



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **335643**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

F24J 3/06 (2006.01)

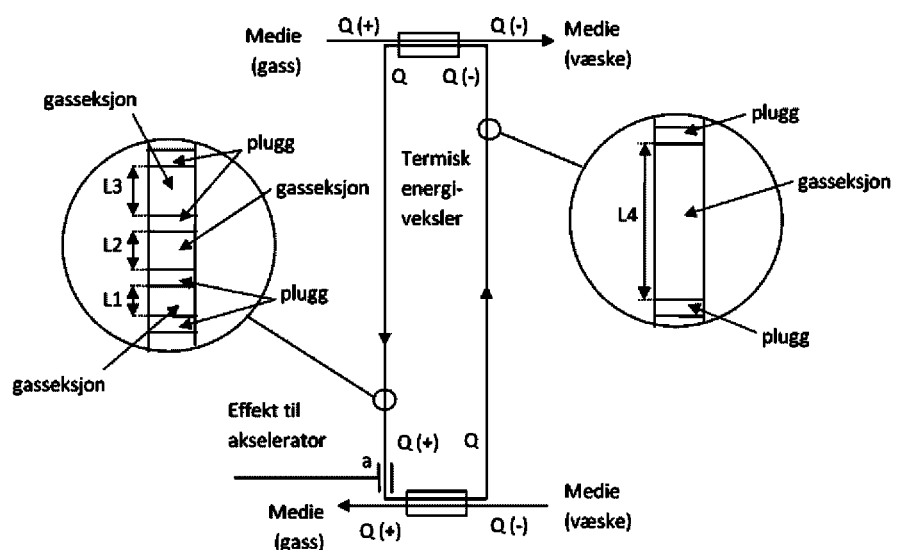
F24J 3/08 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20130413	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2013.03.21	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2013.03.21	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2014.09.22		
(45)	Meddelt	2015.01.12		
(73)	Innehaver	GMX-Group DA, Sollia 41, 5209 OS, Norge		
(72)	Oppfinner	Geir Tysseland, Sollia 41, 5209 OS, Norge		
(74)	Fullmektig	Acapo AS, Postboks 1880 Nordnes, 5817 BERGEN, Norge		

(54)	Benevnelse	Termisk energiveksler omfattende ett eller flere medier som sirkulerer i en lukket sløyfe hvor nivåforskjellen mellom topp og bunn av sløyfen er på minimum 400 meter, samt anvendelse derav i et energisystem for kraftproduksjon eller energilagring
(56)	Anførte publikasjoner	US 3945218 A, WO 9641079 A1, US 5996643 A, EP 0018719 A1, KR 20130043331 A
(57)	Sammendrag	

Foreliggende oppfinnelse vedrører en termisk energiveksler som består av en lukket sløyfe med en nivåforskjell mellom topp og bunn på mer enn 400 meter og der innholdet i sløyfen sirkulerer ved hjelp av tilført energi. Ved sirkulasjon vil gass som sendes nedover i sløyfen bli komprimert som følge av et økende trykk i sløyfen med økende dybde. Siden gass har liten egenvekt kan den største delen av trykkøkningen være fra stempelanordninger som seksjonerer innholdet i sløyfen og som med sin egenvekt og tilhørende masse bidrar til en trykkøkning i underliggende gasseksjoner. Kompresjon av gasser vil føre til varmeutvikling og en temperaturutvikling i gasseksjonene. For å begrense temperaturutviklingen vil væskepartikler være en del av gasseksjonen for å ta opp varme. Mengden væskepartikler vil ha innvirkning på temperaturutviklingen og ved å regulere hvor mye væskepartikler som i spray eller dråpeform tar opp varme, kan temperaturutviklingen reguleres til ønsket nivå. Stempelanordningene som fungerer som plugger som sirkulerer i sløyfen kan samle oppvarmet væske og overføre varme til sløyfens rørvegger når det er ønskelig med varmeveksling fra den termiske energiveksleren til det tilhørende energisystemet. På samme måte vil gass som forflytter seg oppover i sløyfen ekspandere og utvikle kulde som følge av redusert trykk. Væskepartikler vil da bli tilført for å ta opp kulde og redusere den negative temperaturutviklingen for deretter bli overført til rørveggene ved termisk energiveksling til eksternt medium utenfor sløyfen. Foreliggende oppfinnelse vedrører også et system bestående av en termisk energiveksler og en energisløyfe som direkte eller indirekte mottar termisk energi og konverterer denne til kraftproduksjon og som i tillegg har en nivåforskjell mellom topp og bunn i sløyfen på minst 800 meter. En varmesløyfe kan oppta varme fra den termiske energiveksleren, eller fra et system som er tilknyttet denne, og overføre den til nedre del av energisløyfen. I tillegg kan en kulesløyfe ta opp kulde og veksle termisk energi i energisløyfens øvre del. Termisk energi som tilføres et medium i energisløyfen kan endre tettheten til mediet slik at mediet har lav tetthet ved forflytning oppover og høyere tetthet ved forflytning nedover i energisløyfen. Forskjellen i tetthet vil dermed gi en trykkforskjell i energisløyfen som kan utnyttes til kraftproduksjon. I tillegg vil en marin konstruksjon bestående av en væskefylt varmesløyfe i nedre del og en termisk energiveksler i øvre del kunne gi en stabil konstruksjon med oppdrift øverst og ballast nederst.



Foreliggende oppfinnelse vedrører en termisk energiveksler omfattende ett eller flere medier som sirkulerer i en lukket sløyfe, hvor nivåforskjellen mellom topp og bunn av sløyfen er på minimum 400 meter. En slik termisk energiveksler kan brukes ved kraftproduksjon eller til å gi en energiøkning i et energisystem.

5

I tillegg vedrører oppfinnelsen også anvendelse av den termiske energiveksleren i et energisystem for kraftproduksjon eller energilagring.

Foreliggende oppfinnelser gir en termisk energiveksler som kan benyttes i et energisystem for fornybar kraftproduksjon med muligheter for energilagring samt at det også kan benyttes til andre formål der det er behov for termisk energi.

10

Det særegne med den termiske energiveksleren er at den består av en lukket sløyfe med stor høydeforskjell mellom topp og bunn av sløyfen samt at den eventuelt kan regulere varmeutviklingen ved gasskompresjon med tilførsel av væske i spray eller dråpeform og dermed oppnå en kompresjon som er nær opptil en isotermisk kompresjon samt en dekompresjon som er nær opptil en isotermisk dekompresjon.

15

Et annet særegent trekk er at den kan kombineres med andre fornybare energikilder og inngå i et system som kan levere mye energi på et lite areal. Ved å utnytte eksempelvis termisk energi fra kaldt vann på store dybder med varmere overflatevann, kan den termiske energimengden i systemet økes for å gi bedre effekt. I tillegg kan annen fornybar energi lagres som termisk energi og benyttes som en stabil og regulerbar kraft inn på kraftnettet.

20

25

Kjent teknikk

Skal fornybar energi kunne erstatte konvensjonell energi må den kunne leveres i store mengder og være kostnadseffektiv. Med økt fokus på klima og miljø er det nå en økende interesse for fornybar energi, spesielt innen havenergi der det etter hvert er mange selskaper som har utviklet og patentert egne løsninger. Foreløpig er det få anlegg som er i drift.

30

Eksisterende løsninger innen havenergi er hovedsakelig basert på offshore vindmøller og bølgekraftverk. Offshore vindmøller er kommet lengst i utviklingen og har flest planlagte utbygginger. Innen bølgekraftverk er det mange løsninger, men ikke

35

så mange som er utbygd. En annen energi er tidevannstrømmer og havstrømmer. Dette er foreløpig en lite benyttet energikilde, men det eksisterer noen anlegg som er i drift.

- 5 OTEC (Ocean Thermal Energy Converter) er en teknologi som er kjent, men som har få eller ingen anlegg i drift. Metoden er basert på termisk energi og utnytter temperaturforskjellen mellom varmere overflatevann og kaldere vann på dypere nivåer og er egnet på steder der temperaturforskjellen jevnt over utgjør så mye som 20 grader Celsius.
- 10 OTEC fungerer ved å overføre varme fra overflatevannet via en varmeveksler til et medium som med tilført varme endrer tilstand fra væske til gass. Den ekspanderende gassen benyttes til å drive en gassturbin før den ledes igjennom en kondensator for å endre tilstand tilbake til væske. Dette skjer med tilførsel av kulde
- 15 via en kuldeveksler tilknyttet det kalde vannet. En pumpe sørger for å sirkulere mediet gjennom varme og kuldevekslerne. I tillegg vil det være pumper som sørger for tilførsel og sirkulasjon av det kalde og det varme vannet. Det kalde vannet hentes opp fra dybder på 500 meter eller mer. Utfordringen for et OTEC anlegg er knyttet til
- 20 kostnader til varme og kuldevekslerne. For å begrense omfanget av vekslerne blir kun ca 20 % av den termiske energien til det kalde og det varme vannet utnyttet. For dagens OTEC anlegg vil en varmeveksler til et 1 MW system kunne være på størrelse med en 20 fots konteiner. For et anlegg på 200 MW vil vekslerne utgjøre både et stort volum og en stor kostnad.
- 25 Et OTEC anlegg har potensial til å levere effekt i størrelsesorden gigawatt og har også den fordel at de kan levere kontinuerlig energi. I tillegg til elektrisk kraftproduksjon kan et OTEC anlegg også kombineres med andre teknologier der en kan benyttes seg av det kalde og næringsrike vannet som hentes opp til overflaten.
- 30 Et OTEC anlegg er i dag ikke konkurransedyktig i forhold til andre fornybare energikilder på grunn av for høye kostnader. En termisk energiveksler kombinert med eksempelvis en OTEC løsning kan være en løsning som er konkurransedyktig på pris og som i tillegg gir et anlegg som kan gi tilnærmet kontinuerlig energiproduksjon. Med økt energimengde og høyere temperaturforskjeller kan varme og kulde-
- 35 vekslingen bli mer effektiv. I tillegg kan et system som er basert på en termisk energiveksler med stor høydeforskjell mellom topp og bunn, kunne utnytte fallkraften i stedet for ekspansjonskraften til energiproduksjon. Et anlegg med stor fallhøyde vil

gi bedre effekt sammenlignet med et OTEC anlegg basert på ekspansjonskraften. En annen forbedring er at systemet kan benytte rør i rør varmeveksling ved sirkulasjon av mediene.

- 5 Den termiske energiveksleren har mange bruksmuligheter og kan også kombineres med andre fornybare energikilder for effektiv konvertering av termisk energi til elektrisk energi. I tillegg kan den termiske energiveksleren også benyttes til andre formål enn kun energiproduksjon. En mulighet er å kunne gi en bedre tilpasning mellom forbruk og energiproduksjon over eksempelvis et døgn ved å lagre energi
- 10 som termisk energi og tilbakeføre den termiske energien til energisystemet når det er behov for kraftproduksjon.

Fra eksisterende patenter som omhandler kraftproduksjon med termisk energi er det funnet flere innen OTEC- ref. WO2013/013231A2, WO2013/025797A2,

15 WO2013/025807A2, WO2013/031903A1. US3945218A beskriver et energisystem for kraftproduksjon eller for energiøkning i systemet, hvor det for eksempel mellom en fjelltopp og en dalbunn med stor temperaturforskjell er tilveiebrakt en lukket sløyfe med et medium, for eksempel R-12. En varmeveksler 26 i dalbunnen kan være tilknyttet en geotermisk kilde. Varmeveksling med

20 omgivelsesluft foregår i toppen og i bunnen av sløyfen. Det er beskrevet en høydeforskjell mellom topp og bunn på 11326 fot (tilsvarende ca. 3400 meter), en temperaturforskjell på 40 Fahrenheit, og en trykkforskjell i mediet på 6292 Psi grunnet høydeforskjellen. Trykkforskjellen benyttes til styring og

25

Formål ved oppfinnelsen

Med foreliggende oppfinnelse tar en sikte på å frembringe en ny type termisk

30 energiveksler som kan inngå i et energisystem med det formål at det skal kunne gi en jevn og stabil kraftforsyning med fornybar og miljøvennlig energi. Energisystemet skal også ha høy effekt per areal og kunne levere effekt av betydning samt kunne bygges ut uten å skjemme eller skade miljøet rundt.

35

Kort beskrivelse av oppfinnelsen

Den termiske energiveksleren i henhold til den foreliggende oppfinnelsen er derved kjennetegnet ved at når innholdet i sløyfen sirkulerer genereres varme når innholdet forflyttes nedover samt kulde når innholdet forflyttes oppover, hvor nevnte varme og kulde overføres til ett eller flere adskilte medier hvor den adskilte termiske energimengden indirekte eller direkte benyttes til kraftproduksjon eller til en energijøkning i et energisystem.

Ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er trykkforskjellen mellom topp og bunn i sløyfen på minimum 10 bar, fortrinnsvis på 15 bar eller mer.

I følge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen opptar væskepartikler varme ved kompresjon og kulde ved dekompresjon, og derved begrenser temperaturutviklingen i systemet ved sirkulasjon av innholdet.

I følge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen omfatter sløyfen i tillegg til det interne mediet i sløyfen stempelanordninger som sirkulerer i sløyfen og seksjonerer mediet i sløyfen i mindre volumer. Fortrinnsvis fungerer stempelanordningene som pluggers som med sin egenvekt og tilhørende masse utgjør et trykk på underliggende seksjoner, hvor trykket i hver seksjon hovedsakelig er en funksjon av antall overliggende pluggers. Innholdet i sløyfen blir derved seksjonert i mindre volumer av stempelanordninger som fungerer som pluggers der egenvekt og tilhørende masse bidrar til å gi et økt trykk på underliggende seksjoner. I følge en mer foretrukket utførelse av oppfinnelsen samler og fordeler pluggene væskepartikler til hver seksjon. I følge en annen mer foretrukket utførelse av oppfinnelsen vil væskepartiklene fordeles i spray eller dråpeform. Således vil væskepartikler i spray eller dråpeform begrense temperaturutviklingen ved kompresjon og dekompresjon av seksjonene når innholdet i sløyfen sirkulerer. Ifølge en foretrukket utførelse er sløyfen utstyrt med en anordning for å kunne skifte ut pluggers ved behov.

Ifølge en foretrukket utførelse av den foreliggende oppfinnelsen kan termisk energi fra andre energikilder tilføres for å bidra til å øke den totale termiske energimengden som overføres til det adskilte mediet.

Anvendelse av den termiske energiveksleren i henhold til den foreliggende oppfinnelsen er derved kjennetegnet ved at den termiske energiveksleren leverer termisk energi direkte eller indirekte til en energisløyfe 4 som har en nivåforskjell

mellom topp og bunn på over 800 meter, hvor en eller flere kraftkonverterere for kraftproduksjon er direkte eller indirekte tilknyttet energisløyfen.

5 Ifølge en foretrukket utførelse omfatter energisystemet en varmesløyfe som overfører varme fra den termiske energiveksleren til energisløyfen og der varmesløyfens nedre del stikker minimum 400 meter ned under den termiske energivekslerens lukkede sløyfe.

10 Ifølge enda en foretrukket utførelse er konstruksjonen slik at varmesløyfens nedre del gir konstruksjonen en negativ oppdrift ved plassering i et marint miljø og vil sammen med den termiske energivekslerens positive oppdrift i øvre del gi konstruksjonen en fordelaktig stabilitet med lavt tyngdepunkt og høyt oppdriftspunkt.

15 Ifølge enda en foretrukket utførelse kan konstruksjonen også inneholde et tårn som forlenger nivåforskjellen mellom topp og bunn i energisløyfen og der en kuldesløyfe overfører kulde fra den termiske energiveksleren til energisløyfen.

20 Ifølge enda en foretrukket utførelse produserer den termiske energiveksleren termisk energi ved sirkulasjon av innholdet, hvor varme genereres ved økende trykk ved økende dybde og kulde genereres ved minskende trykk ved minkende dybde. Termisk energi kan også tilføres fra andre energikilder og bidra til å øke den totale energimengden i energisystemet.

25 Ifølge enda en foretrukket utførelse vil væskepartikler i spray eller dråpeform bidra til å redusere temperaturutviklingen ved trykkvariasjoner internt i den termiske energiveksleren.

30 Oppfinnelsene skal forklares mer detaljert under henvisning til de etterfølgende figurer, hvor;

Figur 1 viser en termisk energiveksler 3 med plugger 2

Figur 2 viser temp. reduksjon og trykkøkning av CO₂ i superkritisk fase

Figur 3 viser trykkreduksjon og temp. økning av CO₂ i superkritisk fase

35 Figur 4 viser et energisystem som kombinerer en OTEC-løsning med en termisk energiveksler 3

Figur 5 viser et energisystem som kombinerer en termisk energiveksler 3 med andre energikilder

Figur 6 viser et energisystem som inkluderer varme- 8 og kuldesløyfer 9

Figur 7 viser en flytende konstruksjon med termisk energiveksler samt varme- 8 og kuldesløyfer 9

Figur 8 viser en bunnfast konstruksjon med termiske energivekslere samt varme- 8
5 og kuldesløyfer 9

Detaljert beskrivelse

10 Den termiske energiveksleren består av en lukket sløyfe med stor høydeforskjell mellom topp og bunn og som produserer termisk energi når innholdet i sløyfen sirkulerer ved hjelp av tilført energi. Den termiske energien blir generert av kompresjon og dekompresjon av en eller flere gasser, eventuelt et fluid i en gasslignende form (superkritisk fase e.lign.). Når innholdet i sløyfen sirkulerer vil
15 gassen bli komprimert når den forflyttes nedover som en følge av at trykket i sløyfen øker med økende dybde. For å oppnå en komprimering som er nær opptil en isotermisk kompresjon vil væskepartikler i spray eller dråpeform ta opp termisk energi og bidra til å holde temperaturen nede. Ved å regulere mengden av væskepartikler vil også temperaturen kunne tilpasses til ønsket nivå. Varme-
20 mengden som utvikles som en følge av komprimeringen vil kunne overføres til et medium utenfor sløyfen - eksempelvis med rør i rør varmeveksling. På samme måte vil den termiske energiveksleren generere kulde når gassen forflyttes oppover og trykket reduseres med stigende høyde. Væskepartiklene vil da ta opp kulde, redusere den negative temperaturutviklingen i gassen slik at dekompresjonen blir
25 nær opptil en isotermisk dekompresjon, samt hjelpe til med å overføre den termiske energien til et eksternt medium utenfor sløyfen.

Trykkoppbygningen i hver seksjon i sløyfen vil bli generert av egenvekten i sløyfens innhold. Siden egenvekten til gasser er svært lav vil trykkoppbygningen hovedsakelig
30 skje via egenvekten til stempelanordningene som seksjonerer innholdet i sløyfen samt fra væsker og annen masse som er tilknyttet stempelanordningene. Stempelanordningene med tilhørende masse vil fungere som plugger som sirkulerer i sløyfen og der trykket i hver seksjon vil være en funksjon av antall plugger som utøver et trykk på underliggende seksjoner. Trykket vil dermed være lavest øverst i
35 sløyfen og øke etter hvert som seksjonen forflyttes nedover til bunn av sløyfen der trykket er høyest. Når gasseksjonen har passert bunnen og beveger seg oppover i sløyfen vil trykket avta etter hvert som antall overliggende plugger minker.

- Temperaturutviklingen i hver seksjon vil være en funksjon av gasskompresjon/ dekompresjon, termisk energiveksling med omgivelsene samt mengde væskepartikler som opptar termisk energi. Ved å regulere mengden væskepartikler i
- 5 hver seksjon i henhold til termisk energiutvikling og til termisk energiveksling med omgivelsene, vil temperaturen i hver seksjon kunne styres. Reguleringen av mengde væskepartikler kan foregå ved at væskepartikler som har tatt opp termisk energi og overført denne til sløyfens rørvegger for termisk energiveksling, blir samlet opp i en beholder i tilknytning til pluggen. Væskepartiklene vil da være i væskeform og kan
- 10 pumpes tilbake i gasseksjonen som væskepartikler for en ny syklus med termisk energihenting og termisk energiveksling. Ved å regulere hvor mye væske som i spray eller dråpeform tilføres gasseksjonen, kan også temperaturutviklingen i hver seksjon styres.
- 15 Temperaturvariasjonene i sløyfen vil påvirke volumet for hver seksjon etter hvert som seksjonen forflyttes rundt i sløyfen. Ved forflytning nedover vil temperaturen øke til et maksimumsnivå, men bli redusert tilbake til utgangstemperaturen etter termisk energiveksling i nedre del. Ved forflytning oppover vil temperaturen synke til et minimumsnivå, før den går tilbake til utgangstemperaturen etter termisk
- 20 energiveksling i øvre del. Siden en gass utvider seg ved temperaturøkning vil en gasseksjon under nedstigning ha et større volum enn under oppstigningen der temperaturen er lavere. Denne volumforskjellen vil føre til at antall pluggen kan være høyere på oppstigningssiden enn på nedstigningssiden og dermed gi et høyere trykk som må overvinnes for å få innholdet til å sirkulere. Ved tilnærmet isotermisk
- 25 kompresjon og dekompresjon vil temperaturutviklingen være begrenset og dermed også gi en begrenset trykkforskjell mellom nedstignings siden og oppstignings siden.
- Den termiske energiveksleren vil være tilknyttet en pumpeanordning eller en akseleratoranordning som kan drive sirkulasjonen av innholdet i sløyfen. I tillegg til å
- 30 overvinne trykkforskjeller som følge av temperaturvariasjoner må også pumpe-/ akseleratoranordningen overvinne friksjon i systemet både fra pluggene og fra gasseksjonene. Med kompresjon og dekompresjon av gasseksjonene vil farten til pluggene variere i løpet av en syklus i sløyfen. I nedre del vil farten være lav siden gasseksjonene er komprimerte. Under oppstigningen vil gasseksjonene ekspandere
- 35 og farten til pluggene vil øke og nå en maksfart i toppen av sløyfen. Forholdet mellom farten i bunn og farten i toppen vil være en funksjon av komprimeringsgraden i systemet.

Den termiske energivekslingen til et eksternt medium vil være tilpasset det energisystemet som den termiske energiveksleren er en del av. I noen anlegg vil det kunne være en fordel med en energiveksling som er konsentrert rundt topp og bunn av sløyfen. I andre anlegg vil en termisk energiveksling være å foretrekke på kortere eller lengre deler av opp- og nedstigningen. Den termiske energiveksleren vil kunne tilpasse overføringen av termisk energi til det eksterne mediet ved å ta opp termisk energi i pluggen og regulere når den termiske energien skal overføres til rørveggene. Hvert anlegg vil ha rørvegger med varmeledningsevne som er tilpasset til energisystemet som anlegget er designet for. Det vil derfor være områder der rørveggene vil være utstyrt med termisk isolasjon for å unngå tap av termisk energi samt områder med termisk energiveksling der rørveggene har god varmeledningssevne til det eksterne mediet. For å unngå termisk energitap til omgivelsene vil hele den termiske energiveksleren være varmeisolert for å redusere effekttapet i systemet.

Figur 1 viser en termisk energiveksler bestående av en lukket sløyfe 11 med plugg 2 som sirkulerer. Egenvekten til hver plugg 2 gir økt trykk i underliggende gassseksjoner 1 og avstander mellom hver plugg 2 vil derfor minske med økende dybde. En pumpe i tilknytning til hver plugg 2 fordeler væske i partikkelform ut til tilhørende gasseksjon 1 mens en væskebeholder samler opp væske med økt termisk energi. I topp og bunn av figuren er det vist termisk energiveksling til eksternt medium der varme avgis på nedre nivå og kulde avgis på øvre nivå ved å tilføre væske med termisk energi til rørveggen. Til å drive sirkulasjonen av innholdet i den termiske energiveksleren 3 er det vist en akselerator der spoler med strømledere tilknyttet rørveggen produserer et magnetfelt som trekker på pluggene 2 når de passerer.

Et energisystem kan bestå av en lukket sløyfe 4 som ved hjelp av varmevekslere 5 er tilknyttet en termisk energiveksler 3 og der innholdet i sløyfen 4 består av et medium som ved tilførsel av termisk energi endrer tetthet. Med tilførsel av termisk energi vil oppvarmet medium med redusert tetthet stige opp i den ene delen av sløyfen 4 mens nedkjølt medium med økt tetthet synker ned på motsatt side av sløyfen 4. Forskjellen i tetthet vil gi en sirkulasjon i sløyfen 4 og en trykkforskjell som kan utnyttes til energiproduksjon. Ved å lede mediet gjennom en turbin i nedre del av sløyfen kan energi hentes ut av systemet og omgjøres til elektrisk energi med en generator 7 tilknyttet turbinen.

Mediet i energisløyfen 4 som er tilknyttet den termiske energiveksleren 3 kan være et medium som endrer tilstand ved tilførsel av termisk energi. På samme måte som i et OTEC system kan mediet skifte mellom å være i en væsketilstand og i en gasstilstand. Ved tilførsel av kulde i energisløyfen 4 øvre del vil mediet kunne endre tilstand fra gass til væske før nedstigningen og dermed oppnå et økende trykk med økende dybde i væskesøylen. Etter å ha passert turbin-/ generatoranordningen i nedre del, vil trykket være redusert og mediet kan ledes igjennom varmeveksleren for å endre tilstand fra væske til gassform. Under oppstigningen i gassform vil mediet kunne heves til øvre nivå ved hjelp av svært lite energi mens mediet i væskeform under nedstigningen vil utgjøre en energi som kan hentes ut av systemet. Avstanden mellom øvre del og nedre del vil dermed ha betydning for energimengden som systemet kan levere.

Energimengden som må tilføres for å omgjøre et medium fra væske til gass er forskjellig for hvert medium. Vann er et medium som krever mye energi for å endre tilstand fra væske til damp, mens medier som propan og butan krever mye mindre energi. Tabell 1. viser et utvalg medier med verdier for nødvendig energimengde for å endre tilstand fra væske til gass der propan og butan er de mediene som krever minst energimengde med henholdsvis 356 KJ/Kg og 320 KJ/Kg medium. Selv om propan og butan er oppgitt til å kreve minst energimengde kan det være andre medier som er bedre egnet og som også krever mindre energimengde for å endre tilstand. For å endre mediets tilstand tilbake fra gassform til væske kreves det en like stor energimengde som fra væske til gass. Ved å kombinere en termisk energiveksler med en energisløyfe, får energisløyfen tilført både varme og kulde ved kontinuerlig sirkulasjonen av innholdet i den termiske energiveksleren.

Tabell 1; Nødvendig energimengde for å endre tilstand fra væske til gass

Compound	Heat of vaporization (kJ mol⁻¹)	Heat of vaporization (kJ kg⁻¹)
Ammonia	23.35	1371
Butane	21.0	320
Ethanol	38.6	841
Hydrogen	0.46	451.9
Methane	8.19	760
Methanol	35.3	1104
Propane	15.7	356
Phosphine	14.6	429.4
Water	40.65	2257
Aluminium	294.0	10897

I tillegg til nødvendig energimengde for å endre tilstanden på mediet har også
5 mediets tetthet i væsketilstand en betydning for hvor mye energi som kan hentes. En
væskesøyle bestående av vann med tetthet på 1000 kg/m³, vil gi et statisk trykk som
ligger ca 40 % høyere enn butan og propan som har en tetthet på ca 600 kg/m³. Til
gjengjeld trenger vann en energimengde som er rundt 7 ganger høyere enn butan
for å endre tilstand mellom væske og gass og dermed vil butan være et bedre valg
10 som medium.

Et medium trenger ikke nødvendigvis å skifte tilstand mellom gass og væske. I
stedet kan et medium som eksempelvis CO₂, være i en superkritisk fase ved rett
trykk og temperatur i energisløyfen. I figur 2 er det vist en temperaturreduksjon på
15 rundt 50 gr. Celsius i toppen av energisløyfen der tettheten går fra rundt 200 kg/m³ til
rundt 750 kg/ m³, noe som gir en endring i tettheten på rundt 550 kg/ m³. Når CO₂
mediet sendes nedover i sløyfen øker trykket mens temperaturen ikke øker nevne-
verdig. Etter å ha passert turbinen er trykket redusert til et nivå som er høyt nok til å
holde i gang sirkulasjonen av CO₂ mediet. I varmeveksleren i nedre del økes
20 temperaturen med 50 grader Celsius og mediet kan heves til øvre del med redusert
tetthet. Under oppstigningen synker trykket tilbake til utgangstrykket på rundt 75 bar
som vist i figur 3.

- Ved ikke å endre tilstand vil all tilført energimengde gå til å heve temperaturen i mediet. De ulike mediene vil ha ulike varmekapasiteter og energimengden som må til for å endre temperaturen er derfor forskjellig for de ulike mediene. Med CO₂ som medium i stedet for propan eller butan, vil energisystemet kunne produsere mer energi per energimengde levert fra den termiske energiveksleren. Propan og butan har likevel den fordel at de kan operere med et lavere trykk i energisløyfen samt en lavere temperatur som er lettere å tilpasse ved termisk energihenting fra omgivelsesvannet i tillegg til at en lavere temperatur også vil gi et lavere energitap til omgivelsesvannet. Hvilket medium som er best egnet i energisløyfen kan variere med forskjellige typer energisystemer. I stedet for CO₂ er det også andre medier som kan endre tettheten uten å endre tilstand og som kan operere med lavere temperaturer og trykk og dermed være et bedre alternativ som medium i energisløyfen enn CO₂.
- Figur 4 viser et system for energiproduksjon som består av en termisk energiveksler 3 som i tillegg til egen termisk energiproduksjon også henter termisk energi fra omgivelsesvannet. Den termiske energien blir overført mellom den termiske energiveksleren 3 og energisløyfen 4 på øvre og nedre nivå via varmevekslere 5. Varmevekslingen bidrar til at innholdet av energisløyfen sirkulerer og gir en trykkforskjell i systemet som utnyttes til energiproduksjon ved hjelp av en turbin/generator anordning 7 i bunn av energisløyfen 4. Effekt 6 og virkningsgrad av et slikt energisystem vil øke med økende nivåforskjell mellom topp og bunn av systemet - både for den termiske energiveksleren 3 og for energisløyfen 4.
- En annen løsning kan være et system som kombinerer den termiske energiveksleren 3 med solenergi eller andre energikilder. I figur 5 er det vist et system der termisk energi både fra varmt overflatevann og fra solfangere blir tatt opp av den termiske energiveksleren 3 på øvre nivå. Under nedstigningen øker den termiske energimengden etter hvert som gassen blir komprimert før den blir overført til energisløyfen 4 på nedre nivå ved hjelp av direkte varmeveksling mellom sløyfene. Etter varmeveksling på nedre nivå henter den termiske energiveksleren kulde fra omgivelsesvannet som under oppstigningen blir tilført mer kulde.
- Et energisystem som skal ha stor nivåforskjell mellom topp og bunn kan med fordel plasseres på dypt vann. En konstruksjon som eksempelvis skal være på over 1000 meter vil kunne settes sammen av moduler og senkes etter hvert som de skjøtes sammen. En slik konstruksjon vil måtte balanseres slik at det er nok tyngde til å

senke konstruksjonen etter hvert som den blir sammenstilt samt at konstruksjonen har nok oppdrift til at den holder seg flytende. Et energisystem med en termisk energiveksler vil inneholde mye oppdrift og det må derfor kompenseres ved å legge inn masse i nedre del av energisystemet. Ved å forlenge energisløyfen slik at denne

5 stikker mye dypere enn den termiske energiveksleren 3 samt overføre varme ved hjelp av en væskefylt varmesløyfe 9 fra den termiske energiveksleren 3 og ned til nedre del av energisløyfen 4, vil nedre del av konstruksjonen få mindre oppdrift og dermed vil det være lettere å bygge inn negativ oppdrift i nedre del av konstruksjonen. Energisystemet vil dermed bestå av en stabil konstruksjon med et

10 oppdriftspunkt som ligger langt over tyngdepunktet til konstruksjonen. I tillegg til varmesløyfen 9 kan energisystemet også inneholde en kuldesløyfe 8 i toppen av konstruksjonen som trekker varme ut av øverste del av energisløyfen 4 og veksler denne mot kulde fra den termiske energiveksleren 3. En forlenget energisløyfe 4 med økt nivåforskjell mellom topp og bunn av sløyfen vil i tillegg til å gi en stabil

15 konstruksjon også gi en høyere effekt 6 ut av energisystemet.

Figur 6 viser et system som består både av en termisk energiveksler 3 samt en varmesløyfe 9 nederst og en kuldesløyfe 8 øverst. Både varmesløyfen 9 og kuldesløyfen 8 er utstyrt med pumper til å drive sirkulasjonen i sløyfene. Termisk energioverføring kan med en slik løsning foregå med "rør i rør" varmeveksling over

20 en stor del av den termiske energiveksleren før den overføres til energisløyfen 4. I figur 7 er det vist en flytende konstruksjon av et energisystem som beskrevet i figur 6. Den termiske energiveksleren består av mange systemer som leverer varme til en felles varmesløyfe 9 i nedre del samt kulde til en felles kuldesløyfe 8 i den øvre

25 delen. Varmesløyfen 9 er her betydelig lenger enn kuldesløyfen 8 for å sikre en stabil konstruksjon med lavt tyngdepunkt og et oppdriftspunkt som ligger vesentlig høyere. Turbin-/ generatoranordningene 7 i nedre del vil typisk være utskiftbare enheter som er tilpasset for å kunne heves til overflaten for vedlikehold og reparasjoner. Ved å ha flere turbin-/ generatorløsninger 7 vil hver enhet bli enklere å håndtere samtidig som

30 en utkobling av en enhet kan foregå uten at all energiproduksjon må stoppe. Figur 8 viser det samme energisystemet som i figur 6 og 7, men som en bunnfast konstruksjon med tre energisystemer i stedet for en flytende konstruksjon med forankring 10 og med ett energisystem.

35 Et energisystem med termiske energivekslere vil kunne bygges i mange varianter og også kunne tilpasses for energilagring eksempelvis termisk energilagring eller trykkluftlagring. Med energihenting fra flere energikilder vil anlegget kunne bli et

effektivt energisystem som kan levere forutsigbar kraft som er konkurransedyktig med andre kraftkilder. Siden energisystemene gir best effekt med energisløyfer som har stor avstand mellom topp og bunn, vil det være fordelaktig med feltutbygginger på større dyp med felles strømkabel til land eller til offshore installasjoner i nærheten. På samme måte som et OTEC-anlegg eller en vindkraftutbygging kan effekten fra slike anlegg være fra et par hundre megawatt til flere gigawatt. En fordel med denne type energisystemer er at de har høy effekt per areal og kan levere effekt av betydning. I tillegg kan de bygges ut uten å skjemme eller skade miljøet rundt. Et annet fortrinn er at de har få bevegelige deler, der utskifting av pluggen utgjør det største vedlikeholdsarbeidet ved siden av turbin-/ generatordelen og annet vedlikehold.

5

P A T E N T K R A V

1. Termisk energiveksler (3) omfattende ett eller flere medier som sirkulerer i en lukket sløyfe (11) hvor nivåforskjellen mellom topp og bunn av sløyfen (11) er på minimum 400 meter, karakterisert ved at når innholdet i sløyfen (11) sirkulerer genereres varme når innholdet forflyttes nedover samt kulde når innholdet forflyttes oppover, hvor nevnte varme og kulde overføres til ett eller flere adskilte medier hvor den adskilte termiske energimengden indirekte eller direkte benyttes til kraftproduksjon eller til en energjøkning i et energisystem.
2. Termisk energiveksler ifølge krav 1, karakterisert ved at trykkforskjellen mellom topp og bunn i sløyfen er på minst 10 bar, fortrinnsvis på 15 bar eller mer.
3. Termisk energiveksler ifølge krav 1, karakterisert ved at væskepartikler opptar varme ved kompresjon og kulde ved dekompresjon, og derved begrenser temperaturutviklingen i systemet ved sirkulasjon av innholdet.
4. Termisk energiveksler ifølge krav 1, karakterisert ved at i tillegg til det interne mediet i sløyfen omfatter sløyfen stempelordninger som sirkulerer i sløyfen og seksjonerer mediet i sløyfen i mindre volumer.
5. Termisk energiveksler ifølge krav 4, karakterisert ved at stempelordningene fungerer som plugger (2) som med sin egenvekt og tilhørende masse utgjør et trykk på underliggende seksjoner, hvor trykket i hver seksjon hovedsakelig er en funksjon av antall overliggende plugger.
6. Termisk energiveksler ifølge krav 5, karakterisert ved at pluggene (2) samler og fordeler væskepartikler til hver seksjon.

7. Termisk energiveksler ifølge krav 6, karakterisert ved at væskepartiklene fordeles i spray- eller dråpeform.
- 5 8. Termisk energiveksler ifølge krav 5, karakterisert ved at sløyfen er utstyrt med en anordning for å kunne skifte ut plugger ved behov.
- 10 9. Termisk energiveksler ifølge krav 1, karakterisert ved at termisk energi tilføres fra andre energikilder og bidrar til å øke den totale termiske energimengden som overføres til det adskilte mediet.
- 15 10. Anvendelse av den termiske energiveksleren i samsvar med ett eller flere av krav 1-9 i et energisystem for kraftproduksjon eller energilagring, hvor den termiske energiveksleren(3) leverer termisk energi direkte eller indirekte til en energisløyfe (4) som har en nivåforskjell mellom topp og bunn på over 800 meter, hvor en eller flere kraftkonvertere for kraftproduksjon er direkte eller indirekte tilknyttet energisløyfen (4).
- 20 11. Anvendelse ifølge krav 10, hvor en varmesløyfe (9) overfører varme fra den termiske energiveksleren (3) til energisløyfen (4) og der varmesløyfens nedre del stikker minimum 400 meter ned under den termiske energivekslerens lukkede sløyfe.
- 25 12. Anvendelse ifølge krav-11, hvor varmesløyfens (9) nedre del gir nedre del av konstruksjonen en negativ oppdrift ved plassering i et marint miljø og vil sammen med den termiske energivekslerens positive oppdrift i øvre del gi konstruksjonen en fordelaktig stabilitet med lavt tyngdepunkt og høyt oppdriftspunkt
- 30 13. Anvendelse ifølge krav 11, hvor energisystemet omfatter et tårn som forlenger nivåforskjellen mellom topp og bunn i energisløyfen, og en kuldesløyfe overfører kulde fra den termiske energiveksleren (3) til energisløyfen (4).
- 35 14. Anvendelse ifølge krav 10, hvor den termiske energiveksleren (3) produserer termisk energi ved sirkulasjon av innholdet, hvor varme genereres ved økende trykk ved økende dybde og kulde genereres ved minskende trykk ved minkende dybde.

15. Anvendelse ifølge krav 10, hvor væskepartikler i spray- eller dråpeform bidrar til å redusere temperaturutviklingen ved trykkvariasjoner internt i den termiske energiveksleren.

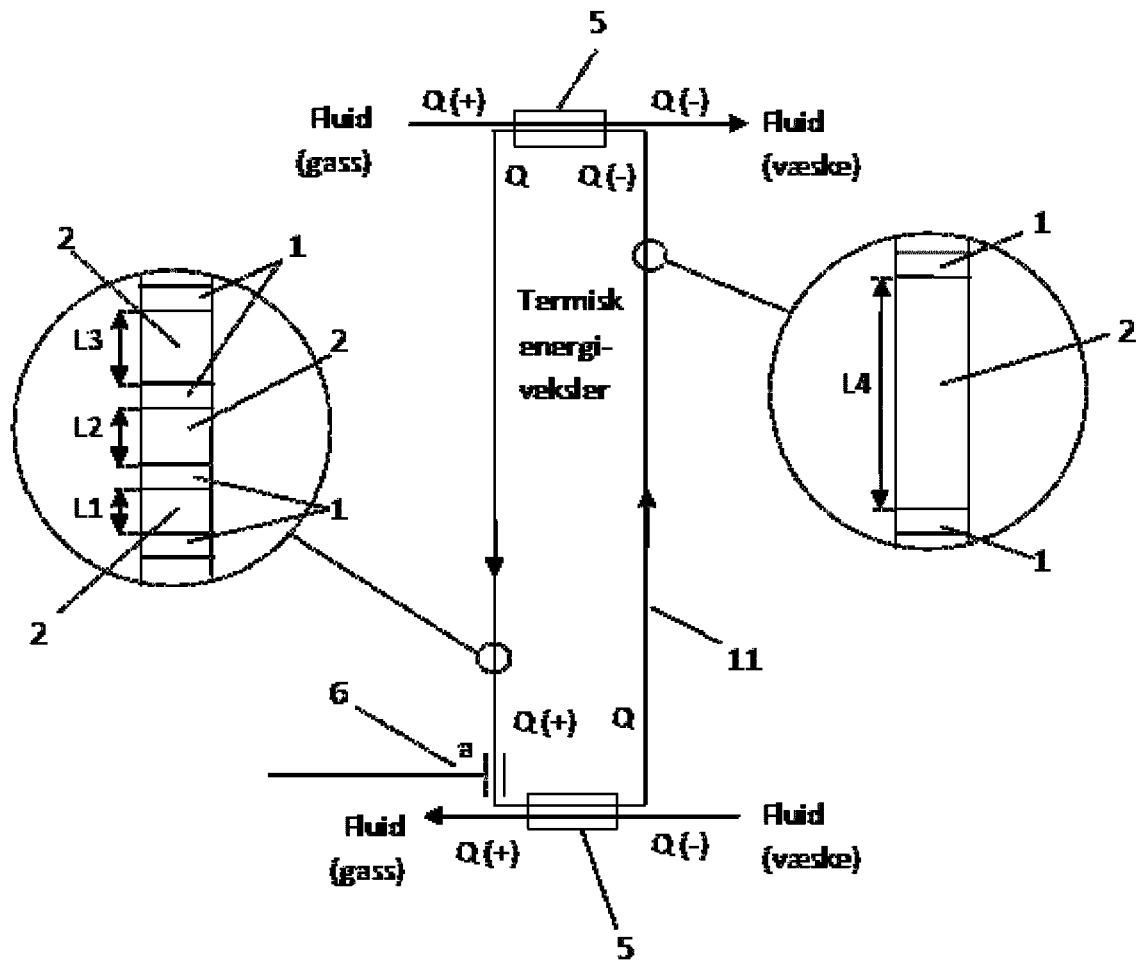
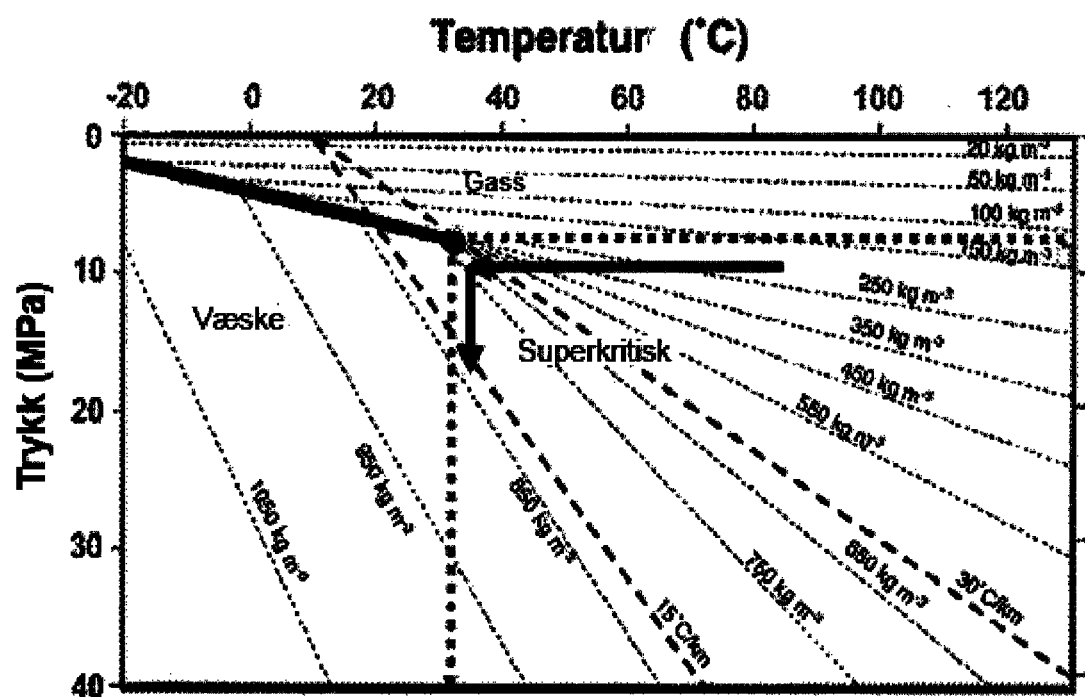
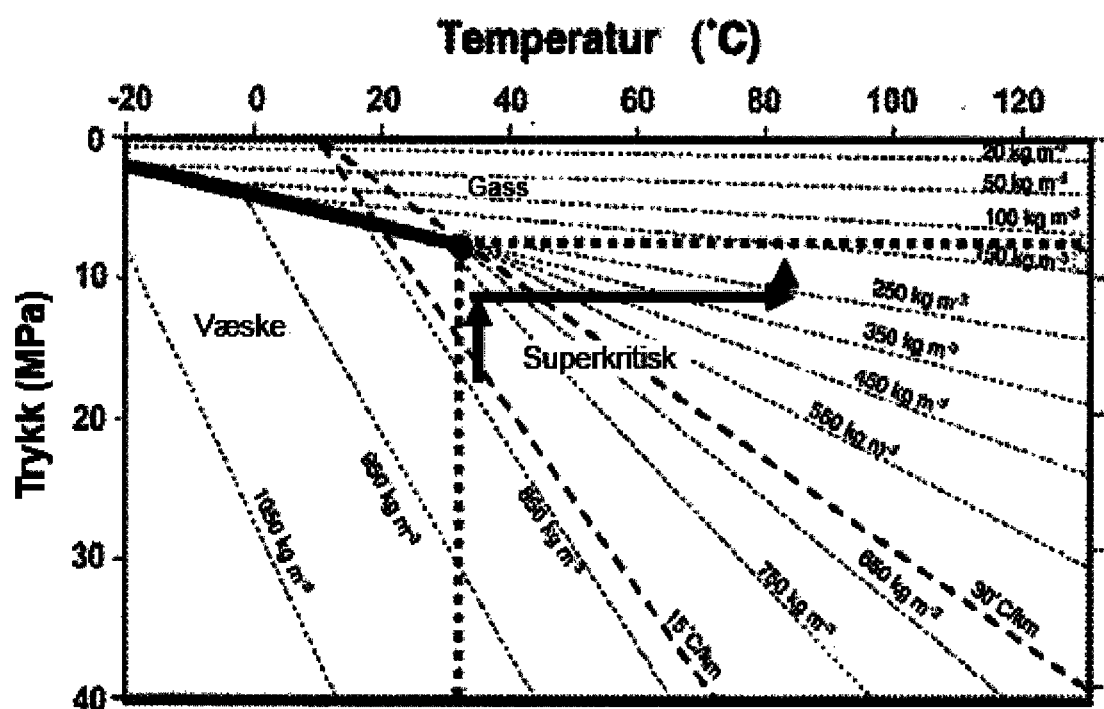


Fig. 1



Figur 2, Temp. reduksjon og trykkøkning av CO₂ i superkritisk fase



Figur 3, Trykk reduksjon og temp. økning av CO₂ i superkritisk fase

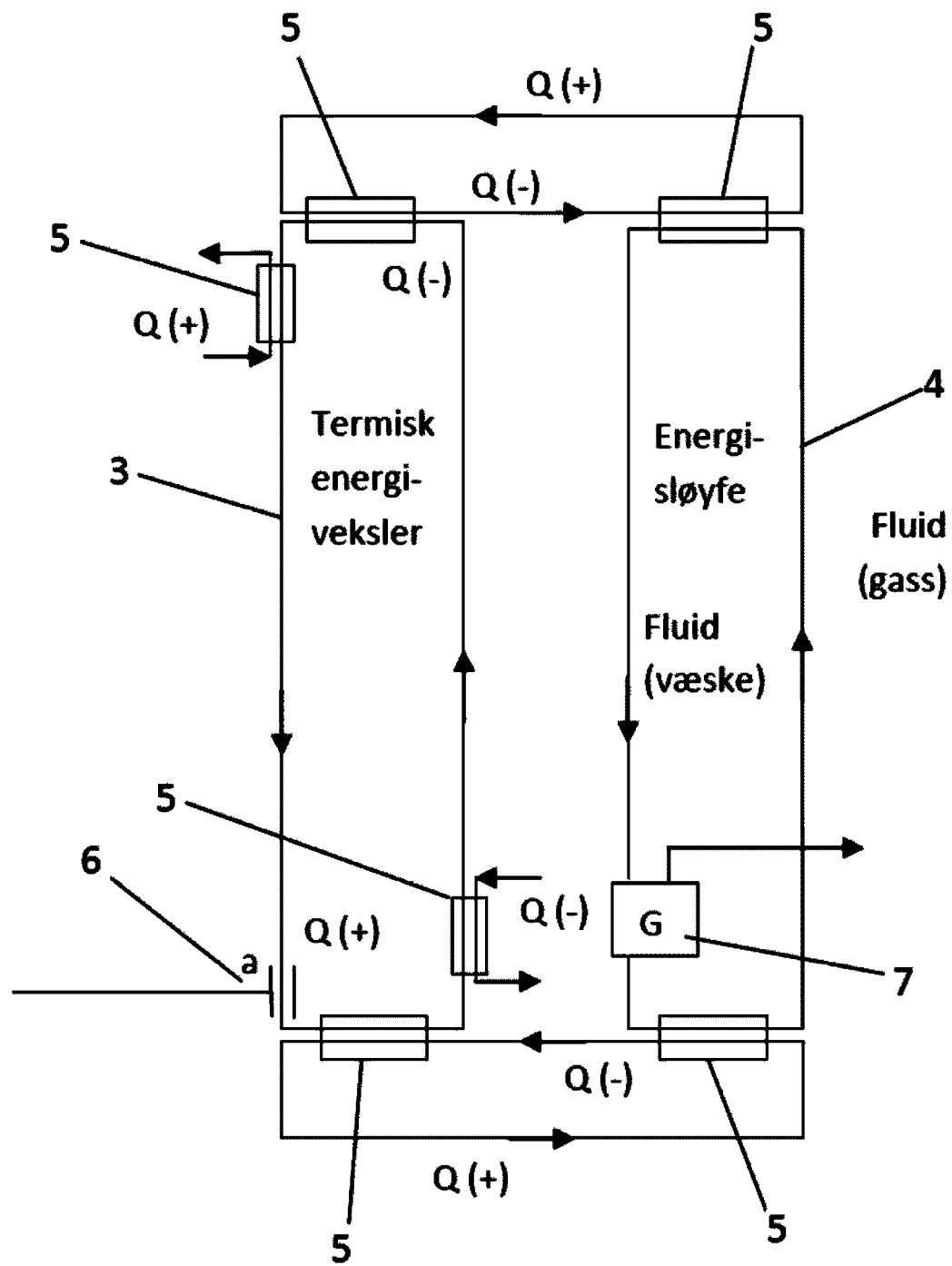


Fig. 4

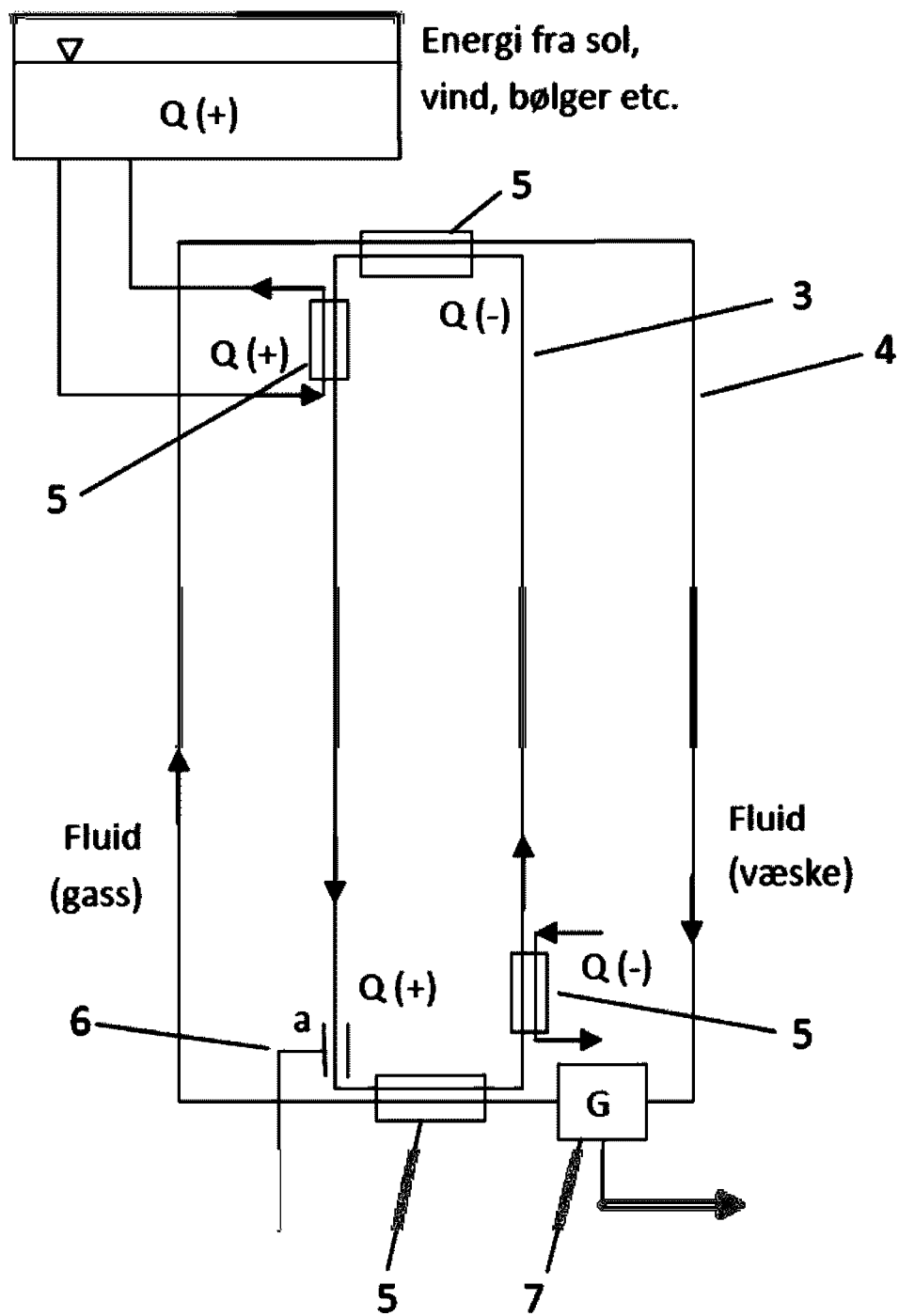


Fig. 5

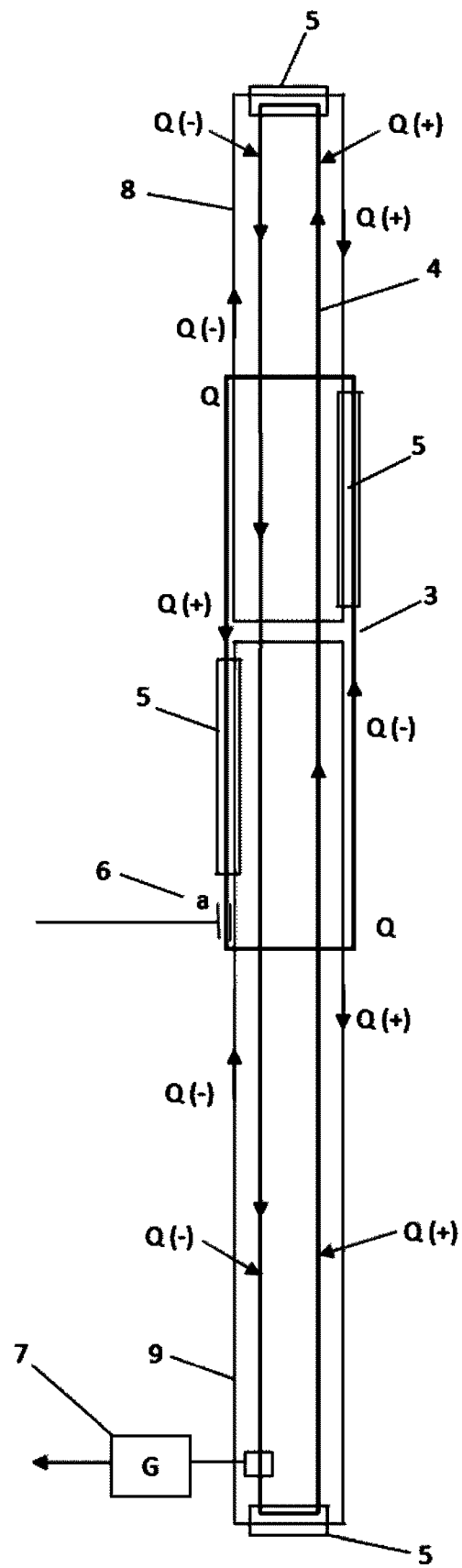


Fig. 6

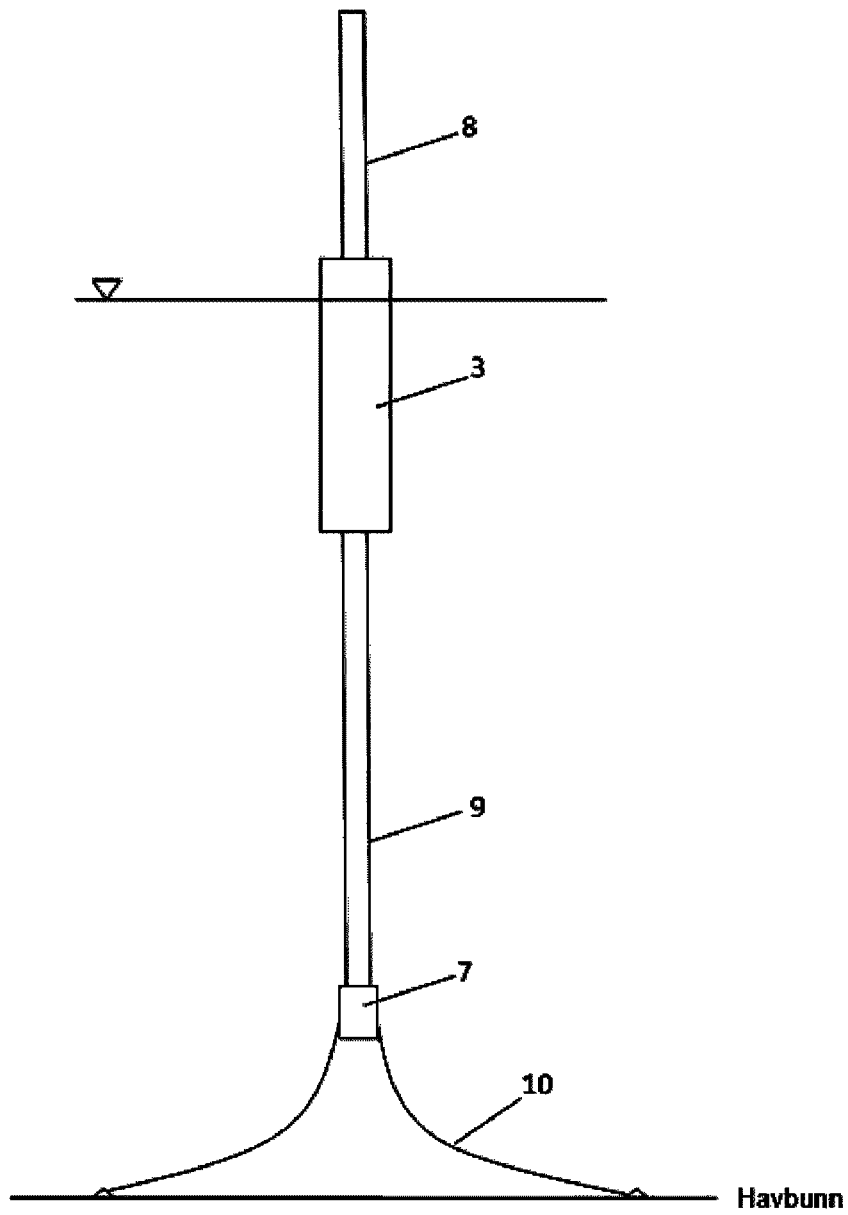


Fig. 7

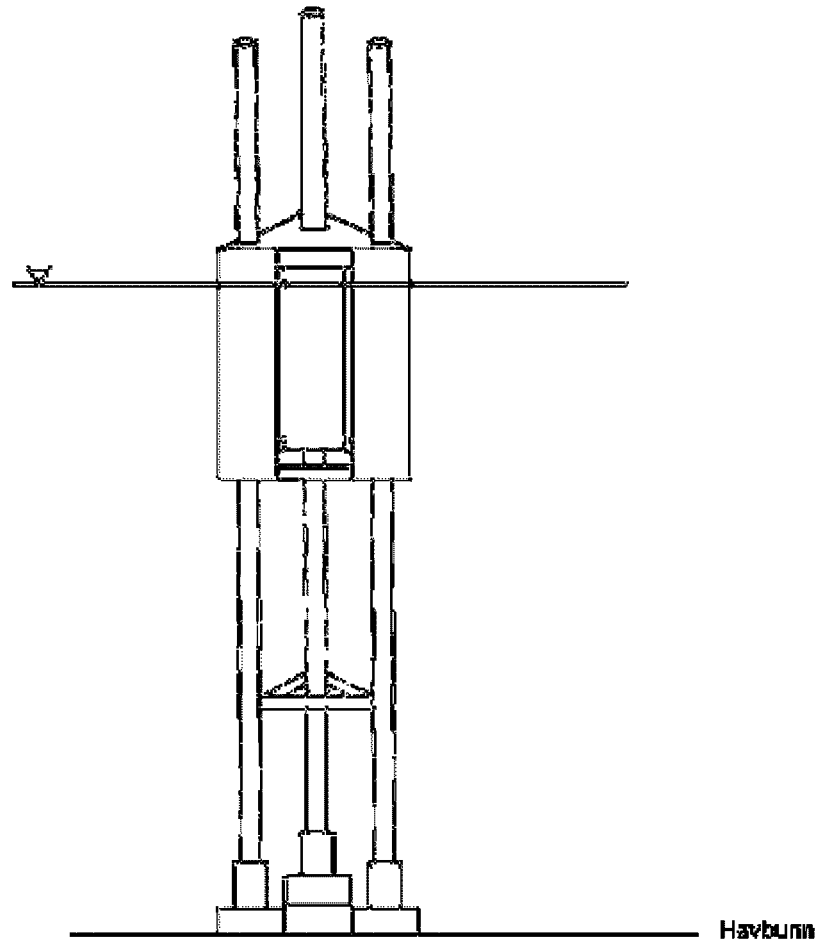


Fig. 8