



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **325900**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

F04D 25/06 (2006.01)

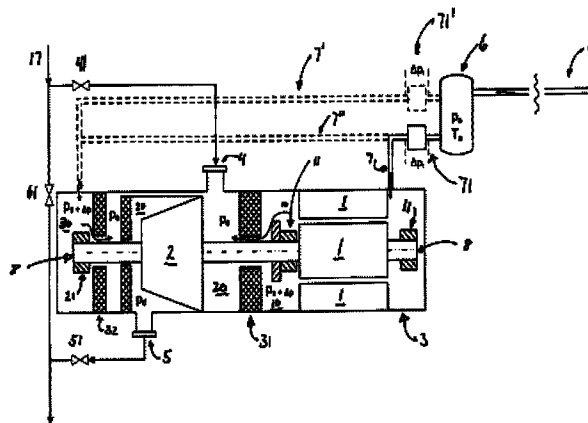
F04D 13/08 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20054620	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2005.10.07	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2005.10.07	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2007.04.10		
(45)	Meddelt	2008.08.11		
(73)	Innehaver	Aker Kværner Subsea AS, Postboks 94, 1325 LYSAKER		
(72)	Oppfinner	Kjell Olav Stinessen, Nedre Skogvei 8B, 0281 OSLO Håkon Skofteland, Hagaliveien 2B, 1358 JAR Audun Grynning, Riiser Larsensvei 6A, 1368 STABEKK		
(74)	Fullmektig	Zacco Norway AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO		

(54)	Benevnelse	Anordning og fremgangsmåte for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul		
(56)	Anførte publikasjoner	US 5,412,977, WO 03/085164 A1, WO 92/00438		
(57)	Sammendrag			

En anordning for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul som innbefatter et trykkhus (3) med en elektrisk motor (1) som via en aksel (8) er drivbart forbundet med en kompressor (2). Akselen (8) er understøttet av magnetlagre (11, 21) og minst en aksialtetning (31) om akselen (8) som deler trykkhuset inn i et første rom (10) som innbefatter motoren (1) og et andre rom (20) som innbefatter kompressoren (2), idet det andre rom (20) innbefatter et innløp (4) og et utløp (5) for fluid som skal komprimeres. En ledning (7) er fluidforbundet med det første rom (10) for tilførsel av barrieregass fra et reservoar (6), og en strupningsanordning (71) i ledningen mellom reservoaret (6) og det første rom (10). Anordningen muliggjør en fremgangsmåte for regulering av tilførsel av barrieregass på grunnlag nødvendig barrieregasshastighet (vg) gjennom tetningen (31; 32) og trykket (ps) i det andre rom (20). Det kan innstilles et overtrykk (pa) i reservoaret (6), og bevirkes en styrt tilførsel av barrieregass til minst det første rom (10) ved hjelp av strupningen (71; 71') i tilførselsrøret (7; 7').



Oppfinnelsen vedrører kompressormoduler for komprimering av hydrokarbongasser i en brønnstrøm, og mer spesifikt en anordning og en fremgangsmåte som angitt i innledningen av de selvstendige patentkrav 1 og 8.

- 5 Oppfinnelsen er særlig egnet til bruk i undervanns kompressormoduler.

En kompressormodul er i sin mest prinsipielle form en enhet der en kompressor og en motor er forbundet via en aksling og plassert i et felles trykkskall. Mellom motoren og kompressoren er det en tetning for å forhindre forurensning av motoren. Det er imidlertid problemer med å holde den gassfylte, elektriske motor så tørr som er nødvendig for å unngå korrosjon og andre problemer som er relatert til utskilling av hydrokarbonkondensater og vann i væskeform inne i motoren. Det er særlig viktig å unngå tilstedeværelse av vann i væskeform sammen med innhold av H_2S eller CO_2 som kan danne syrer og følgelig akselerert korrosjon. Disse problemene ses på i NO 172075 og NO 173197, så vel som NO 20015199. Det er også viktig å forhindre at partikler kan trenge inn og bygge seg opp inne i motor og magnetlagre.

Ellers omtaler US 5412977 en turbomaskin med en rotoraksel som strekker seg på minst en side gjennom maskinhuset, idet rotorakselen er utstyrt med et aksialt tetningsarrangement med minst en tørrgass tetning som tilføres barrieregass, og hvis lekkasje elimineres via en lekkasjeledning. Barrieregassen føres inn i den indre tørrgass tetningen via en ledning ved et forbestemt trykk som er større enn trykket i de indre områder av huset. WO 03/085164 angår en magnetisk drevet enhet med tetning i formen av barrierefluid mellom den magnetiske delen og delen som produserer damp. I dette tilfellet kommer barrieregassen fra et reservoar og passerer gjennom en reguleringsinnretning. WO 92/00438 viser en undervannspumpeenhet med gjennomstrømning av barrierefluid ved strømledere, men uten direkte strømning rundt motorenheten.

Mest vanlig er å anvende regulære oljesmurte lagre eller lignende i kompressorer og motorer for disse. Oppfinneren har utforsket mulighetene for pålitelig bruk av høyhastighetsmotor og magnetlagre i integrerte kompressormoduler som har et felles trykkskall, ved å frembringe en måte for å beskytte elektrisk motor og magnetlagrene i kompressormodulen. Magnetlagre i slike kompressormoduler vil ha flere fordeler, særlig under drift. Magnetlagre er mer pålitelige og mindre kostbare å drive. Av særlig viktighet er at anvendelsen av magnetlagre eliminerer smøreolje, og derfor mulige problemer som kan opptre ved: fortykning av smøreoljen med de hydrokarbongasser som den er i kontakt med, akkumulering av hydrokarbonkondensater eller vann i smøreoljen

eller degradering av smøreoljen over tid på grunn av dens spesielle anvendelse i kompressormoduler. Problemet man møter ved anvendelse av ikke-innkapslede magnetlagre i en kompressormodul tilsvarer i mange henseende de som er forbundet med anvendelse av elektromotorer: begge trenger en fullstendig tørr og inert atmosfære med så lavt partikkelinnhold som praktisk mulig for å fungere pålitelig og problemfritt over tid. Det finnes også innkapslede magnetlagre, eller disse er under utvikling. Det påstås at disse kan operere i den ubehandlede brønnstrømmen av hydrokarbongass. Det er imidlertid grunner til å anta at det også for disse typer magnetlagre er en fordel for lang tids funksjonalitet og pålitelighet at de installeres og opereres i en tørr og partikkelfri atmosfære.

Det er derfor et behov for et system og en fremgangsmåte for å sørge for en fullstendig eller tilnærmet fullstendig tørr omgivelse for den elektriske motor og for magnetlagrene i en integrert kompressormodul, og som også forhindrer at partikler (f.eks. fra den brønnstrømmen som strømmer gjennom kompressoren) kan komme fra kompressorsiden og inn i motor og/eller magnetlagre.

Det er derfor tilveiebrakt en anordning for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul som innbefatter et trykkhus som omfatter en elektrisk motor og en kompressor som via en aksel er drivbart forbundet, idet akselen er understøttet av magnetlagre, idet kompressoren er anbrakt i et andre rom som innbefatter et innløp og et utløp for fluid som skal komprimeres og der det andre rommet er avgrenset av minst én aksialtetning om akselen, kjennetegnet ved minst én ledning for tilførsel av barrieregass fra et reservoar, fluidforbundet med minst ett rom i trykkhuset utenfor det andre rommet, og ved minst én strupning i nevnte ledninger mellom reservoaret og nevnte minste ene rom.

Fordelaktige utførelsesformer av anordningen i samsvar med oppfinnelsen fremgår av de uselvstendige patentkrav 2-7.

Det er videre tilveiebrakt en fremgangsmåte for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul som angitt over, kjennetegnet ved på grunnlag av nødvendig barrieregasshastighet gjennom den minst ene aksialtetningen og trykket i det andre rommet, innstille et overtrykk i reservoaret, og bevirke en styrt tilførsel av barrieregass til det minste ene rom ved hjelp av strupningen i tilførselsrøret.

Fordelaktige utførelsesformer av fremgangsmåten i samsvar med oppfinnelsen fremgår av de uselvstendige patentkrav 9-13.

En utførelsesform av oppfinnelsen skal nå beskrives med henvisning til de medfølgende tegninger, der like deler er tildelt like henvisningstall.

5

Figur 1 er en prinsippskisse av anordningen ifølge oppfinnelsen.

Figur 2 er en prinsippskisse av en utførelsesform av reguleringsanordningen for barrieregass.

10

Figur 3 er en prinsippskisse av en alternativ utførelsesform av reguleringsanordningen for barrieregass.

15

Figur 4 er en prinsippskisse som viser gasshastigheten og massetransporten gjennom aksialtetningen.

Figur 5 illustrerer reguleringsanordningen for barrieregass i en prinsipiell form

20

Figur 6 illustrerer en mekanisk reguleringsanordning for barrieregass som holder konstant massestrøm når trykket oppstrøms regulatoren, p_a , er konstant og temperaturen er konstant, slik temperaturen vil være når regulatoren er omgitt av sjøvann.

25

Kompressormodulen ifølge oppfinnelsen innbefatter en elektrisk motor 1 og en kompressor 2, knyttet sammen via en aksel 8 og anordnet i et felles trykkskall 3. Figur 1 viser skjematisk at en strøm av hovedsakelig hydrokarbongass, men som også kan inneholde væsker og partikler (heretter benevnt fluid) som føres fra et reservoar (ikke vist), fortrinnsvis via en væskeutskiller og i en ledning 17, og inn i kompressormodulen via et innløp 4. På kompressorens 2 oppstrømsside (sugeside) har fluidet et sugetrykk benevnt p_s , som i et kompresjonssystem for brønnstrøm vil falle langsomt over tid etter hvert som reservoartrykket faller. På kompressorens nedstrømsside har fluidet et utløpstrykk benevnt p_d . Når kompressoren er i drift er p_d større enn p_s . Fluidet forlater kompressormodulen via utløpet 5. I tilfeller der kompressoren ikke er i drift og inaktiv og innløpet 4 er avstengt ved hjelp av ventilen 41 og utløpet er avstengt ved hjelp av ventilen 51, vil trykket inne i kompressormodulens rom jevne seg ut og bli likt. Hvis omløpsventilen 61 er stengt, kan trykket oppstrøms ventilen 51 bygge seg opp til å bli større enn trykket nedstrøms ventilen 61. Det maksimale grensetilfellet for denne trykkoppbyggingen, pga. lekkasje gjennom ventilene på brønnhodet, er nedstengningstrykket for brønnene

35

(wellhead shut-in pressure, WSHP). Når kompressoren ikke er i drift og omløpsventilen 61 er åpen, vil trykket oppstrøms 51 og nedstrøms 61 bli et likt blandingsstrykk. Hvis produksjonen da er avstengt over lengre tid, og ventilene ved mottakerstedet for gass er stengt, kan trykket i transportrøret forbi kompressormodulen bygge seg opp til WHSP. I begge nevnte tilfeller av inaktiv kompressor kan derfor trykket inne i kompressormodulen, pga. lekkasje i enten ventil 51 eller 61 eller begge, derfor bygge seg opp til WHSP. For å motvirke inntrengning av fluid i kompressormodulen og de følger dette kan få med hensyn til kondensering, korrosjon og partikkeloppbygning når den er inaktiv, er det derfor gunstig å justere opp trykket inne i kompressormodulen til noe over trykket i rør utenfor ventilene 51 og 61, og eventuelt opp til litt over WHSP.

En første aksialtetning 31 er anordnet mellom kompressoren 2 og motoren 1 og deler trykkskallet inn i et første rom 10 og et andre rom 20. Som kjent er hensikten med den første aksialtetningen 31 å hindre partikler, fuktighet og annen forurensning å komme i kontakt med motoren og øvrig elektrisk utstyr. Aksialtetningen er imidlertid ikke fullstendig tett. For å tilstrebe en mest mulig tørr og ren atmosfære i det første rommet 10, er det vesentlig at trykket i det første rom 10 (der motoren befinner seg) er høyere enn trykket i den andre rom 20 (der kompressoren befinner seg), dvs. at inert gass strømmer fra rom 10 gjennom tetningen og inn i 20. Figur 1 indikerer dette ved å vise at trykket i det første rom 10 (og idet valgfrie tredje rom, pga. balansestempelet) er $p_s + \Delta p$.

Akselen 8 er opplagret ved hjelp av magnetlagre 11, 21 som vist i figur 1. Dersom magnetlageret 21 er av en inne kapslet type som beskrevet over, er den andre aksialtetningen 32 overflødig. Den andre aksialtetningen 32 er således valgfri dersom magnetlageret er inne kapslet.

Figur 1 viser en tilførselsledning 7 for gass, i den ene ende tilknyttet det første rom 10 og i den andre ende tilknyttet et gassreservoar 6 som inneholder gass med et trykk p_a og en temperatur T_a . Gassreservoaret 6 kan (valgfritt) være fluidforbundet med en annen forsyning via en forsyningsledning 9, f.eks. i en såkalt "umbilical". Ved hjelp av tilførselsledningen 7 kan således gass tilføres det første rom 10 fra reservoaret 6. Denne gassen vil være en tørr hydrokarbongass eller tørr inert gass (fremmedgass) som også er ren for partikler. Denne gassen kan komme fra en separat gassforsyning eller det kan benyttes tørket hydrokarbongass. Uavhengig av kilden, vil den gassen som tilføres kompressormodulen via ledningen 7 (samt ledningen 7', som vil bli beskrevet senere) i det etterfølgende bli benevnt "barrieregass".

Av hensyn til friksjonstapet og dermed varmeutviklingen i motoren som må kjøles bort (f.eks.) ved varmeveksling med det omgivende sjøvann i en varmeveksler (ikke vist på figurene), er det fordelaktig at den tilførete barrieregassen har en så lav molekylvekt som mulig, og derved så lav tetthet som mulig ved et gitt trykk og temperatur, fordi friksjonen avtar med avtagende gasstetthet. For å oppnå lavest mulig friksjon og dermed lavest mulig tap og høyest mulig virkningsgrad er bruk av metan (CH_4 : molekylvekt 16) derfor mer fordelaktig enn nitrogen (N_2 : molekylvekt 28). Mest fordelaktig med hensyn til redusert tap er hydrogen (H_2 : molekylvekt 2). Tettheten av hydrogen vil være ca. bare 10 % av en typisk naturgassblanding (molekylvekt 20). Tettheten for hydrogen ved 100 bar vil derfor bare tilsvare tettheten for naturgass ved 20 bar og med tilsvarende reduksjon av friksjonstapet i motoren, krav til kjøler og økt virkningsgrad for motoren.

Det er vanlig å benevne den siden av kompressoren der motoren befinner seg som kompressormodulens "drive end" (DE), og kompressorens andre side som kompressormodulens "non drive end" (NDE). Fagmannen vil forstå at i en praktisk utførelsesform kan kompressorens DE-magnetlagre være plassert i et koplingshus mellom motoren og kompressoren, og tetningen blir da mellom koplingshuset og kompressoren. Koplingshuset og motoren danner allikevel et i prinsippet felles rom med felles, ren atmosfære fylt av barrieregassen. Dersom magnetlagrene er av innkapslet type, og driftsforholdene og/eller brønnstrømgassens (fluidets) sammensetning er slik at disse lagrene kan tillates å operere direkte i brønnstrømgassen, er det bare motoren som trenger beskyttelse, og kompressorens DE-magnetlagre kan derfor være plassert på kompressorens side av tetningen.

Som nevnt over kan en valgfri aksialtetning 32 inndele det andre rom 20 i et ytterligere tredje rom 30 der kompressormodulens NDE-magnetlagre kan være plassert. En valgfri ledning 7' eller 7'' for tilførsel av barrieregass fra reservoaret 6 til dette tredje rommet er vist i figur 1. Dersom magnetlagrene er av innkapslet type, og driftsforholdene og/eller brønnstrømgassens (fluidets) sammensetning er slik at disse lagrene kan tillates å operere direkte i fluidet, er det bare motoren som trenger beskyttelse. I dette tilfellet er tetningen 32 valgfri.

For å hindre at forurensninger skal kunne trenge fra det andre rom 20 (som inneholder kompressoren 2) og forbi (dvs. igjennom) aksialtetningene 31, 32 og inn i det første (hhv. tredje) rom, må barrieregassens lineære hastighet gjennom aksialtetningene være

større eller lik og motsatt rettet hastigheten til det fluidet (og partikler i dette) som befinner seg i det andre rommet 20.

Når det gjelder gassformige forurensningskomponenter i fluidet (H_2S , CO_2 , vanndamp- og hydrokarbondampmolekyler) vil det være en viss, og meget liten, diffusjonshastighet, i størrelsesorden mindre enn 1 mm/s, som beveger disse komponentene i motsatt retning av barrieregasstrømmen inne i tetningen. En svært liten tilførsel (massestrøm pr. tidsenhet) av barrieregass inn i tetningen vil derfor være tilstrekkelig for å holde disse forurensningene ute av de "rene" rommene, f.eks. det første og det tredje rom.

10

Et kritisk tilfelle vil være mulig inntrenging av partikler og eventuelle dråper som faller ut av brønnngassen ned mot tetningen 32 (for NDE-magnetlager), f.eks. dersom kompressormodulen er stilt vertikalt. Slike partikler kan ha en vertikal fallhastighet som overstiger 0,1 m/s.

15

Figur 4 illustrerer hvordan man kan beregne en minste nødvendig barrieregasshastighet gjennom en aksialtetning for å forhindre at partikler faller ned gjennom en vertikalt stilt tetning. Barrieregassens strømning (m) er illustrert i figurene 1 og 4.

20 Fallhastigheten beregnes ved hjelp av Stokes' lov:

$$v_p = [D_p^2 (\rho_p - \rho) g] / 18\mu$$

I formelen og figuren betyr:

25

v_p : fallhastighet for partikkel ned i tetningen, m/s

v_g : barrieregasshastighet gjennom tetningen, m/s

D_p : partikkeldiameter, m

ρ_p : partikkeltetthet, kg/m^3

ρ : gasstetthet, kg/m^3

30

g : tyngdens akselerasjon, m/s^2

μ : dynamisk viskositet, $kg/m \cdot s$

Ved å anta at barrieregassen er metan (CH_4), temperaturen $25^\circ C$ og partikkeltettheten $2500 kg/m^3$, finner man at:

35

- Fallhastighet for partikkel med diameter 50 μm : 0,25 m/s
- Fallhastighet for partikkel med diameter 25 μm : 0,06 m/s

På grunn av kompressormodulens plassering i brønnstrømmen, normalt etter en væske-utskiller eller separator, vil svært få partikler som kommer inn i kompressoren være over $25\mu\text{m}$, og tilnærmet ingen over $50\mu\text{m}$. Teoretisk sett vil derfor en oppoverrettet barrieregasshastighet større enn $0,25\text{ m/s}$ gjennom en vertikal tetning være nok til at partikler ikke kan komme inn i tetningen. For å være på den sikre siden kan man velge en vesentlig større barrieregasshastighet for å holde forurensninger ute. Velger man for eksempel å tilføre en slik mengdestrøm av barrieregass at man oppnår en hastighet i tetningen på $1,25\text{ m/s}$, har man en sikkerhetsfaktor på 5. I praksis vil endelig bestemmelse av tilførsel av barrieregass, i tillegg til beregninger som vist ovenfor, basere seg på praktiske erfaringer. Det endelige valg av barrieregasshastighet og nødvendig dimensjonering forøvrig, vil bygge på en avveining mellom sikkerhet mot innstrømning av forurensninger gjennom tetningen under stasjonære og transiente forhold, og å unngå unødig stor dimensjonering av forsyningssystemet for barrieregass. Spesielt er det viktig å holde forsyningsrøret (f.eks. ledningen 9) for barrieregass innenfor en gunstig diameter, for eksempel mindre enn 25 mm , og også unngå behov for flere enn ett tilførselsrør for en kompressorstasjon.

Ved å velge en barrieregasshastighet mellom 1 m/s og 5 m/s , avhengig av de aktuelle operasjonsforhold, vil man normalt både være sikret mot innstrømning og oppbygging av skadelige nivåer av forurensende gasser, kondensert vann, hydrokarbonkondensat og partikler i motor og magnetlagre, samtidig som man unngår et ugunstig stort forsyningssystem for barrieregass. Det er det den valgte barrieregasshastigheten gjennom tetningen, bygd på forståelse av de mekanismene som kan føre til inntrenginger av forurenset fluid gjennom tetningene, som danner grunnlaget for dimensjoneringen av forsynings- og tilførselssystemet og reguleringen av tilførsel av barrieregass.

Av formelen for Stokes' lov fremgår det at fallhastigheten for en partikkel er tilnærmet uavhengig av trykk og temperatur. Dette fordi gasstettheten, som er en funksjon av trykk og temperatur, er meget liten (typisk i området $40\text{--}100\text{ kg/m}^3$) i forhold til partikkeltettheten (typisk 2500 kg/m^3). Gasstettheten kan derfor neglisjeres i beregningen. Videre varierer den dynamiske viskositet lite i det aktuelle trykkområdet (typisk $50\text{--}100\text{ bar}$) og temperaturområdet (typisk $50\text{--}80^\circ\text{C}$). Dette betyr at massestrømtilførselen av barrieregass over tid (og i takt med fallende brønnstrømstrykk) kan reduseres proporsjonalt med reduksjonen i trykket på kompressorens sugeside, p_s , uten at det øker faren for inntregning av partikler, fordi strømningshastigheten for barrieregass gjennom tetningen da vil opprettholdes konstant.

Oftest vil kompressormodulen være plassert horisontalt, og da har partikler og/eller dråper ingen fallhastighet inn mot tetningen. De antydde (over) barrieregasshastigheter i tetningen vil i slike tilfeller gi en meget stor sikkerhet mot forurensning av motor og tetninger under stasjonære driftsforhold. En slik valgt barrieregasshastighet vil også
 5 forhindre at partikler som måtte bli slynget inn mot tetningene av de roterende løpehjulene og akslingen, fordi bevegelsesenergien raskt blir fjernet fra disse av den motstrømmende barrieregassen og av selve den fysiske hindringen som tetningen danner. Selv under transiente forhold, for eksempel start og stopp av kompressormodulen eller ved nedstegning og oppstart av brønner, vil det være stor sikkerhet mot forurensning.
 10 Selv om det kortvarig skulle trenge gassformige forurensninger inn i motoren under transiente forhold, vil disse bli så uttynnet av den rene barrieregassen i motoren at de ikke vil nå skadelige nivåer. Det samme gjelder oppbygging av partikler.

Også i de tilfeller der kompressormodulen er horisontaltstilt kan man – som for vertikalstilt modul (beskrevet over) – argumentere for at tilførsel av barrieregass kan reduseres
 15 når trykket på kompressorens sugeside faller, fordi gasshastigheten gjennom tetningen vil opprettholdes med mindre tilført massestrøm.

I figur 4 er det vist at tetningen 31, 32 danner et ringrom rundt akselen 8. Dette ringrommet kan typisk ha en lysåpning på omlag 0,3 mm. For å vise størrelsesorden for behovet for barrieregass, er det valgt en barrieregasshastighet på 2,5 m/s og en akseldiameter på 150 mm, et gasstrykk på 100 bar. Man går videre ut fra at barrieregassen er metangass. Beregninger viser da at behovet for tilførsel (med andre ord massestrøm, m) av barrieregass for en tetning vil ligge i området 0,0068 kg/. For en kompressormodul
 20 med to tetninger, der både DE- og NDE-magnetlagre er i en beskyttende og "ren" atmosfære, vil behov for barrieregass være ca. 0,02 kg/s. Et slikt lavt forbruk av barrieregass vil gi en gunstig dimensjonering av forsyningssystemet for barrieregass, inkludert rør i umbilical, selv med flere kompressormoduler i en undervanns kompressorstasjon.

30 For å oppnå beskyttelse av motor og magnetlagre når kompressoren er i drift, baserer oppfinnelsen seg altså på i samspill å utnytte kunnskapen om

- nødvendig barrieregasshastighet, v_g , gjennom tetningen, og
- kjennskap til (måling av) trykket inne i kompressorrommet som vender mot tetningene, p_s (normalt lik kompressorens sugetrykk) og hvordan dette trykket faller over tid.

35

Gitt denne kunnskapen kan det:

- innstilles et visst ønsket overtrykk p_a , i en akkumulator 6 som kan settes inn i forsyningsrøret 9 for barrieregass, eventuelt utgjør volumet i forsyningsrøret en tilstrekkelig akkumulator
- besørge en styrt tilførsel av barrieregass til kompressormodulen (det første og evt. tredje rom) ved hjelp av en struping 71, 71' i tilførselsrøret 7, 7', 7'' mellom
 5 akkumulatoren 6 og innløpet til det første (evt. også tredje) rom som inneholder motoren og/eller magnetlagre.
 - o Strupingen kalibreres og/eller styres slik at den gir en volumstrøm av barrieregass inn i det første (evt. også tredje) rom som minst gir den fast-
 10 slåtte minimums barrieregasshastighet gjennom tetningen.
 - o Strupingen kan alternativt kalibreres og/eller styres slik at den gir en fast massestrøm, dvs. en volumstrøm som øker som funksjon av fallende sugetrykk, p_s , av barrieregass inn i det første (evt. også tredje) rom som
 15 minst gir den fastslåtte minimums barrieregasshastighet gjennom tetningen. En slik regulering er i praksis meget lett og oppnå i et under-
 vannssystem hvor T_a vil være konstant (lik den omgivende sjøvannstemperaturen), ved at p_a holdes konstant over tid uansett størrelsen av p_s . En
 strømningsmåler mellom akkumulatoren med p_a og strupingen kan da
 20 styres på fast signal, for eksempel fast trykkfall gjennom en måleblende. Massestrøm og hastighet gjennom forsyningsrøret 9 vil da være konstant
 over tid.

Fordi barrieregassens hastighet v_g gjennom tetningen er lav, vil også trykkfallet over tetningen være lite. Trykket inne i motor- og lagerrommet (med andre ord det første og
 25 tredje rom) bare vil ha et meget lite overtrykk, Δp , (anslagsvis i området 0,02 til 0,3 bar) i forhold til kompressorens sugetrykk, p_s , og dette faktum er viktig for å velge riktig størrelse for trykket i akkumulatoren, p_a , som for eksempel kan settes 5 til 50 bar eller mer over p_s . Trykkfallet over tetningen blir derfor neglisjerbart i forholdet til trykkfallet over strupingen, og det blir derfor i praksis strupingen alene som bestemmer strømmen
 30 av barrieregass.

Den ovennevnte akkumulatoren 6 behøver nødvendigvis ikke være en egen tank, men kan i visse tilfeller utgjøres av volumet av komprimert gass i røret foran strupingen 71, 71'. I mange tilfeller vil det imidlertid være fordelaktig med en passende dimensjonert
 35 trykktank som akkumulator nær stupingen, som vist i figur 1.

Strupningen 71, 71' kan plasseres i umiddelbar nærhet av tilførselsrørets 7, 7', 7'' innløp til rommet for motor og tetning, eller den kan plasseres mange kilometer unna. For undervannskompressorer kan dette bety at man under vann og like ved kompressormodulen har struping og akkumulatortank, og at barrieregass tilføres gjennom forsyningsrør i umbilical fra plattform eller land og med et trykk ut fra gassforsyningskilden som gir det tilsiktede trykk p_a . For transport over lange avstander er det fordelaktig at strupingen skjer nær kompressormodulen slik at transporten av barrieregass forgår ved høyest mulig trykk for å holde diameteren på forsyningsrøret så liten som mulig. I andre tilfeller, og spesielt når avstanden mellom kompressormodulen og forsyningskilden for barrieregass er liten, kan matingen av ønsket volumstrøm av barrieregass skje med forholdsvis lavt trykk – kun tilstrekkelig for å overvinne friksjonen i røret – direkte fra kilden for barrieregass, f.eks. med en stempelkompressor som er innstilt for å gi ønsket volumstrøm gjennom tetningen uten å ha akkumulator og struping ved kompressormodulen, eller ved tilførsel av ønsket volumstrøm fra land eller plattform ved at akkumulatortank og massestrømsregulering plassert der. Ulempen med dette vil være at diametrene på tilførselsrøret p.g.a. lavt gasstrykk, dvs. ekspandert gassvolum, må bli forholdsvis stor, og dermed være kostnadsdrivende for umbilicalen.

Strupningen 71; 71' er vist i sin mest prinsipielle form i figur 5, der et reservoartrykk (p_a) reguleres på en av flere måter som vil bli beskrevet i det etterfølgende, til det ønskede trykket i det første rom (10), nemlig $p_s + \Delta p$.

Figur 3 viser en variant av strupningen 71; 71', der en struper (ventil) 79 reguleres på grunnlag strømningsmåling. Figur 2 viser en ytterligere variant av strupningen 71; 71' som innbefatter et flertall strupere 79' i parallell.

Over har reguleringen av barrieregasstrøm blitt beskrevet som en innsatt passende struping 71, 71' i tilførselsrøret 7, 7', 7'' inn til rommet eller rommene for motor og magnetlagre, og denne strupningen struper mellom på den ene side et kjent trykk, p_s (bestemt av reservoartrykket til en hver tid og trykkfallet frem til innløpet til kompressoren), og på den annen side et ønsket innstilt trykk, p_a , foran strupingen.

Tilførsel av barrieregass til de "rene" rommene kan i praksis reguleres på flere måter:

- Konstant p_a , konstant struping
Lar p_a stå fast, og kalibrerer og innjusterer en fast struping som gir minimum tilstrekkelig tilførsel av barrieregass ved begynnende kompresjon (dvs. oppstart, i brønnens tidlige fase), og som gir økende forbruk etter hver som reservoartrykket

(og derved også p_s) faller.

Volumstrømmen av barrieregass, og derved massestrømmen, øker med kvadratroten av differensen $p_a - p_s$. Denne meget enkle reguleringen har som ulempe at tilførsels-systemet for barrieregass inkludert diameteren av tilførselsrøret må da være dimen-
 5 sjonert for et slikt økende forbruk. Hvis f. eks. p_s faller fra 100 bar ved begynnende kompresjon til 60 bar ved avsluttende kompresjon, og p_a holdes fast på 130 bar, må tilførselssystemet overdimensjoneres med ca. 50 %. Men dette kan i noen tilfeller kan være en akseptabel løsning for å oppnå enkel teknisk utførelse og drift

10 • Justere p_a i takt med fallende p_s

Justerer ned p_a etterhvert som p_s faller, og redusere forsyningstrykket fra forsynings-
 kilden fra land/plattform tilsvarende, slik at tilførselen av barrieregass til kompres-
 sormodulen til en hver tid gir tilnærmet fast barrieregasshastighet gjennom tetning-
 en. Som vist foran kan tilført massestrøm av barrieregass reduseres over tid med fal-
 15 let i p_s slik at hastigheten av barrieregass gjennom testningen vil opprettholdes fast, og dermed evnen til å stenge forurensninger ute. Når p_a reduseres, og dermed trykk-
 nivået i umbilical-røret reduseres, vil volumet av gassen som skal transporteres
 hvis massestrømmen holdes konstant, øke tilnærmet omvendt proporsjonalt med re-
 duksjonen av p_a , og friksjonen i røret øker med kvadratet av økningen i gassvolum,
 20 altså en firedobling av trykkfallet fra forsyningskilden for barrieregass gjennom
 umbilicalen frem til kompressormodulen. Ved at tilførselen av massestrømmen av
 barrieregass også kan reduseres tilsvarende og fremdeles opprettholde foreskrevet
 hastighet gjennom tetningen, vil trykkfallet gjennom forsyningsrøret holdes aksep-
 tabelt over tid. En metode bygd på å opprettholde foreskrevet hastighet gjennom tet-
 25 ningen ved å justere ned over tid : (p_a) = funksjon (p_s) med fast struping mellom de
 to trykknivåene er derfor gunstig fordi en slik regulering er meget enkel ettersom
 trykket p_s faller langsomt over tid. Som tidligere nevnt vil tilførselen av barrieregass
 bli innstilt med en stor sikkerhetsfaktor innstrømming mot inntregning av forurens-
 ninger. Kortvarige transienter i temperatur og trykk vil, som tidligere påpekt, ikke
 30 føre til skadelig inntregning selv om (p_a) justeres ned.

• Fast p_a , regulerbar struping via ventil

○ p_a settes fast, og strupingen 71, 71' er regulerbar, f.eks. i form av en eller fle-
 re ventiler som kan opereres manuelt (f.eks. av en person eller med en fjern-
 35 styrt farkost (ROV)) slik at strupingen med visse mellomrom økes etter hvert
 som p_s faller. Justeringen av strupingen kan f.eks. være ved måling av trykk-

fallet over strupingen.

Alternativt:

- p_a settes fast, og strupingen 71, 71' er regulerbar, f.eks. i form av en hydraulisk operert ventil som kan styres manuelt fra kontrollrom slik at strupingen med visse mellomrom økes etter hvert som p_s faller. Justeringen av strupingen kan f.eks. være ved måling av trykkfallet over strupingen.

- Fast p_a , struping basert på målt trykkfall

p_a settes fast, og det settes inn en strømningsreguleringsventil som justerer gjennomstrømningen ut fra målt trykkfall over en restriksjon oppstrøms ventilen. Dette gir konstant massestrøm fordi trykk (p_a) og temperatur (for undervannskompressor: sjøvannstemperatur) oppstrøms ventilen er tilnærmet faste verdier. Hastigheten gjennom tetningen for barrieregassen vil pga. gassekspansjonen øke etter hvert som p_s synker. Dette er bare en fordel når det gjelder sikkerhet mot at forurensninger kan trenge inn gjennom tetningen, samtidig som det ikke representerer en ulempe for dimensjoneringen tilførselssystemet som må dimensjoneres for begynnende kompresjonstilstand når masseforbruket av barrieregass vil være størst for å oppnå nødvendig minimumshastighet gjennom tetningen.

- Fast p_a , struping basert på målt trykkfall, og trykk og temperatur i motorrom

p_a settes fast og det settes inn en strømningsreguleringsventil som justerer gjennomstrømningen ut fra målt trykkfall over en restriksjon oppstrøms ventilen og måling av trykket og temperaturen i motorrom og magnetlagerrom slik at ventilen gir fast volumstrøm, og derved fast ønsket innstilt barrieregasshastighet gjennom tetningen. Dette er en mulig, men unødvendig komplisert regulering.

Når kompressoren 2 er stoppet og ikke i drift, vil den bli isolert fra innløp 4 og utløp 5 med respektive avstengningsventiler 41, 51. I en slik tilstand vil innstrømningen av barrieregass stoppe opp når det i hele kompressormodulen 3 (dvs, første, andre og tredje rom) har bygd seg opp til et trykk lik akkumulatortrykket, p_a . Det er viktig at trykket inne i kompressormodulen 3 ved stillstand er større enn trykket i inn- og utløpsrøret foran ventilene slik at det ved eventuell lekkasje i ventilene 41, 51 vil strømme barrieregass ut fra kompressormodulen, og ikke væske og forurenset gass inn i modulen. Der-
som p_a ved drift av kompressoren er satt høyere enn det høyeste trykk som kan oppstå i inn- eller utløpsledningen under stillstand, vil beskyttelse mot innstrømming under nedstengning automatisk bli oppnådd. Dette høyeste trykket som kan bygge seg opp, vil normalt være "Wellhead Shut-in Pressure" (WHSP). Hvis p_a under drift er satt lavere

enn trykket som bygger seg opp på utsiden av ventilene, kan man justere opp p_a etter behov, f.eks. 1 til 5 bar over trykket i inn-/utløpsrøret ved innmating av gass fra forsyningsskilden (på land eller plattform).

5 Figur 6 viser en mekanisk reguleringsanordning for barrieregass som gir konstant massestrøm når trykk og temperatur oppstrøms regulatoren er konstant. Reguleringsanordningen innbefatter et ventilhus 101 med et innløp 102 som er fluidforbundet med et hulrom i ventilhuset der et stempel 103 er anbragt. Som vist i figuren er det en fast åpning 104 i stempelet, eller mellom stempelet og den innvendige ventilhusveggen, i gjennom
10 hvilken åpning gass kan strømme. Stempelet 103 er forbundet med en fjær 105 som igjen er anbragt i en føring 109 i ventilhuset. Stempelet er også tilknyttet et første rør 111 som er anbragt koaksialt og delvis omslutter et andre rør 107. Det første røret 111 er anbragt i en egnet føring 108 og kan (sammen med stempelet 103) gli frem og tilbake over det andre røret 107.

15 Det andre røret 107 er fluidforbundet med en åpning 110 i ventilhuset og en del av det andre røret 107 som befinner seg på stempelets 103 nedstrømsside er forsynt med en eller flere åpninger 106 som således skaper fluidforbindelse mellom nevnte hulrom og nevnte åpning 110. Åpningen 110 er ved bruk i forbindelse med reguleringsanordningen
20 beskrevet over, et utløp for barrieregass inn til motorrom og rom for magnetlagre

Ved bruk som en reguleringsanordning for barrieregass, vil en barrieregass med trykk p_a og konstant temperatur (temperatur for omgivende sjøvann) føres inn i innløpet 102 og inn i ventilhusets ovennevnte hulrom. Når gass strømmer gjennom stempelåpningen 104
25 vil det oppstå et trykkfall. Dette trykkfallet vil gi en kraft som vil skyve stempelet 103 og det første røret 111 i gasstrømmens retning (mot høyre på figur 6). Fjæren 105 vil gi en motkraft som vil skyve stemplet i motsatt retning (mot venstre i figur 6). Fjæren 105 kan justeres slik at trykkfallet gjennom stempelåpningen 104 blir fast. Når trykket 110 faller, vil det føre til at strømmingen gjennom stempelåpningen 104 vil tendere til å øke,
30 noe som vil skyve stemplet mot høyre. Da vil imidlertid det første røret 111 (som følger stempelet 103) dekke til en større del av åpningen 106 i det andre røret 107, noe som øker trykkfallet gjennom åpningen 106 og holder trykkfallet gjennom åpningen 104 fast. Omvendt vil stemplet skyve til venstre hvis utløpstrykket 110 skulle øke slik at trykkfallet og derved gjennomstrømmingen gjennom 104 forblir fast.

35 Hvis strømmingen fra utløpet 110 stenges, for eksempel ved stopp og avstengning av kompressormodulen, vil stempelet 103 skyves helt over til venstre, noe som fører til at

åpningen 106 i det andre røret 107 åpnes helt. Dette vil føre til at trykket i hele systemet, inkludert kompressormodulen, vil innstille seg på p_a .

P a t e n t k r a v

1.

Anordning for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul som innbefatter et trykklhus (3) som omfatter en elektrisk motor (1) og en kompressor (2) som via
 5 en aksel (8) er drivbart forbundet, idet akselen (8) er understøttet av magnetlagre (11, 21), idet kompressoren (2) er anbrakt i et andre rom (20) som innbefatter et innløp (4) og et utløp (5) for fluid som skal komprimeres og der det andre rommet (20) er avgrenset av minst én aksialtetning (31; 32) om akselen (8), k a r a k t e r i -
 10 s e r t v e d
 minst én ledning (7; 7'; 7'') for tilførsel av barrieregass fra et reservoar (6), fluidforbundet med minst ett rom (10, 30) i trykkluset utenfor det andre rommet (20), og ved minst én strupning (71; 71'; 79; 79') i nevnte ledninger mellom reservoaret (6) og nevnte minste ene rom (10, 30).

15

2.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at motoren (1) er anbrakt i et første rom (10), avgrenset mot den andre rommet (20) ved hjelp av en første aksialtetning (31).

20

3.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at et tredje rom (30) er avgrenset mot det andre rommet (20) ved hjelp av en andre aksialtetning (32).

25

4.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at barrieregassen innbefatter en hvilken som helst gass eller gassblanding som er tørr, tilnærmet fri for partikler, og som er inert med hensyn til materialene i motor og magnetlagre.

30

5.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at barrieregassen innbefatter hydrogen.

6.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at reservoaret (6) innbefatter en forsyningsledning (9) tilnyttet en annen gasskilde.

5 7.

Anordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at et flertall strupere (79') er anordnet i parallell.

8.

10 Fremgangsmåte for regulering av tilførsel av barrieregass til en kompressormodul som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d på grunnlag av nødvendig barrieregasshastighet (v_g) gjennom den minst ene aksialtetningen (31; 32) og trykket (p_s) i det andre rommet (20), innstille et overtrykk (p_a) i reservoaret (6), og bevirke en styrt tilførsel av barrieregass til det minste ene rom (10, 30)
15 ved hjelp av strupningen (71; 71') i tilførselsrøret (7; 7'; 7'').

9.

Fremgangsmåte ifølge krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at struperen (71; 71') styres slik at den gir en volumstrøm av barrieregass inn i det minste
20 ene rom (10, 30), som minst gir den nevnte nødvendige barrieregasshastighet (v_g) gjennom tetningen.

10.

Fremgangsmåte ifølge krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at struperen (71; 71') styres slik at den gir en fast massestrøm av barrieregass inn det
25 minste ene rom (10, 30), som minst gir den nevnte nødvendige barrieregasshastighet (v_g) gjennom tetningen.

11.

30 Fremgangsmåte ifølge kravene 8 og 10, k a r a k t e r i s e r t v e d at overtrykket (p_a) i reservoaret (6) holdes konstant, og at strupningen reguleres på grunnlag av trykkfall over en måleblende.

12.

35 Fremgangsmåte ifølge krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at strupningen holdes konstant og at overtrykket (p_a) i reservoaret (6) justeres som en reaksjon av endring i trykket (p_s) i det andre rom (20).

13.

Fremgangsmåte ifølge krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at overtrykket (p_a) i reservoaret (6) holdes konstant og strupningen reguleres på grunnlag av målt trykkfall over strupningen (71; 71').

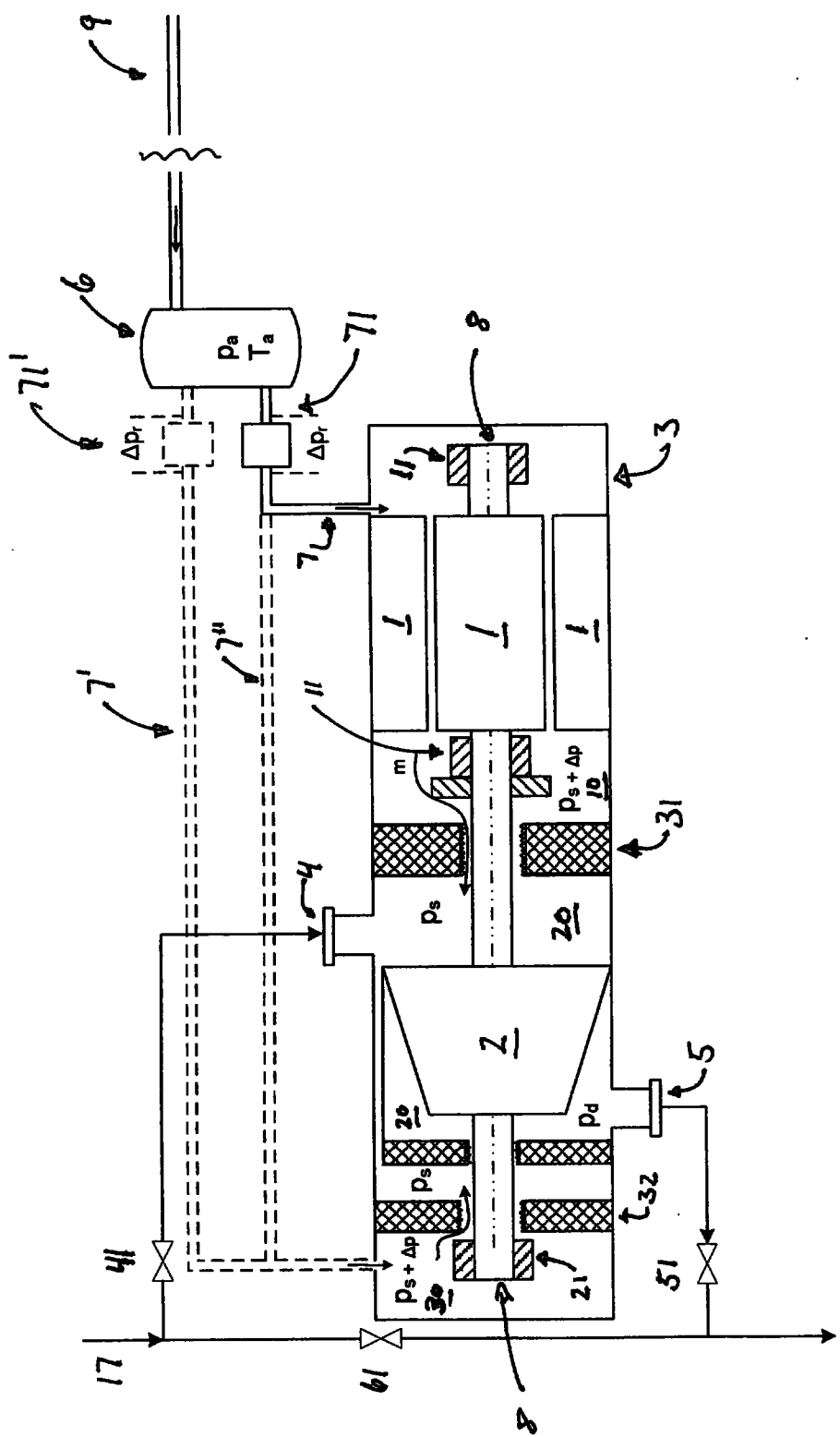


Fig. 1

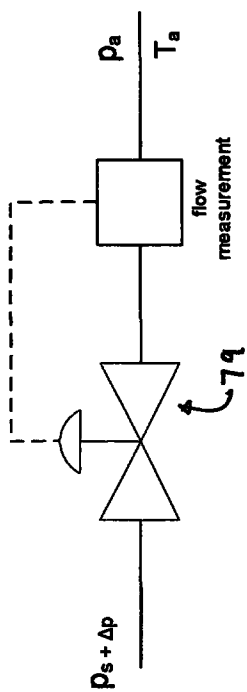


Fig. 3

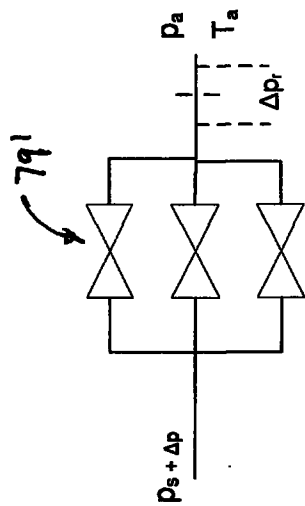


Fig. 2

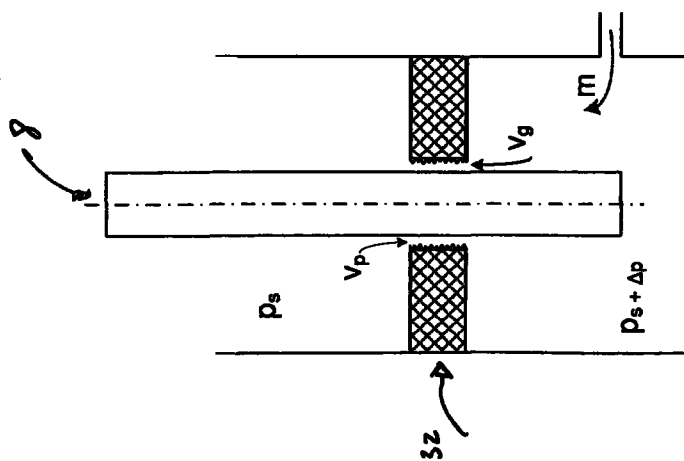


Fig. 4



Fig. 5

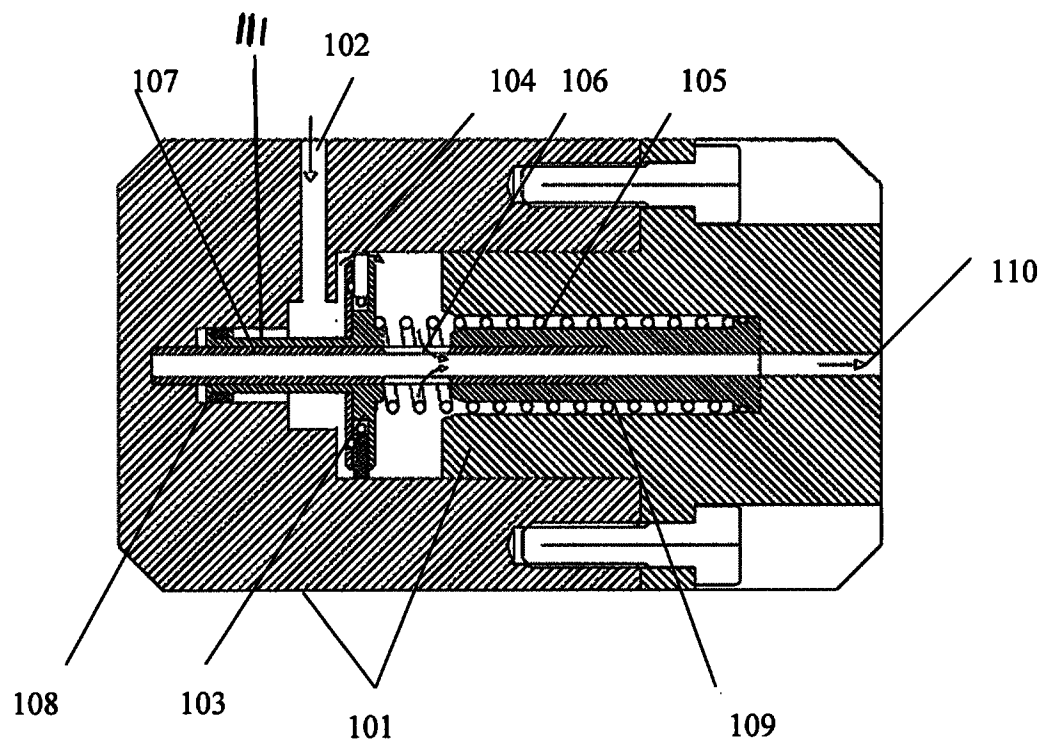


Fig. 6