erfaringer med denne sistnevnte fremgangsmåte har imidlertid ført til den oppdagelse at lavere driftstemperaturer (fremdeles godt over frysetemperaturene til LNG-prosessen) og reduserte driftstrykk som ligger nærmere og til og med lavere enn kokepunkt-duggpunkttrykket til gassblandingen resulterer i ennu større kostnadsinnsparinger, f. eks. når en relativt mager blanding skal transporteres og/eller avstandene er forholdsmessig større. Ved denne nye metoden oppveier hverken kjøleutgiftene eller beholderutgiftene de andre fordeler.

Ifølge oppfinnelsen er det tilveiebragt en fremgangsmåte til transportlagring av en flerkomponent-naturgassblanding inneholdende minst 60 molprosent metan og minst 80 molprosent metan-pluss-etan, og hvor resten er tyngre hydrokarboner og opp til 10 molprosent inerte bestanddeler, hvilken gassblanding har en kaloriverdi på mellom 7100 og  $14200 \text{ kcal/m}^3$  og bringes til en driftstilstand i hvilken den lagres

**118496**

og isoleres termisk for å hindre ekspansjon og vesentlige varmelek-  
kasjer til gassblandingen, hvilken fremgangsmåte er kjennetegnet ved  
at ved komprimering og kjøling bringes gassblandingen til en drifts-  
tilstand innenfor et driftsområde hvor den maksimale driftstemperatur  
går opp til omtrent den kritiske temperatur for metan, den laveste  
driftstemperatur er omtrent  $-129^{\circ}\text{C}$ , det maksimale driftstrykk er  
 $21 \text{ kg/cm}^2$  over kokepunkt-duggpunkttrykket til gassblandingen ved  
driftstemperaturen, og det laveste driftstrykk er  $1,05 \text{ kg/cm}^2$  under  
kokepunkt-duggpunkttrykket til gassblandingen ved driftstemperaturen,  
idet gassblandingen holdes i en fortettet tilstand egnet for lagring  
og transport med minimale kompresjons-, kjøle- og beholderkostnader  
pr. vektenhet gassblanding.

Fordelaktig er den maksimale driftstemperatur  $-90^{\circ}\text{C}$  og det  
maksimale driftstrykk  $7 \text{ kg/cm}^2$  over kokepunkttrykket til gassbland-  
ingen ved driftstemperaturen.

Den forannevnte definisjon av de naturgassblandinger som er  
egnet for lagring ifølge foreliggende fremgangsmåte omfatter olje-  
brenngasser, gasser separert fra råolje ved oljebrønnen og restgasser  
fra oljeraffinerier og andre behandlingsanlegg, men omfatter ikke  
propanbutanblandinger som vanligvis forefinnes i flytende tilstand  
som "LPG" og kunstig frembragte løsninger av ren metan oppløst i en  
tyngre bærer såsom etan. Inneholder blandingen opprinnelig mer enn  
den nevnte mengde inerte bestanddeler (opptil 10 molprosent), så må  
det foretas en tilsvarende reduksjon, noe som ikke bare vil øke las-  
tens varmeverdi, men som i tilfelle av for meget karbondioksyd vil  
hindre storkning, og i tilfelle av for meget nitrogen vil senke bland-  
ingens damptrykk. De påtenkte gassblandinger er litt magrere sammen-  
lignet med de blandinger som kan behandles med den tidligere frem-  
gangsmåte, fordi de ikke i noe tilfelle vil inneholde mindre enn 60  
molprosent metan og 80 molprosent metan-pluss-etan. Noe av det vik-  
tigste ved oppfinnelsen er at disse lette blandinger nettopp er de  
som hittil er blitt brent vekk på fjerntliggende olje- og gassfelter  
fordi man hittil har betraktet det som uøkonomisk å transportere dem  
til forbrukerstedene. En av de mange naturgasser som kan benyttes  
ved utøvelsen av oppfinnelsen er en typisk Sahara-gass med en kritisk  
temperatur på  $-57^{\circ}\text{C}$  og et kritisk trykk på  $68 \text{ kg/cm}^2$  abs., samt en  
kaloriverdi på  $10100 \text{ kcal/m}^3$  og som har følgende sammensetning regnet  
i molprosent:

## 118496

Metan	88,80
Etan	5,02
Propan	2,71
Butan	2,43
Pentan	0,03
Heksan	0,01
Nitrogen	0,34
Karbondioksyd	0,66

Frengangsmåten ifølge oppfinnelsen skal forklares nærmere under henvisning til tegningen som viser et trykktemperaturdiagram (ikke i målestokk) for en representativ naturgassblanding, og i diagrammet er det påtenkte driftsområde inntegnet.

Diagrammet inneholder ingen absolutte verdier, men formen til de forskjellige kurver er kjennetegnende for en typisk naturgassblanding av den tidligere nevnte type. Kurven A B C begrenser området hvor gassblandingen forefinnes i en tofasetilstand, delvis væske og delvis damp. Punkt A indikerer kondenseringstemperaturen til gassblandingen ved atmosfæretrykk og uttrykt i tall kan temperaturen være ca.  $-165^{\circ}\text{C}$ . Punkt B er gassblandingsens kritiske punkt hvor de forskjellige linjer som representerer samme væske- og dampkonsentrasjoner inne i tofaseområdet konvergerer. Fra A til B benevnes kurven kokepunktlinje fordi den angir de likevektstilstander hvor damp vil fremkomme, f. eks. under isotermisk ekspansjon av gassblandingen. Fra det kritiske punkt B til punktet C på kurven benevnes kurven duggpunktlinje, fordi det er her væsken begynner å kondensere, f. eks. under isobarisk kjøling av gassblandingen. Kritiske punkter for representative naturgassblandinger som kan behandles med frengangsmåten ifølge oppfinnelsen er trykk på omkring  $47,5 - 126 \text{ kg/cm}^2$  abs. og temperaturer på omkring  $-90 - +25^{\circ}\text{C}$ . I området begrenset av kurven A B C kan man si at gassblandingen forefinnes som en væske og en damp, men utenfor dette område betegner man gassblandingen best som et kompresibelt fluidum uten hensyn til trykk og temperatur, fordi blandingsens tilstand varierer først og fremst avhengig av tettheten. Komprimerer man f. eks. gassblandingen fra punktet X til Y og deretter avkjøler den til punktet Z, så vil tettheten gradvis forandre seg uten en utpreget faseforandring. Bare når man utfører forandringen i temperatur og trykk slik at man går tvers gjennom tofaseområdet, f. eks. direkte fra X til Z, kan man observere en utpreget delvis væske- og delvis damptilstand. I det etterfølgende betegnes adferden til naturgass som adferden til et fluidum når man befinner

seg utenfor tofaseområdet, og ment er herved et kompresibelt enfasefluidum.

Ifølge den videste betydning av foreliggende oppfinnelse komprimeres og kjøles gassblandingen til en driftstilstand som er angitt med de stiplede linjer som forbinder punktene 1 - 3, 3 - 4, 4 - 5 og 5 - 1 i diagrammet. Gassblandingen gis således en driftstemperatur som ligger under den stiplede linje som forbinder punktene 3 og 4, hvilken temperatur ligger omkring den kritiske temperatur for metan ( $-82,5^{\circ}\text{C}$ ). Over denne temperatur medfører det nødvendige absolute trykk uforholdsmessig store beholderkostnader. Diagrammet viser også den laveste driftstemperatur angitt av den stiplede linje mellom punkt 1 og 5, hvilken temperatur ligger på omkring  $-129^{\circ}\text{C}$ . Ifølge foreliggende fremgangsmåte er det således nødvendig med mer kjøling enn i den forannevnte fremgangsmåte, men gassblandingen avkjøles ikke til de lave frysetemperaturer som man benytter ved LNG-prosessen, fordi under  $-129^{\circ}\text{C}$  öker kjølekostnadene meget sterkt, stigningen i tetthetsökningen blir mindre og man når et nedre vendepunkt for beholderkostnadskurven, slik det skal forklares nærmere nedenfor.

Den stiplede linje mellom punktene 4 og 5 indikerer det maksimale driftstrykk på  $21 \text{ kg/cm}^2$  over gassblandingsens kokepunkt-duggpunkttrykk. For de gassblandinger som oppfinnelsen skal utnyttes for kan det maksimale driftstrykk i den varmeste driftstilstand, punkt 4, være omtrent  $70 \text{ kg/cm}^2$  abs., mens i den varmeste driftstilstand, punkt 5, kan trykket være omtrent  $35 \text{ kg/cm}^2$  abs. Fordi de anvendte temperaturbetingelser i de fleste tilfelle er lavere enn den kritiske temperatur B til de påtenkte blandinger, resulterer denne definisjon av det maksimale driftstrykk nødvendigvis i en absolutt kompresjon som er relativt liten. Derav følger at flaskene eller beholderne hvori gassblandingen oppbevares ved utövelsen av fremgangsmåten kan gjøres særskilt store og kan konstrueres av et materiale (f. eks. høyprosentig nikkelholdig stål eller en sterk aluminiumslegering) som velges mer under hensyntagen til dets motstandsevne overfor lave temperaturer enn dets motstandsevne til å motstå høye trykk.

Det laveste driftstrykk ifølge fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen angis av den stiplede linje mellom punktene 1 og 3 i diagrammet, og trykket ligger over hele det valgte temperaturområde ca.  $1,05 \text{ kg/cm}^2$  under gassblandingsens fasegrense. For så å si alle de gassblandinger som foreliggende fremgangsmåte skal benyttes for vil det laveste driftstrykk ved minste kjøling (punkt 3) være omtrent 35

**118496**

kg/cm<sup>2</sup> abs., og ved den største kjøling (punkt 1) vil trykket være omtrent 7 kg/cm<sup>2</sup> abs. Under denne grense for det laveste trykk vil den gjennomsnittlige tetthet for blandingen bli for liten for økonomisk drift.

Av diagrammet ser man at praktisk talt hele det påtenkte driftsområde i fasediagrammet ligger over kokepunkt-duggpunktlinjen, slik at man befinner seg i enfaseområdet til et fortettet fluidum uten tomrom eller andre tegn på samtidig tilstedeværelse av væske og damp. Fordi det laveste driftstrykk ligger nedenfor kokepunkt-duggpunktlinjen utelukkes ikke tilstedeværelsen av et observerbart skille mellom separate væske- og dampfaser av de påtenkte driftsbetingelser. De fleste gassblandinger som skal behandles ifølge fremgangsmåten har en kritisk temperatur som er større enn den kritiske temperatur til metan og derav følger at det smale tofaseområdet som ligger innenfor driftsområdet ligger under kokepunkt delen av fasegrensen, dvs. et område hvor det er meget lite damp og tilsvarende meget væske. I de aller fleste tilfelle vil ikke mer enn 10 volumprosent av gassblandingen i driftstilstanden være damp, selv ved de laveste driftstrykk og temperaturer, som man finner ved punkt 1 i fasediagrammet. En av de prinsipielle grunner hvorfor dette smale tofaseområde omfattes av foreliggende oppfinnelse er at det er ønskelig å tilveiebringe et lite tomrom i beholderne, slik at i tilfelle av hurtig oppvarming av beholderne i krisetilfeller, som f. eks. når sjøvann trenger inn i skipets lasterom og vasker rundt beholderne, vil den resulterende økning i trykket ikke skje altfor hurtig. Pr. beholder får man litt mindre last når man tilveiebringer et slikt tomrom, men sikkerhetstiltak for enfasedrift kan nødvendiggjøre tomme utjevningsskamre ombord i skipet for å oppta lastens ekspansjon, og disse ekstra kostnader kan lett opveie de økonomiske ulemper som medfølger mindre netto last i tofasetilstand.

Ved kommersiell nyttegjøring av oppfinnelsen får man optimale kostnadsbesparelser ved temperaturer som ligger godt under den kritiske temperatur for metan. Det er derfor man definerer den maksimale driftstemperatur som "opp til" istedenfor ved den kritiske temperatur for metan, og bare i meget få, hvis overhodet noen tilfelle, vil det være nødvendig å velge en driftstemperatur på denne grense.

Foreliggende fremgangsmåte er billigere enn den tidligere fremgangsmåte som grunnlag for statisk lagring, fordi driftstrykkene er vesentlig lavere. Ikke desto mindre kan det i visse tilfelle ved sjögående transport være ønskelig å unngå statisk lagring på laste- og

**118496**

lossestedene, slik at gassblandingen kan forberedes for utskipning i en relativ konstant mengde pr. tidsenhet og leveres til forbrukerne med lignende jevn leveringsmengde. For dette formål holdes ett skip hele tiden klart for lasting, mens et annet losses, og resten av flåten pendler mellom de to havnene. Vanligvis trenger man således minst fire skip. Derved unngår man kostnader som er forbundet med dobbelte laste- og losseoperasjoner fra statiske lagertanker som man ellers ville måtte ha i de to havner.

Innenfor det grenseområde for trykk og temperatur som er beskrevet ovenfor forefinnes det, avhengig av slike faktorer som den særskilte sammensetning av blandingen som skal lagres, transportavstanden osv., et optimalt arbeidsområde eller foretrukne betingelser, og dette arbeidsområde er i fasediagrammet angitt med de stiplede linjer som forbinder punktene 1, 2, 7 og 6. Her er den maksimale driftstemperatur, linjen 2 - 7,  $-90^{\circ}\text{C}$ , og den laveste driftstemperatur, linjen 1 - 6, er som nevnt ovenfor omtrent  $-129^{\circ}\text{C}$ , godt under den kritiske temperatur for de gassblandinger som foreliggende fremgangsmåte skal benyttes for. Det maksimale driftstrykk, linjen 6 - 7, ligger  $7\text{ kg/cm}^2$  over kokepunkttrykket til gassblandingen ved driftstemperaturen. Det laveste driftstrykk, linjen 1 - 2, er som nevnt ovenfor  $1,05\text{ kg/cm}^2$  under kokepunkttrykket til blandingen ved driftstemperaturen. I dette driftsområde kan gassblandingen oppbevares med en tetthet som er fra 400 - 575 ganger dens normale tetthet ved atmosfæretrykk og temperatur.

Et praktisk utførelseseksempel for benyttelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er f. eks. transport av den forannevnte Sahara-gassblanding som har en spesifikk egenvekt i forhold til luft på 0,648. Denne gassblanding kan transporteres gjennom rør fra en oljebrønn sammen med de tilhørende tyngre hydrokarboner og kan leveres til separatorinnretninger hvor gassen separeres fra den tilhørende væske og dehydreres. Blandingens føres deretter over land gjennom rør under anvendelse av trykk og med omgivelsestemperatur, frem til havnen hvor gassen skal lastes ombord i skipet. På dette sted kan gassens trykk og temperatur bringes opp til de valgte driftsbetingelser, f. eks.  $-112^{\circ}\text{C}$  og  $15,5\text{ kg/cm}^2$  abs., (nesten kokepunkttrykket ved denne temperatur) ved at gassen kjøles under høyt trykk til  $-101^{\circ}\text{C}$  og deretter ekspanderes ned til driftstrykket og driftstemperaturen. Denne tilstand bibeholdes når gassblandingen bringes inn i beholderne ombord i skipets lasterom, i hvilke beholdere omtrent 1 volumprosent er tomrom som gir det nødvendige sikkerhetsekspanjonsrom. Alterna-

tivt kan gassblandingen ekspanderes inn i beholderne på en slik måte at blandingens trykk og temperatur passerer diagrammets tofaseområde før blandingen får den endelige driftstilstand.

Beholderne kan være avlange flasker fremstilt av et materiale som f. eks. stål med 9 % nikkel eller en sterk aluminiumslegering anordnet i et termisk isolert rom. Flaskene kan ha en diameter på omtrent 3 m og kan f. eks. være ca. 15 m lange og anordnet vertikalt i form av hensiktsmessig forbundne batterier. Tettheten til denne løst i den driftstilstand som er beskrevet ovenfor ( $-112^{\circ}\text{C}$  og  $15,5 \text{ kg/cm}^2$  abs.) er omtrent  $385 \text{ kg/m}^3$ , og dette er omtrent 485 ganger den normale tetthet ved atmosfæretrykk og temperatur. Under hensyntagen til alle kostnadsfaktorer for en skipning som beskrevet ovenfor på en transmiddehavsrute på omtrent 800 km, kan man fra begynnelsen av lastingen til slutten av lossingen transportere en gassblanding til en pris vesentlig lavere pr. vektenhet med foreliggende fremgangsmåte enn man hittil har kunnet med de forannevnte kjente fremgangsmåter hvor man benytter høyere temperaturer. Sammenlignet med LNG-metoden er innsparingene pr. enhet ennu mer overbevisende.

Naturgassblandinger som transporteres i samsvar med foreliggende oppfinnelse kan på hovedbestemmelsesstedet separeres til metan for kontinuerlig tilførsel til et overføringssystem og tyngre bestanddeler, såsom etan, LPG og naturbensin, som kan føres gjennom rørledninger til de forskjellige bruksområder. De tunge bestanddeler kan alternativt omvandles hovedsakelig til metan ved eksotermisk reaksjon med damp over en nikkelinnholdende katalysator for ytterligere å øke gasstilførselen.

#### P a t e n t k r a v .

-----

1. Fremgangsmåte til transportlagring av en flerkomponent-naturgassblanding inneholdende minst 60 molprosent metan og minst 80 molprosent metan-pluss-etan, og hvor resten er tyngre hydrokarboner og opp til 10 molprosent inerte bestanddeler, hvilken gassblanding har en kaloriverdi på mellom  $7100$  og  $14200 \text{ kcal/m}^3$  og bringes til en driftstilstand i hvilken den lagres og isoleres termisk for å hindre ekspansjon og vesentlige varmelekkasjer til gassblandingen, k a r a k t e r i s e r t v e d at ved komprimering og kjøling bringes gassblandingen til en driftstilstand innenfor et driftsområde hvor den maksimale driftstemperatur går opp til omtrent den kritiske tempera-

tur for metan, den laveste driftstemperatur er omtrent  $-129^{\circ}\text{C}$ , det maksimale driftstrykk er  $21 \text{ kg/cm}^2$  over kokepunkt-duggpunkttrykket til gassblandingen ved driftstemperaturen, og det laveste driftstrykk er  $1,05 \text{ kg/cm}^2$  under kokepunkt-duggpunkttrykket til gassblandingen ved driftstemperaturen, idet gassblandingen holdes i en fortettet tilstand egnet for lagring og transport med minimale kompresjons-, kjøle- og beholderkostnader pr. vektenhet gassblanding.

2. Fremgangsmåte til lagring av en naturgassblanding ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den maksimale driftstemperatur er  $-90^{\circ}\text{C}$  og ved at det maksimale driftstrykk er  $7 \text{ kg/cm}^2$  over kokepunkttrykket til gassblandingen ved driftstemperaturen.

Anførte publikasjoner:

Norsk patent nr. 103.530

118496

