



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **330286**

(13) **B1**

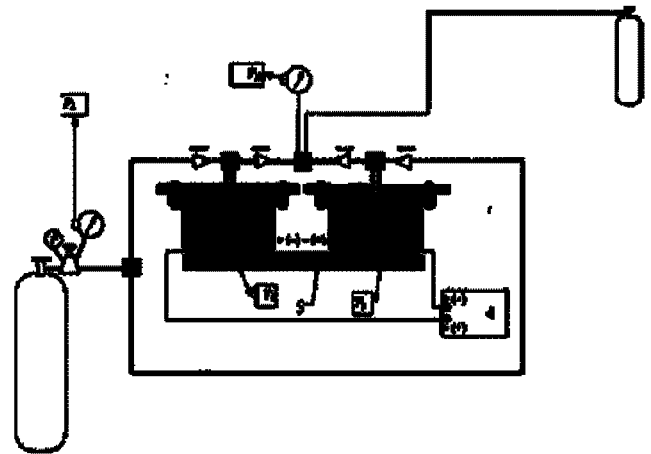
NORGE

(51) Int Cl.
F17C 11/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20090497	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2009.01.30	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2009.01.30	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2010.08.02		
(45)	Meddelt	2011.03.21		
(73)	Innehaver	Institutt for energiteknikk, Postboks 40, 2027 KJELLER, Norge		
(72)	Oppfinner	Volodymyr A Yartys, c/o Institutt for energiteknikk, Postboks 40, 2027 KJELLER, Norge Michael V Lototsky, c/o The University of the Western Cape, Research Associate South African Institute for Advanced Material Chemistry, Modderdam Road, Private Bag X17, ZA-7535 BELLVILLE, Sør-Afrika Jan Petter Mæhlen, c/o Institutt for energiteknikk, Postboks 40, 2027 KJELLER, Norge Hallmar Halldórs, Vamaraf ehf, IceTec Keldnaholti, IS-112 REYKJAVIK, Island Arild Vik, c/o CMR Prototech, Postboks 6034 Postterminalen, 5892 BERGEN, Norge Asbjørn Strand, c/o CMR Prototech, Postboks 6034 Postterminalen, 5892 BERGEN, Norge		
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge		
(54)	Benevnelse	Kontinuerlig drevet hydrogenkompressor og fremgangsmåte ved drift av denne		
(56)	Anførte publikasjoner	WO 0169144 A2, US 20040079090 A1, US 6128904, US 20020028176 A1		
(57)	Sammendrag			

Det er beskrevet en kontinuerlig drevet metallhydrid-hydrogenkompressor hvor det sørges for oppvarming og avkjøling av metallhydrid ved hjelp av et varmepumpesystem. Kompressoren består av to eller flere kompresjonsmoduler, som hver har en metallhydridbeholder med et metallhydridleie termisk koblet til en oppvarmende eller avkjølede side av et varmepumpesystem som har en oppvarmende side, avkjølede side og en varmeslukt side. Metallhydridbeholderene er også forbundet med et gassfordelingssystem som omfatter rørledninger for innførsel av lavtrykkshydrogen og avgivelse av høytrykkshydrogen, gassopsamlere, tilbakeslagsventiler og forbindende rørledninger. Under bruk virker kompressoren som et reversibelt varmepumpesystem hvor de oppvarmende og avkjølede sider periodisk arbeider vekselvis som oppvarmer og avkjøler. Derved kan metallhydridleiet oppvarmes til en høyere temperatur som fremmer desorpsjon av hydrogen ved høyt trykk derfra, eller avkjøling til en lavere temperatur som fremmer sorpsjon ved lavt trykk av hydrogen i dette ved hjelp av den samme oppvarmende og avkjølede side av varmepumpesystemet, mens overskytende varme fjernes permanent fra varmeslukt siden ved et middels temperaturnivå.

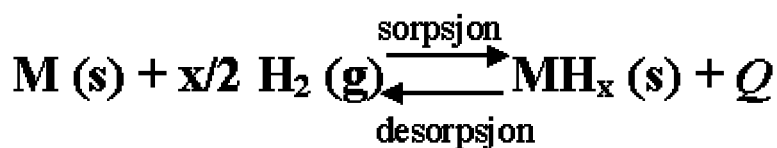


Den her beskrevne oppfinnelse gjelder en kontinuerlig drevet metallhydrid hydrogen-kompressor drevet ved hjelp av et reversibelt varmepumpesystem på grunnlag av termoelektriske elementer, og en fremgangsmåte ved drift av en sådan kompressor.

- 5 Særlig gjelder oppfinnelsen en kompresjonsanordning for termisk sorpsjon av hydrogen, som benytter et metallhydridmaterial, hvis oppvarming ledsages av frigjøring av høytrykkshydrogen og hvis avkjøling ledsages av absorpsjon av lavtrykkshydrogen ved hjelp av et reversibelt varmepumpesystem. Anordningen i henhold til oppfinnelsen kan brukes av gasstjenester for fylling av gass-sylindere med høytrykks hydrogengass og
10 ved kryogenisk ingeniørarbeid for å frembringe systemer for hydrogenkondensering og -rekondensering av høytrykks hydrogengass. Den beste bruk av denne anordning er i mikrokryogeniske systemer for rekondensering av hydrogen innen romfartsteknikk.

Den konvensjonelle måte å anvende mekaniske kompressorer på har en rekke ulemper
15 når den brukes for å komprimere hydrogen. Først av alt medfører kombinasjonen av intensiv mekanisk bevegelse og høytrykksmedier av eksplosiv gass en iboende potensiell fare. Videre kan mekaniske hydrogenkompressorer ha problemer med hensyn til pålitelighet på grunn av muligheten for at H₂ unnslipper gjennom deres bevegelige pakninger, så vel som på grunn av hydrogenkorrosjon og sprøheten til materialene i
20 bestanddelene. Problemet med forurensning av det avgitte hydrogen med et smøremiddel kan også oppstå.

En lovende fremgangsmåte ved hydrogenkomprimering som ikke fordrer bevegelige deler, er en som anvender metallhydrider. Denne fremgangsmåte utnytter den
25 reversible vekselvirkning mellom hydriddannende metaller eller legeringer og hydrogengass, i samsvar med skjemaet nedenfor:



(Lign. 1)

30 hvor M betegner et metall eller en legering, MH_x er et tilsvarende metallhydrid og (s) og (g) henholdsvis fast (solid) fase og gassfase. Den direkte prosess, dvs. hydrogen-sorpsjonen, ledsages av dannelse av metallhydrid. Dette utføres ved å fjerne en viss mengde varme Q fra den eksoterme reaksjon ved hydriddannelsen ved en lavere temperatur T_L. Den omvendte prosess, dvs. endotermisk dekomponering av hydridet etterfulgt av utvikling av desorbent hydrogen, stimuleres ved å tilføre den samme mengde varme Q ved en høyere temperatur T_H. Hydrogenlikevektstrykket for reakt-

sjonen i henhold til ligning 1 øker eksponensielt med temperaturen, slik at sorpsjonen finner sted ved et lavere hydrogentrykk P_L , mens desorpsjonen skjer ved et høyere trykk P_H tilsvarende suge- og tømmeprosessen i en mekanisk kompressor.

- 5 Diverse tekniske løsninger for å oppnå termisk sorpsjonskomprimering av hydrogen ved hjelp av metallhydrider er blitt beskrevet i en rekke patenter og andre publikasjoner. Et eksempel er en fremgangsmåte ved lagring av hydrogen beskrevet av R.H. Wiswall og J.J. Reilly¹, hvor hydrogengass absorberes av en titan-jern-legering ved lav temperatur $T_L=10^\circ\text{C}$ og lavt trykk $P_L\sim 35$ bar, for så bli dersorbent ved et høyere trykk på
- 10 inntil $P_H=250$ bar, mens den varmes opp til en høy temperatur på inntil $T_H\sim 200^\circ\text{C}$. Forfatterne estimerte også muligheten for på en sådan måte å generere hydrogentrykk på inntil $P_H=690$ bar.

- Et annet eksempel beskrevet av J.J. Reilly, A. Holtz og R.H. Wiswall² er en laboratorie
- 15 gass-sirkulasjonspumpe drevet av dekomponering og regenerering av vanadium-dihydrid, alternativt oppvarmet og avkjølt ved hjelp av varmt ($T_H\sim 50^\circ\text{C}$) og kaldt ($T_L=18^\circ\text{C}$) vann, idet operasjonen finner sted ved trykk på mellom $P_L=7$ bar og $P_H=24$ bar.

- 20 Begge løsningene ovenfor førte til en periodisk drevet hydrogenkompresjon som begrenser deres mulige anvendelse for kontinuerlige tekniske prosesser.

Følgelig er det behov for en metallhydrid hydrogenkompressor som muliggjør kontinuerlig drift. På de vedføyde tegninger viser fig. 3 prinsippet for driften av den enkleste

25 kontinuerlig drevne metallhydrid hydrogenkompressor. Kompressoren omfatter i det minste to kompresjonsmoduler 1, 2 som hver har et metallhydridleie A med en hydrogenlagringslegering termisk koblet til et utstyr B for tilførsel/fjerning av varme. Metallhydridleiet A er plassert i en beholder C som har en gassrørledning D. Alle gassrørledningene D er forbundet med et gassfordelingssystem E utstyrt med en port F for tilførsel

30 sel av hydrogen ved lavt trykk P_L og med en port G for avgivelse av hydrogen ved høyt trykk P_H .

Særlig kan gassfordelingssystemet E ha form av et sett stengeventiler (innbefattet fjernstyrte sådanne) eller tilbakeslagsverdier som er forbundet med rørledningene D

35 for kompresjonsmodulene 1, 2 samt hydrogeninnløps- og utløpsporter F og G, på en slik måte av lavtrykkshydrogen strømmer fra innløpsporten til en kompresjonsmodul 1 eller 2 som på et tidspunkt arbeider i sugemodus (absorpsjon), mens høytrykkshydrogenet strømmer fra en kompresjonsmodul 2 eller 1 som på samme tid arbeider i tømmeodus (desorpsjon), til utløpsporten G. Hydrogensugingen (absorpsjonen) ved

P_L i metallhydrideiet A1 eller A2 plassert i kompresjonsmodulen 1 eller 2, oppnås ved å fjerne varme Q ved et lavt temperaturnivå T_L ved hjelp av utstyret B1 eller B2 for tilførsel/fjerning av varme, og som på et tidspunkt arbeider i lavtemperaturmodus for fjerning av varme, mens hydrogentømmingen (desorpsjonen) ved P_H i metallhydrideiet A2 eller A1 plassert i kompresjonsmodulen 2 eller 1, oppnås ved å tilføre varme Q på et høyere temperaturnivå T_H ved å bruke utstyret B2 eller B1 for tilførsel/fjerning av varme og som på samme tid arbeider i høytemperaturmodus for tilførsel av varme.

Således arbeider utstyret B1 og B2 for tilførsel/fjerning av varme i vekselvis motsatte modi, slik at når utstyret B1 fjerner varme Q ved T_L fra metallhydrideiet A1 (avkjøling), tilfører utstyret B2 den samme mengde varme Q ved T_H til metallhydrideiet A2 (oppvarming), og omvendt. Den kontinuerlige drift av kompressoren sørges det for ved periodisk reversering av driftsmodiene til utstyrene B1 og B2 for tilførsel/fjerning av varme. Forholdet mellom verdiene P_L , T_L , P_H og T_H defineres ut fra den type hydrogenlagringslegering som inneholdes i metallhydrideiet A eller nærmere bestemt, av den termiske stabilitet til metallhydridet dannet i løpet av det tilhørende hydrogenlagringslegerings reversible vekselvirkning med hydrogengass. Kompressorens produktivitet avhenger i hovedsak av varmetilførselsraten på høytemperaturnivået dQ_H/dt og også av varmefjerningsraten på lavtemperaturnivået dQ_L/dt , slik at når den sakteste av disse to dQ/dt 'er øker, øker også produktiviteten.

Den grunnleggende tekniske løsning beskrevet ovenfor med hensyn til kontinuerlig drevne metallhydrid hydrogenkompressorer er beskrevet i en rekke patenter og publikasjoner ^{3,4, osv.}, og ytterligere forbedringer av disse gjelder hovedsakelig:

25

- Typen av hydrogenlagringslegering, antallet kompresjonselementer (to eller flere), deres gassforbindelser, og driftssekvensen for det tilhørende utstyr for tilførsel/fjerning av varme.

30

Som et eksempel har hydrogenkompressoren beskrevet av P.M. Golben og M.J. Rosso⁵ seks kompresjonselementer ordnet i to grupper, som hver er termisk koblet til sitt eget utstyr for tilførsel/fjerning av varme, og hvor kompresjonselementenes metallhydrideier i hver gruppe er basert på tre ulike hydrogenlagringslegeringer som gir de tilhørende metallhydrider forskjellig termisk stabilitet. Gassfordelings-systemet som er basert på tilbakeslagsventiler er laget på en måte som muliggjør flertrinnsdrift av kompressoren, hvorved det oppvarmede metallhydrideiet, som kjennetegnes ved høyere termisk stabilitet for det tilhørende metallhydrid, mater det avkjølte metallhydrideie, som kjennetegnes ved lavere termisk stabilitet for det tilhørende metallhydrid, med hydrogen ved høyere trykk.

35

Med denne løsning blir det mulig å oppnå et høyere kompresjonsforhold P_H/P_L ved å bruke et smalere temperaturområde ($T_H - T_L$), men samtidig har den en mer komplisert konstruksjon og dårligere pålitelighet enn en ett-trinns hydrogenkompressor. Dette skyldes det store antall tilbakeslagsventiler, hvis feilfunksjon kan føre til en tilbakestrømning av hydrogen og forstyrrelse eller avbrudd i kompressorens drift. Som vist ved termodynamisk analyse⁶ er dessuten virkningsgraden for flertrinns metallhydrid hydrogenkompressorer lavere enn den for ett-trinnskompressorer.

- Fremgangsmåtene og utstyret for tilførsel/fjerning av varme.

Den mest vanlig brukte fremgangsmåte ved tilførsel av varme Q_H ved en høy temperatur T_H til et metallhydridleie for å stimulere hydrogendesorpsjonen derfra ved et høyt trykk P_H omfatter bruk av et varmeoverføringsfluid, slik som varmt vann, som passerer gjennom en varmeveksler plassert i en metallhydridbeholder og som står i termisk kontakt med et metallhydridleie. Likeledes oppnås fjerning av varme Q_L ved lav temperatur T_L fra et metallhydridleie, og som sørger for absorpsjon av lavtrykkshydrogen (P_L) i dette, ved å bruke et varmeoverføringsfluid (dvs. kaldt vann) som passerer gjennom den samme varmeveksler. Særlig utnyttet en sådan metode av J.J. Reilly, A. Holtz og R.H. Wiswal² i den ovenfor nevnte hydrogensirkuleringspumpe og av P.M. Golben og M.J. Rosso, Jr⁵ i dere hydrogenkompressor, osv.

Med hensyn til fremgangsmåtene nevnt ovenfor bestemmes raten av tilførsel eller fjerning av varme dQ/dt til/fra metallhydridleiet av Newtons avkjølingslov⁷ til å være proporsjonal med forskjellen mellom varmeoverføringsfluidets tilgjengelige temperatur T'_H og T'_L og metallhydridleiets temperatur T_H eller T_L , som fordres for å frembringe høytrykkshydrogendesorpsjon og lavtrykkshydrogenabsorpsjon. Dette betyr at når metallhydridleiets temperatur nærmer seg varmeoverføringsfluidets temperatur avtar varmetilførsels/fjerningsraten som er drivkraften for hydrogenutladingen/ladingen, dramatisk, hvilket fører til produktivitetstap.

For å øke en metallhydridhydrogenkompressors produktivitet i høytrykksleveringsmodusen består en mulighet i å bruke elektrisk oppvarming for å generere en tvungen varmetilførsel ved høy temperatur til metallhydridleiet. Et eksempel er hydrogenkompressoren patentert av P.M. Golben⁴, hvor en metallhydridbeholder har en innebygget elektrisk varmeanordning og en avkjølede kappe for å føre igjennom et kjølemiddel og sørge for fjerning av varme ved lav temperatur fra metallhydridleiet. Et annet eksempel er en metallhydrid hydrogenkompressor i industriell skala ($P_L=3 \dots 5$ bar, $P_H=150$ bar, produktivitet: $10 \text{ m}^3/\text{h}$) beskrevet av Yu.F. Shmal'ko m.fl.⁸, hvor metallhydridbeholdere varmes opp ved hjelp av innebygde elektriske varmeapparater og

avkjøles eksternt ved hjelp av tvungen luftkonveksjon. Siden konveksjonskjøling fortsatt benyttes for denne type ingeniørarbeid, kjennetegnes sådanne teknikker ved en skarp senkning i produktiviteten når den temperatur i metallhydrideiet T_L som fordres for hydrogenabsorpsjon ved lavt trykk (P_L) nærmer seg kjølemiddelets tilgjengelige

5 temperatur T'_L .

Siktemålet for foreliggende oppfinnelse er å forsterke prosessen ved både tilførsel av varme og fjerning av varme i en kontinuerlig drevet metallhydrid hydrogenprosessor og på denne måte opprettholde høy produktivitet i et eneste kompresjonstrinn ved

10 høye avgivelsestrykk P_H , så vel som ved lave sugetrykk P_L . Dette kan oppnås ved å anvende et varmepumpesystem som er i stand til å sørge for tvungen oppvarming såvel som tvungen avkjøling av metallhydrideiet.

En av disse løsninger er anvendt i fremgangsmåten og anordningen for komprimering

15 av hydrogengass patentert av C. Halene⁹. Fremgangsmåten og anordningen benytter to metallhydridbeholdere utstyrt med varmevekslerkapper for oppvarming/avkjøling av metallhydrideiene i beholderene. Beholderene er forbundet med kilden for lavtrykkshydrogen og en mottager for høytrykkshydrogen gjennom et system av gassrørledninger og stengeventiler. I sin tur blir metallhydridbeholderenes varmevekslerkapper

20 forbundet via systemet av rørledninger og stengeventiler til oppvarmende og avkjøleende kretser i en fordampnings/kondenseringsvarmepumpe utstyrt med permanent oppvarming av et varmeoverføringsfluid i den oppvarmende krets til en høyere temperatur T_H og permanent avkjøling av varmeoverføringsfluidet i den avkjøleende krets til en lavere temperatur T_L .

25 Driften av kompressoren opprettholdes ved å åpne og lukke ventilene på en slik måte at på et tidspunkt er den første metallhydridbeholder forbundet med en mottager for høytrykkshydrogen mens dens varmevekslerkappe er forbundet med en oppvarmingskrets, samtidig som den andre beholder er forbundet med en kilde for lavtrykkshydrogen mens dens varmevekslerkappe er forbundet med en avkjøleende krets. Det

30 sørges for permanent drift av kompressoren ved periodisk å svitsje ventilene, slik at på et annet tidspunkt er den første beholder forbundet med en kilde for lavtrykkshydrogen, mens varmevekslerkappen er forbundet med en avkjøleende krets, samtidig som den andre metallhydridbeholder på samme tid er forbundet med en mottager av

35 høytrykkshydrogen, mens dens varmevekslerkappe er forbundet med en oppvarmende krets. For å øke operasjonens virkningsgrad ser man med den anvendte løsning også for seg visse forbedringer, slik som regenerering av varme mellom de avkjølte og oppvarmede metallhydridbeholdere, muligheten av å føre hydrogen fra en oppvarmet beholder til en avkjølt etter fullføring av en kompresjonssyklus, osv.

Løsningen beskrevet ovenfor har de etterfølgende trekk som ligner løsningen foreslått med foreliggende oppfinnelse:

- (i) i det minste to metallhydridkompresjonsmoduler forbundet gjennom rørledninger med et gassfordelingssystem som har en port for innføring av lavtrykkshydrogen og en port for avgivelse av høytrykkshydrogen,
- (ii) termisk kobling av metallhydridkompresjonsmodulene til en varmepumpe, og
- (iii) nærvær av oppvarmingsutstyr til høy temperatur, avkjølingsutstyr til lav temperatur og et kjølelegeme for middels temperatur.

Med den tidligere tekniske løsning er imidlertid nevnte oppvarmings-, avkjølings- og kjølelegemeutstyr faste i rom og tid, dvs. at varmepumpens oppvarmings- og avkjølingskretser drives kontinuerlig uten at deres driftsmodus endres. Dette fører til nødvendigheten av å sette inn et system av ventiler for å svitsje strømmingen av varmt og kaldt varmeoverføringsfluid mellom metallhydridbeholderenes varmevekslerkapper og denne svitsjing må synkroniseres med driften av ventilene i gassfordelingssystemet. Dette arrangement kompliserer i stor grad både konstruksjonen og driften av kompressoren og senker dens pålitelighet.

En lovende måte å implementere den foreslåtte løsning på er å fremstille varmepumpesystemet som et sett termoelektriske moduler (Peltier-elementer) tett forbundet (både termisk og elektrisk) med hverandre og med andre elementer i metallhydridhydrogenkompressoren.

Det finnes to lignende tekniske løsninger som involverer termoelektriske moduler (Peltier-elementer) for å frembringe kompresjon av hydrogengass ved bruk av metallhydrider. Den første, som er beskrevet av V.A. Vasin¹⁰, bruker et Peltier-element hvis ene varme/kjøleside er dekket med en hydrogenlagringslegering (LaNi₅ eller TiFe). Tilførselen av effekt til Peltier-elementet forårsaker rask oppvarming av hydrogenlagringslegeringen i kontakt med den tilhørende varme side av elementet og derved rask høytrykks hydrogendesorpsjon derfra. Å gi elementet effekt med motsatt polaritet fører til rask avkjøling av hydrogenlagringslegeringen og derved rask lavtrykks hydrogenabsorpsjon i den. Siden denne løsning ikke har noe spesielt utstyr for varmespredning fra den motsatte side av Peltier-elementet, kan den brukes bare for periodisk drift (f.eks. for pneumatiske aktuatorer innen vakuum-ingeniørarbeid).

35

En avansert løsning ble patentert av M.J. Rosso¹¹, som beskriver et termoelektrisk, pneumatisk hydridaktiveringssystem hvor begge sider av et termoelektrisk element er termisk koblet til sine egne metallhydridleier. Tilførsel av likestrømseffekt til det termoelektriske element bevirker oppvarming av dets ene side med høytrykks hydrogen-

desorpsjon fra det tilhørende metallhydrideleie samtidig som avkjøling av den annen side på samme tid forårsaker lavtrykks hydrogenabsorpsjon i det tilhørende metallhydrideleie. Periodisk reversering av polariteten av tilførselen av likestrøm til det termoelektriske element reverserer absorpsjons/desorpsjonsprosessen og gir i prinsippet permanent vekselvis bevegelse av et stempel, hvis ene side står i kommunikasjon med hydrogenledningen til en første metallhydridbeholder, mens den annen står i kommunikasjon med hydrogenledningen til en andre metallhydridbeholder.

Skjønt denne løsning gir periodiske hydrogentrykkendringer (fra P_L til P_H , og omvendt) i en trykkfølsom mekanismes kamre ved å bruke metallhydrid og en termoelektrisk modul, er den egnet bare for pneumatisk aktivering og kan ikke anvendes direkte for permanent hydrogenkomprimering.

Som det kan sees ut fra en termodynamisk betraktning, vil en hvilken som helst varmpumpe (innbefattet den termoelektriske modul) tilføre mer varme Q_H til høyt temperaturnivået T_H enn den mengde Q_L som absorberes av den på lavtemperaturnivået T_L . Forskjellen ($Q_H - Q_L$) vil være lik det ytre arbeid W som er nødvendig for å frembringe transport av den spesifiserte mengde varme fra lavt til høyt temperaturnivå. For en ideell varmpumpe som har en omvendt Carnot-syklus bestemmes verdien av W ved $W = Q_H(1 - T_L/T_H)$, og for en virkelig varmpumpe vil verdien være høyere. For moderne termoelektriske kjøleinnretninger som arbeider på mellom $T_L = -30 \dots -10^\circ\text{C}$ og $T_H = 30 \dots 50^\circ\text{C}$, er verdien av W omtrent 1,5 ganger større enn avkjølingskapasiteten Q_L ¹². Derfor vil den mengde varme Q_H som tilføres høyt temperaturnivået være 2,5 ganger mer enn Q_L .

Siden det er nødvendig å fjerne den samme mengde varme fra lavtemperaturnivået som den tilført høyt temperaturnivået for å oppnå normal drift av en metallhydrid hydrogenkompressor, vil den tidligere kjente tekniske løsning som brukes for kontinuerlig drevet hydrogenkompresjon føre til en senkning av produktiviteten eller alternativt en minskning av kompresjonsforholdet P_H/P_D under forlenget drift, idet dette skyldes vanskeligheten med å beherske spredningen av restvarme på riktig måte. Begrenset til det foreslåtte opplegg i tidligere kjente løsninger er den eneste måte å løse dette problem på å styre den periodiske fjerning av overskytende varme fra den oppvarmede side av den termoelektriske modul, hvilket i stor grad kompliserer implementering av løsningen beregnet på permanent hydrogenkompresjon.

Utover det som er nevnt ovenfor med hensyn til tidligere kjent teknikk henvises det også til publikasjonen WO 01/69144 A2 som angår en fremgangsmåte og anordning for frembringelse av trykksatt hydrogengass, og videre til publikasjonene US 2004

0079090 A1 og US 2002 0028176 A1, men ingen av disse løser fullt ut det tekniske problem som foreliggende oppfinnelse har som oppgave å løse.

På bakgrunn av den prinsipielt kjente teknikk omtalt ovenfor gjelder således fore-
5 liggende oppfinnelse en kontinuerlig drevet hydrogenprosessor som angitt i vedføyde
patentkrav 1 og også en fremgangsmåte ved drift av en slik kompressor, som angitt i
patentkrav 3.

Den permanent drevne metallhydrid hydrogenkompressor i henhold til oppfinnelsen
10 bruker to eller flere kompresjonsmoduler. Hver modul inneholder et metallhydridleie
(MH-leie) plassert i en MH-beholder utstyrt med en gassrørledning og hjelpeutstyr som
sørger for varmeveksling mellom MH-leiet og den oppvarmende/avkjølede side av
holderen. Den oppvarmende/avkjølede side er termisk koblet til den ene av to eller
flere sider av et reversibelt varmepumpesystem, som hver er i stand til å arbeide som
15 en avkjøler på et tidspunkt og som en oppvarmer på et annet. En del av hver MH-
beholder er koblet til den side av varmepumpesystemet som på et tidspunkt arbeider
som en avkjøler eller oppvarmer, mens den annen del er koblet til den annen side, idet
denne annen side arbeider som en oppvarmer eller avkjøler på det samme tidspunkt.
Ved å gjøre dette arbeider de to deler av MH-beholderene i gjensidig motsatte modi,
20 dvs. at når den ene del avkjøles, oppvarmes den annen, og omvendt. Det reversible
varmepumpesystem omfatter også en middeltemperatur varmeslukt side anordnet for å
fjerne overskytende varme. MH-beholderenes gassrørledninger er forbundet med
inngangsporten for lavtrykkshydrogen og utgangsporten for høytrykkshydrogen via et
gassfordelingssystem som omfatter gassoppsamlere, tilbakeslagsventiler og
25 forbindelsesrørledninger.

Oppfinnelsen kjennetegnes ved at det reversible varmepumpesystem omfatter et sett
på to eller flere termoelektriske moduler (Peltier-elementer), hvor den ene av to sider
på hver modul er termisk koblet til et varmesluktutstyr, og den annen side til den opp-
30 varmende/avkjølede side av en MH-beholder. De termoelektriske elementer er inndelt
i to eller flere grupper, hvor én i hver gruppe får effekt på et tidspunkt med direkte
polaritet, hvilket frembringer avkjøling av de tilhørende MH-beholdere, mens den
annen på samme tid tilføres effekt med reversert polaritet, hvilket frembringer
oppvarming av de tilhørende MH-beholdere.

35

Fremgangsmåten ved drift av kompressoren i henhold til oppfinnelsen omfatter trinn
hvor en avkjølede/oppvarmende side av nevnte varmepumpesystem drives på lavt
temperaturnivå, hvilket frembringer fjerning av varme fra metallhydridleiet koblet til
denne side, og som stimulerer absorpsjon av lavtrykkshydrogen i denne, mens den

annen avkjølede/oppvarmende side av nevnte varmepumpesystem på samme tid drives på det høye temperaturnivå, hvilket frembringer tilførsel av varme til metallhydrideiet koblet til denne side og som stimulerer desorpsjon av høytrykks hydrogen derfra, idet overskytende varme fjernes på et midlere temperaturnivå fra nevnte
5 midlere temperaturside av varmepumpesystemet.

Permanent drift av kompressoren oppnås ved periodisk å svitsje den reversible varmepumpe mellom oppvarmende/avkjølede modus, og særlig ved å endre polariteten av effekttilførselen til de termoelektriske moduler. Ved å gjøre dette kan effekten tilført
10 modulene som arbeider som avkjølere bli lik eller overskride den effekt som tilføres de moduler som arbeider som oppvarmere. Den sistnevnte modus kan brukes for å øke kompressorens produktivitet eller for å spare effekt, hvilket i tillegg kan oppnås ved å slå de oppvarmende termoelektriske moduler av over en periode som er avhengig av endringen i kompressorens produktivitet, før deres polaritet reverseres, hvilket fører til
15 svitsjing fra oppvarmende til avkjølede modus.

Fordelene med oppfinnelsen innbefatter at hydrogenprosessen får rask dynamisk ytelse, og høyere produktivitet, samt pålitelig og stabil forlenget drift på grunn av sin termiske selvbalsnering, så vel som lett og fleksibel styring av driften, innbefattet
20 tilgjengeligheten av trygg effektforvaltning.

Det er vedføyde tegninger, på hvilke:

- Fig. 1 skjematisk viser konstruksjonen og driften av en grunnleggende metallhydrid hydrogenkompressor som drives av et reverserbart varmepumpesystem,
- 25 fig. 2 viser en foretrukket utførelse av oppfinnelsen, hvor et sett termoelektriske elementer brukes som det reversible varmepumpesystem,
- fig. 3 viser prinsippet ved driften av den enkleste kontinuerlig drevne metallhydrid hydrogenkompressor,
- fig. 4 skjematisk viser et arrangement som prøver ble utført på,
- 30 fig. 5 presenterer resultatet av testene, idet fig. 5A viser avgivelsestrykket og produktiviteten, mens fig. 5B viser bunntemperaturen for metallhydrid-beholderene som funksjon av tiden,
- fig. 6 skjematisk viser et modifisert arrangement,
- fig. 7 presenterer på samme måte som fig. 5 resultatet av prøvene utført på det
35 modifiserte arrangement vist i fig. 6, og
- fig. 8 presenterer en sammenligning av de største produktivitetene for kompressorer i henholdsvis tidligere kjente løsninger og foreliggende oppfinnelse, idet de drives under de samme betingelser.

Foreliggende oppfinnelse gjelder et reversibelt varmepumpesystem (fig. 1, gjenstand 21) som har to eller flere vekselvis drevne oppvarmende/avkjølede sider 22, 23 som hver er i stand til å bli benyttet som en oppvarmer på et tidspunkt og som avkjøler på et annet. De respektive oppvarmende/avkjølede sider står i permanent termisk kontakt med sitt eget metallhydrideleie 17 i en tilhørende metallhydridbeholder 18. Varmepumpesystemet har også en varmeslukside 24 som arbeider ved en midlere temperatur T_{sink} , hvor $T_L < T_{\text{sink}} < T_H$, og som er permanent forbundet med varmespredningsutstyr.

Med henvisning til fig. 2 omfatter den beskrevne utførelse av det reversible varmepumpesystem et sett på to eller flere termoelektriske moduler (Peltier-elementer), som hver er termisk koblet til et varmeslukutstyr og også til den oppvarmende/avkjølede side av en MH-beholder. En av de to oppvarmende/avkjølede sider av hvert element (gjenstand 11) er termisk koblet til sitt eget hydrideleie 17 plassert i en tilhørende beholder 18, samtidig som den annen oppvarmende/avkjølede side av det termoelektriske element er termisk koblet til et varmeslukutstyr 24.

Det termoelektriske element er inndelt i to eller flere grupper. Den ene av gruppene tilføres likestrømseffekt på en slik måte at de sider av de termoelektriske elementer som er koblet til de tilhørende metallhydrideleier oppvarmes for å frembringe hydrogen-desorpsjon derfra ved høyt trykk, samtidig som de motsatte sider av de termoelektriske elementer avkjøles for å absorbere varme fra varmeslukutstyret. På samme tid tilføres en annen gruppe av elementene likestrøm med motsatt polaritet, slik at de sider av de termoelektriske elementer som er koblet til tilhørende metallhydrideleier avkjøles for å frembringe hydrogenabsorpsjon i disse ved lavt trykk, samtidig som de motsatte sider av de termoelektriske elementer oppvarmes for å avgi varme til varmeslukutstyret. Denne driftsmodus reverseres periodisk ved å endre polariteten av likestrømmen tilført alle elementer, og ved å gjøre dette blir de tidligere oppvarmede metallhydrideleier nå avkjølt, hvilket frembringer lavtrykks hydrogenabsorpsjon, mens de tidligere metallhydrideleier samtidig oppvarmes, hvilket gir høytrykks hydrogen-desorpsjon derfra. Svitsjingen av gass-strømmene henholdsvis fra hydrogeninngangsledningen 33 til de avkjølte metallhydrideleier og fra de oppvarmede metallhydrideleier til hydrogenutgangsledningen 34 gjennomføres ved hjelp av et gassfordelingssystem 32, hvis bestemte konfigurasjon kan være et sett tilbakeslagsventiler som med gassrørledninger er riktig forbundet med hydrogeninngangsledningen 33 og -utgangsledningen 34, samt gassrørledninger 18 til metallhydridbeholderene.

Som det her tidligere er nevnt er kraftspredningen eller -tapet fra den varme side av et termoelektrisk element alltid større enn den kraft som absorberes av den kalde side av

det termoelektriske element. På samme tid fordrer både høytrykks/høytemperatur-desorpsjon og lavtrykks/lavtemperaturabsorpsjon at omtrent den samme mengde varme tilføres eller fjernes fra metallhydrideiet. Den høyere produktivitet for kompressoren i henhold til denne oppfinnelse kan derfor oppnås ved å øke effekten tilført de termoelektriske elementer som på et tidspunkt arbeider som avkjølere for tilknyttede metallhydrideier, sammenlignet med effekten tilført de termoelektriske elementer som på samme tid arbeider som oppvarmere for de tilhørende metallhydrideier. Alternativt vil reduksjon av effekten tilført de termoelektriske elementer som på et tidspunkt arbeider i den oppvarmende modus sammenlignet med effekten tilført de termoelektriske elementer som på samme tid arbeider i avkjølede modus, føre til en reduksjon i det totale kraftforbruk uten å senke kompressorens produktivitet. I tillegg kan effektbesparende drift oppnås ved i en periode å slå av de termoelektriske elementer som arbeider i den oppvarmende modus, før de svitsjes til avkjølede modus. Utgangs-/utladingsproduktiviteten faller da til null, samtidig som suge-/inngangsproduktiviteten ikke gjør det.

Driften av og ytelsen for kompressoren i henhold til foreliggende oppfinnelse sammenlignet med tidligere kjente tekniske løsninger er illustrert ved hjelp av eksemplene 1 og 2 nedenfor, idet eksempel 1 gjelder realisering av en tidligere kjent teknisk løsning, mens eksempel 2 beskriver driften av den foreslåtte løsning under de samme betingelser som i eksempel 1.

Eksempel 1

Det ble utført eksperimenter på et arrangement slik som skjematisk vist i fig. 4 og som omfatter to kompresjonsmodulbeholdere 1, 2 fremstilt av aluminium. Hver beholder (med en samlet vekt på 110 g) var utstyrt med en intern varmeveksler og ble lastet med 90 g AB₅-type hydrogenlagringslegering 1A, 1A og hermetisk lukket med en flens forbundet med en gassrørledning som sluttet i en kompresjonsmodulgassopsamler 1B, 2B. Bunnen i beholderene 1, 2 var termisk koblet til begge de to sider av Marlow XLT2385-03AC termoelektriske moduler 3 forbundet med en likestrømsforsyningsenhet 4 med mulighet for regulering av utgangseffekt og reversering av dens polaritet. Et sådant opplegg tilsvarer den tidligere kjente tekniske løsning¹¹. For å frembringe de samme effektforsyningsbetingelser som for prøven med den foreslåtte løsning (eksempel 2), ble det i eksempel 1 også benyttet to termoelektriske moduler koblet i sekvens, både termisk og elektrisk. Temperaturen på bunnen av beholderene T1, T2 ble overvåket ved å bruke termoelementer av K-type. Varmesluket var forsynt med en vifte 5, mens omgivelsestemperaturen var omtrent 25°C.

Gassoppsamlerene 1B, 2B for kompresjonsmodulene 1, 2 var via tilbakeslagsventiler 6 (piler angir gass-strømretningen) forbundet med inngangs- og utgangsgassoppsamlere 7 og 8, som utgjør kompressorens gassfordelingssystem. Ledningen for tilførsel av lavtrykkshydrogen forbundet med inngangssopsamleren 7 inneholder en hydrogensylinder 9 og en reduksjonsenhet 10 som gjør det mulig å innstille inngangstrykket P_L . Sistnevnte ble overvåket ved å bruke en lavtrykksføler 11. Utgangssopsamleren 8 var forbundet med en høytrykks hydrogenmottager 12. Utgangstrykket P_H ble overvåket ved hjelp av en trykkløser 13. Utgangsproduktiviteten Q ble beregnet ut fra tidsavhengigheten for P_H , det samlede volum ($\sim 3,5$ l) og høytrykkshydrogenmottagerens temperatur ved å bruke standardprosedyren ved volumetrisk databehandling.

Prøvebetingelsene var som følger: Det lave hydrogentrykk (sugetrykket) ble holdt ved et nivå på $P_L = 10$ bar, den samlede likestrømseffekt som ble tilført begge de termoelektriske moduler var 130 – 160 W (30 – 35% av merkeverdien), effekten tilført begge de termoelektriske moduler var lik (siden de er koblet i serie). Når temperaturen på den varme side av en modul T1 eller T2 nærmet seg 100°C , ble i tillegg driftssyklusen avbrutt etterfulgt av reversering av polariteten. Det sistnevnte ble gjort for å unngå overoppheting av de termoelektriske moduler som har en øvre tillatt grense for deres temperatur på den varme side ($\sim 130^\circ\text{C}$).

Prøveresultatene er presentert i fig. 5A,B som viser tidsavhengigheten for utgangstrykket P_H (bar) utgangsproduktiviteten Q (L_{H_2}/min , redusert til normalbetingelser) (fig. 5A), så vel som temperaturer T1 og T2 ($^\circ\text{C}$) på bunnen av metallhydridbeholderne (fig. 5B).

Resultatene viser at under driftsbetingelser ble det største hydrogentrykk i mottageren som ble oppnådd under prøvene ($P_{H/\text{MAX}}=40$ bar), nådd etter 120 minutter, hvilket tilsvarer åtte komplette oppvarmings/avkjølingscykluser for hver metallhydridbeholder. Kompressorens gjennomsnittlige avgitte produktivitet avtar gradvis under driften. Til tross for tvungen luftavkjøling ble det allerede etter første syklus observert en vesentlig økning i de termoelektriske modulers/metallhydridkontegnernes gjennomsnittlige temperatur. De etablerte verdier av den minste kaldsidetemperatur ($T_{L/\text{MIN}}$) og kompressoren gjennomsnittlige temperatur var henholdsvis 40°C og 60°C . Som allerede bemerket var den høyeste varmesidetemperatur $T_{H/\text{MAX}}=100^\circ\text{C}$, hvorved den største temperaturforskjellen mellom kompressorens kalde og varme sider var $(T_H-T_L)_{\text{MAX}}\sim 60$ grader.

Senkning av inngangstrykkverdien ($P_L < 10$ bar) førte til en krapp økning av kompressorens produktivitet, og dette kan forklares med en for høy verdi av dens kaldside-

temperatur, $T_L > 40^\circ\text{C}$. Økning av tilført effekt førte til rask overoppheting av den varme side og senkning av produktiviteten i påfølgende sykluser, på grunn av reduksjon i metallhydridets reversible hydrogenkapasitet i beholderene.

5 Eksempel 2

Et modifisert prøvearrangement er vist i fig. 6. Det ble benyttet de samme bestanddeler som i eksempel 1 (fig. 4) og derfor er duplisert omtale utelatt.

Til forskjell fra eksempel 1 ble varmesluket anordnet i form av en spesiell vannavkjølt varmeslukplate (fig. 6, gjenstand 5) hvor både metallhydridbeholderene og de termoelektriske moduler var installert. Som i eksempel 1 ble de termoelektriske moduler tilført effekt fra en effektforsyningsenhet 4 og elektrisk koblet i serie, men i foreliggende tilfelle, med motsatt polaritet. Det opplegg som ble benyttet (fig. 6) er en av de varianter av realiseringen av løsningen foreslått med denne oppfinnelse og som har identiske felles komponenter, slik som en realisering i henhold til den tidligere kjente tekniske løsning (eksempel 1). Videre ble de samme driftsparametre som i eksempel 1, innbefattet den elektriske effekt tilført de termoelektriske moduler, beholdt. Den eneste forskjell med hensyn til driften var at i dette eksempel ble svitsjingen mellom oppvarmings- og avkjølingsmodus (reversering av polariteten) utført når utgangsproduktiviteten falt til null, siden i det foreliggende tilfelle, ble overoppheting av de termoelektriske moduler over 100°C ikke observert under operasjonen.

Prøveresultatene er presentert i fig. 7A,B, tilsvarende eksempel 1 (fig. 5). Som det kan sees ble det største hydrogentrykk i mottageren ($P_{H/MAX}=40$ bar) også oppnådd i løpet av 120 minutter, men ved bruk av bare 6 komplette oppvarmings-/avkjølingscykluser. Kompressoren kjennetegnes ved stabil drift over lang tid og dens avgitte produktivitet synker i en mindre grad enn i eksempel 1. Den etablerte verdi av den minste kalde side-temperatur er $T_{L/MIN}=-10 \dots -5^\circ\text{C}$. Den største temperaturforskjell mellom kompressorens kalde og varme side under drift var $(T_H-T_L)_{MAX}\sim 90$ grader.

Senkning av inngangstrykkverdien ($P_L < 10$ bar) førte til en gradvis senkning av kompressorens produktivitet, men senkningen er mye mindre enn for tilfellet beskrevet i eksempel 1. Selv ved $P_L \sim 1$ bar ble hydrogenkompresjon observert på grunn av den forholdsvis lave kalde sidetemperatur. Økning av tilført effekt førte til forkortelse av syklustiden og i sin tur en økning i den totale produktivitet.

Fig. 8 viser en sammenligning mellom henholdsvis de største produktiviteter for kompressoren i henhold til tidligere kjente løsninger og foreliggende oppfinnelse drevet

under de samme betingelser. Det viser seg at foreliggende oppfinnelse gir høyere utgangsproduktivitet, særlig ved lave uttømmingstrykk. Videre gir foreliggende oppfinnelse en lavere temperatur på den kalde side og en større temperaturforskjell ($T_H - T_L$), hvilket i sin tid gjør det mulig å drive ved lavere sugetrykk og frembringe høyere kompresjonsforhold.

Den asymmetriske forvaltning av varme med mulighet for et varmesluk ved middels temperaturnivå realisert med denne oppfinnelse, sørger også for selvbalsnering med hensyn til varme i metallhydridkompressoren drevet ved hjelp av termoelektriske elementer. Dette arrangement fører til jevne termiske betingelser og følgelig stabil langtidsdrift. På grunn av selvbalsneringen kjennetegnes kompressoren dessuten av fleksibilitet med hensyn til regulering, hvilket åpner for bruk av asymmetrisk effektforsyning, hvilket betyr at mindre effekt kan tilføres de termoelektriske moduler som varmer opp metallhydridleiet enn dem som frembringer avkjøling. Dette gjør det mulig enten å øke kompressorens produktivitet ved å øke effekten tilført de avkjølede termoelektriske moduler eller senke effektforbruket ved å minske effekten tilført de oppvarmende moduler (selv til null ved slutten av operasjonssyklusen når hydrogen allerede er frigjort fra det oppvarmede metallhydridleiet, men ikke ennå er fullstendig absorbert i det avkjølte leie).

TABELL OVER REFERANSER

- 1 R.H. Wiswall, J.J. Reilly, Jr.: *Method of storing hydrogen*, US Patent No. 3 516 263 (1970)
- 2 J.J. Reilly, A. Holtz and R.H. Wiswall: *A new laboratory gas circulation pump for intermediate pressures*, Rev. Sci. Instr., 42, 1985 (1971)
- 3 J.P. Powell, F.J. Salzano: *Hydride compressor*, US Patent No. 4 085 590 (1978)
- 4 P.M. Golben: *Hydrogen compressor*, US Patent No. 4 505 120 (1985)
- 5 P.M. Golben, M.J. Rosso, Jr.: *Hydrogen compressor*, US Patent No. 4 402 187 (1983)
- 6 V.Z. Mordkovich, Yu.K. Baichtok, M.Kh. Sosna, N.V. Dudakova, N.N. Korostyshevsky: *Efficiency analysis for use of intermetallic compounds in hydrogen isolation and compression*, Teoreticheskie Osnovy Khimicheskoi tekhnologii (Foundations of Chemical Technology), 24, No.6 (1990) 769 - 774 (Translated into English by Plenum Publishing Corporation, 1991)
- 7 Y.A. Çengel, M.A. Boles: *Thermodynamics: An engineering approach*, McGraw Hill, 1998
- 8 Yu.F. Shmal'ko, A.I. Ivanovsky, M.V. Lototsky, V.I. Kolosov, D.V. Volosnikov: *Sample pilot plant of industrial metal-hydride compressor*, International Journal of Hydrogen Energy 24 (1999) 645 - 648
- 9 C.Halene: *Method and apparatus for compressing hydrogen gas*, US Patent No. 4 995 235 (1991)
- 10 V.A. Vasin: *Non-delay thermal sorption compressors for autonomous supply of actuators of the controlled resilience for the functional mechanisms of high-vacuum facilities*, 6th R&D Conference "Vacuum Science and Technology", Gurzuf, October 1999, p.33 - 34 (in Russian)
- 11 M.J. Rosso, Jr.: *Hydride-thermoelectric pneumatic actuation system*, US Patent No. 6 128 904 (2000)
- 12 Marlow Industries, Inc., www.marlow.com

LISTE OVER HENVISNINGSTALL**I fig. 1:**

- 11 - 13 – første gruppe kompresjonsmoduler
- 14 - 16 – andre gruppe kompresjonsmoduler
- 17 – metallhydrideleie (MH)
- 18 – metallhydridbeholder
- 21 – reversibelt varmepumpesystem (RHP)
- 22 – lavtemperatur (LT) avkjølede/høytemperatur (HT) oppvarmende side av RHP
- 23 – HT/LT-side av RHP
- 24 – middeltemperatur (MT) varmeslukt side av RHP
- 25 – effektinngang til varmepumpe
- 26 – fjerning/tilførsel av varme til siden 22 av RHP
- 27 – tilførsel/fjerning av varme fra side 23 av RHP
- 28 – varrefjerning fra RHP
- 31 – gassrørledning
- 32 – gassfordelingssystem
- 33 – inngangsrørledning
- 34 – utgangsrørledning
- 35 – lavtrykks hydrogenstrømning
- 36 – høytrykks hydrogenstrømning

LISTE OVER HENVISNINGSTALL (forts.)**I fig. 2:**

- 11 - 15 kompresjonsmoduler
- 17 - metallhydrideleie (MH)
- 18 - metallhydridbeholder
- 21 - termoelektrisk element (TE)
- 22 - lavtemperatur (LT, når +) avkjølings-/høytemperatur (HT når -) oppvarmingside av TE
- 23 - høytemperatur (HT når +) avkjølings-/lavtemperatur (LT, når -) oppvarmingside av TE
- 24 - varmeslukutstyr
- 31 - gassrørledning
- 32 - gassfordelingssystem:
- 33 - inngangsrørledning
- 34 - utgangsrørledning
- 35 - lavtrykks hydrogenstrømninger
- 36 - høytrykks hydrogenstrømninger
- 37 - gassoppsamlere
- 38 - tilbakeslagsventiler
- 39 - rørledninger
- 25 - effektforsyning/styringsblokk
- 26 - fjerning/tilførsel av varme til side B av TE
- 27 - tilførsel/fjerning av varme fra side C av TE
- 28 - fjerning av varme

PATENTKRAV

1. Kontinuerlig drevet hydrogenprosessor som omfatter to eller flere kompresjonsmoduler (11 - 16), idet hver har en metallhydridbeholder (18) med metallhydridleiet (17) termisk koblet til en oppvarmende eller en avkjølede side (22, 23) av en av to eller flere reversible varmepumpesystemer, slik at i det minste en modul (11 - 13) absorberer hydrogen ved lavt trykk når den avkjøles, mens i det minste en annen modul (14 - 16) desorberer hydrogen ved et høyere trykk når den oppvarmes, og som i tillegg omfatter en varmeslukside (24) ved middels temperatur, idet hver av nevnte metallhydridbeholdere via en rørledning (31) er forbundet med et gassfordelings-system (32) som omfatter rørledninger (33, 34) for tilførsel av lavtrykkshydrogen og avgivelse av høytrykkshydrogen, gassoppsamlere, tilbakeslagsventiler og forbindende rørledninger,
- k a r a k t e r i s e r t v e d at det reversible varmepumpesystem omfatter et sett på to eller flere termoelektriske elementer (21), hvor en av to sider på hvert nevnte termoelektriske element er termisk koblet til nevnte metallhydridleie i en av nevnte kompresjonsmoduler, mens den annen side av hvert nevnte termoelektriske element er termisk koblet til et varmeslukutstyr (24) som sørger for kontinuerlig fjerning av varme under bruk.
2. Kompressor som angitt i krav 1, og som videre omfatter en likestrømseffektforsyning (25), idet et termoelektrisk element (21) i hvert sett av nevnte termoelektriske elementer er forbundet med likestrømseffektforsyningen med direkte polaritet, mens et annen av de termoelektriske elementer (21) i settet er forbundet med likestrømseffektforsyningen med reversert polaritet.
3. Fremgangsmåte ved drift av en kompressor som angitt i krav 1, idet fremgangsmåten omfatter trinn hvor en avkjølede/oppvarmende side av nevnte varmepumpesystem drives ved lavt temperaturnivå for å frembringe fjerning av varme fra metallhydridleiet koblet til denne side, og som stimulerer absorpsjon av lavtrykkshydrogen i dette, mens den annen avkjølede/oppvarmende side av nevnte varmepumpesystem drives ved høyere temperaturnivå for å sørge for tilførsel av varme til metallhydridleiet koblet til denne side og som stimulerer desorpsjon av høytrykkshydrogen fra dette, og hvor overskytende varme fjernes på et midlere temperaturnivå fra nevnte varmeslukside på midlere temperaturnivå i varmepumpesystemet,
- k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten omfatter et trinn som får den effekt som tilføres de termoelektriske elementer som på et tidspunkt arbeider som avkjølere for tilhørende metallhydridleier, til å bli lik eller høyere enn den effekt som tilføres de

termoelektriske elementer som på samme tid arbeider som oppvarmere for de tilhørende metallhydrideier.

4. Fremgangsmåte som angitt i krav 3, og som videre omfatter at konfigurasjonen av kompressoren reverseres periodisk ved at driften av den avkjølende/oppvarmende side av nevnte varmepumpesystem endres fra å fjerne varme ved lavt temperaturnivå til å tilføre varme ved høyere temperaturnivå, og omvendt, og mens dette pågår realiseres fortsatt fjerning av overskytende varme på middels temperaturnivå fra nevnte varmesluktside ved middels temperatur i varmepumpesystemet.
5. Fremgangsmåte som angitt i krav 4, og som videre omfatter trinn hvor konfigurasjonen av kompressoren realiseres ved å reversere polariteten av likestrøms-effekten tilført de termoelektriske elementer.
6. Fremgangsmåte som angitt i krav 5, og som videre omfatter trinn hvor det ikke tilføres effekt til de termoelektriske elementer som skal svitsjes fra oppvarming til avkjøling av de tilhørende metallhydrideier, forut for reversering av polariteten av den tilførte likestrømseffekt.
7. Fremgangsmåte som angitt i krav 6, og som videre omfatter trinn hvor varigheten av et avbrudd i effektforsyningen forut for reversering av polaritet synkroniseres med en endring i kompressorens produktivitet.

* * * * *

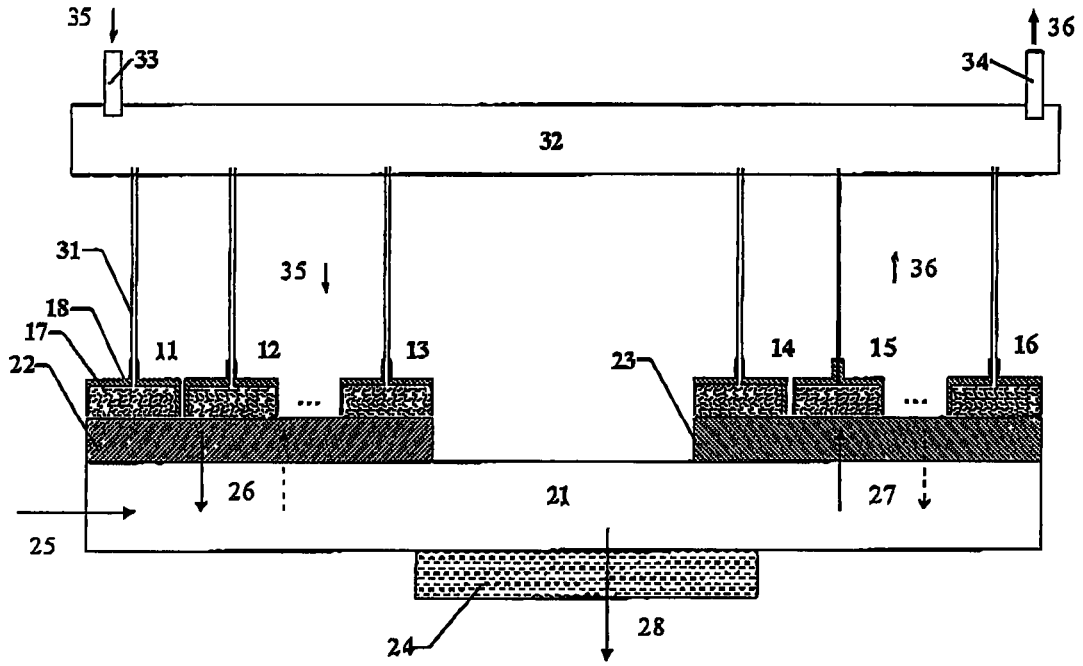


Fig. 1

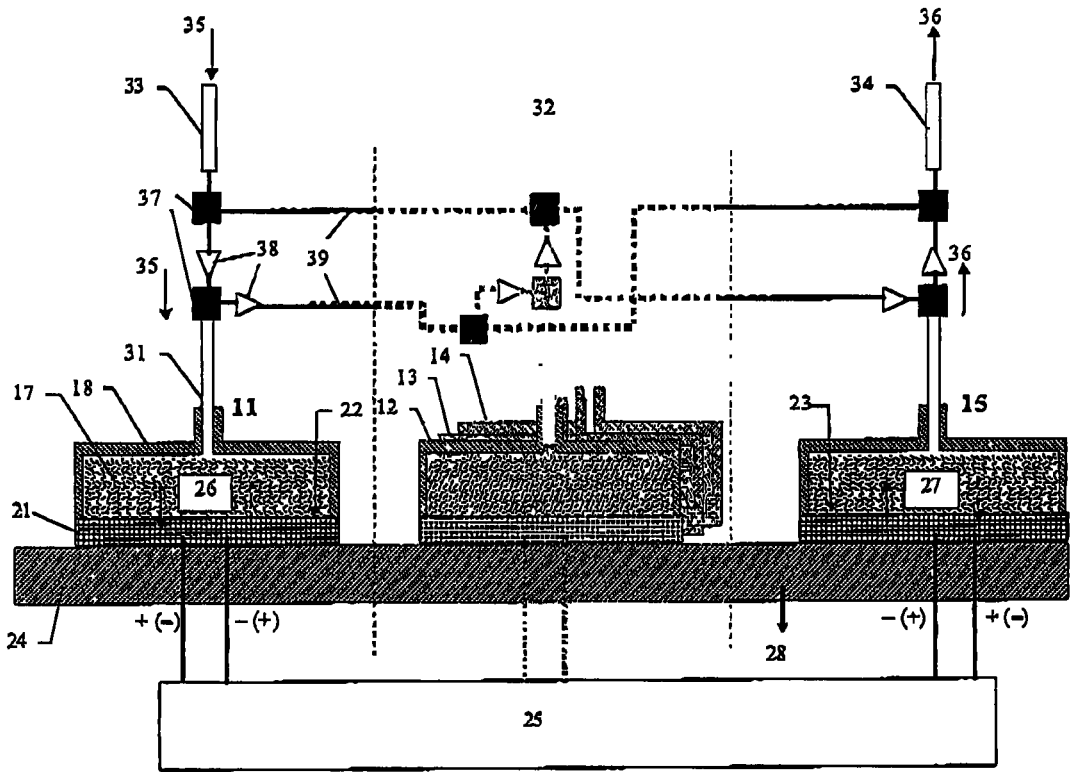


Fig. 2

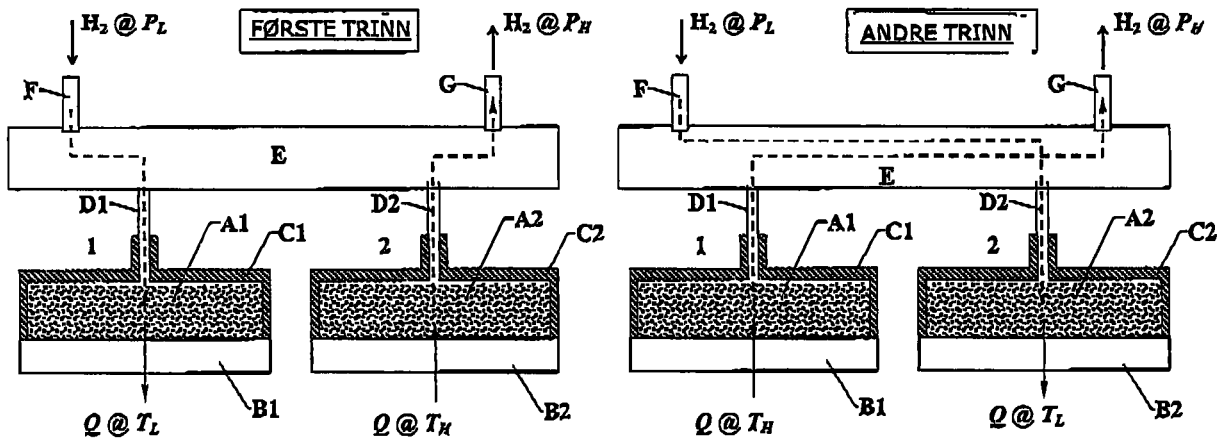


Fig. 3

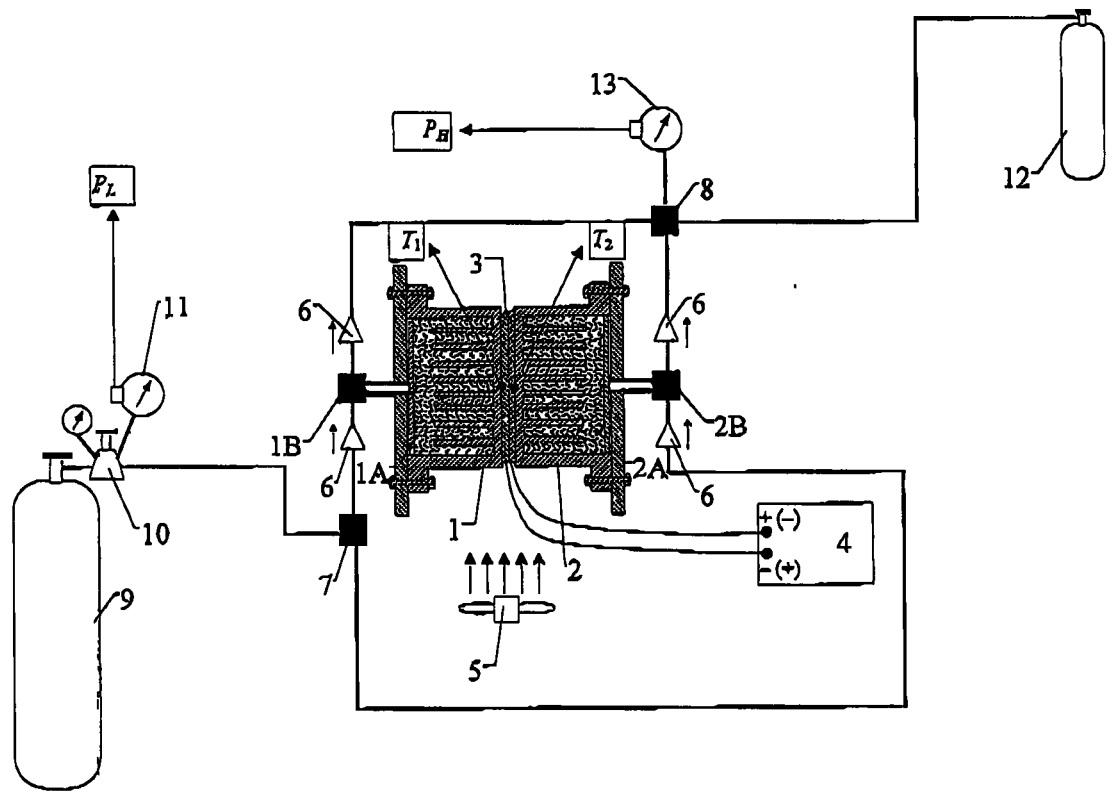


Fig. 4

4 / 7

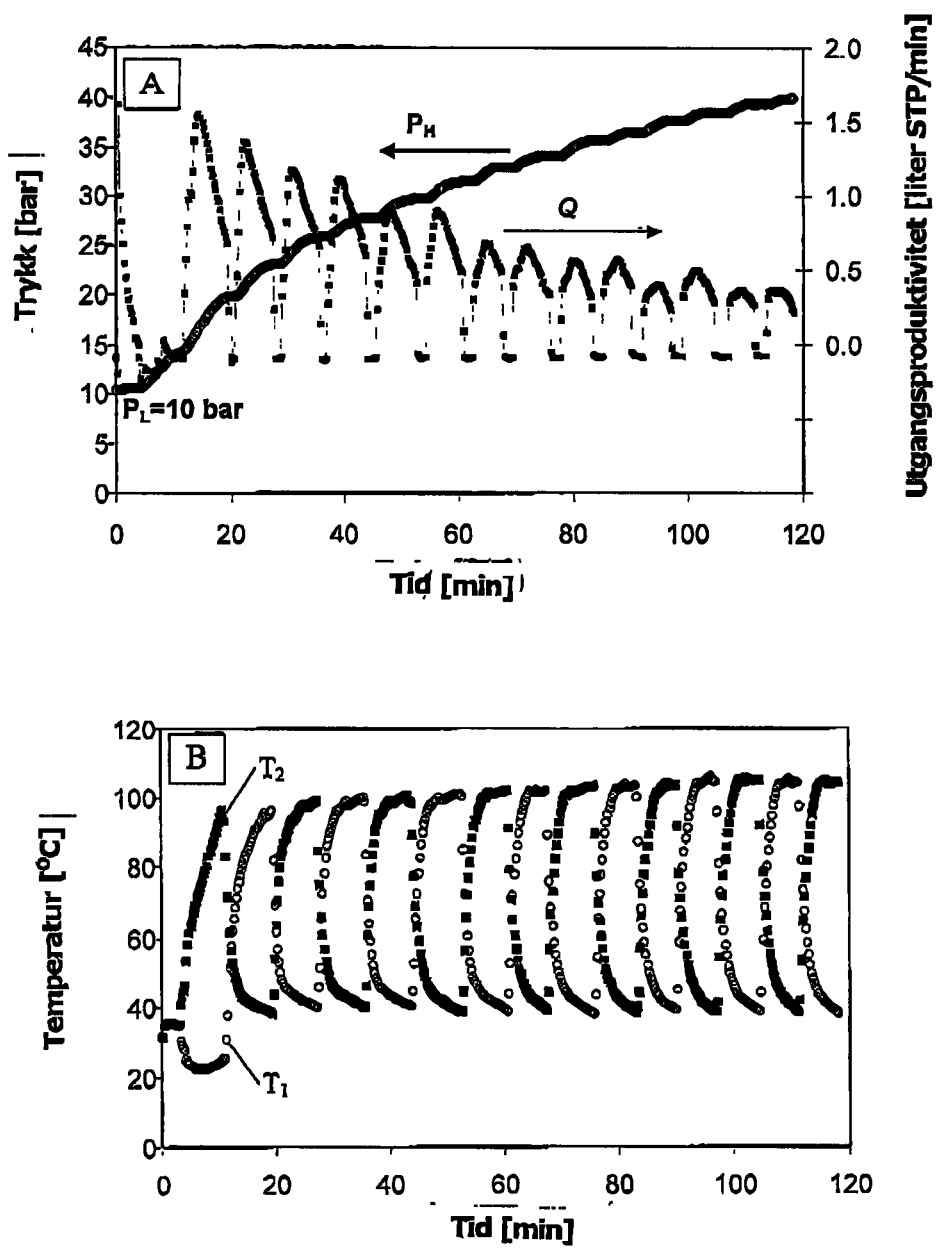


Fig. 5

517

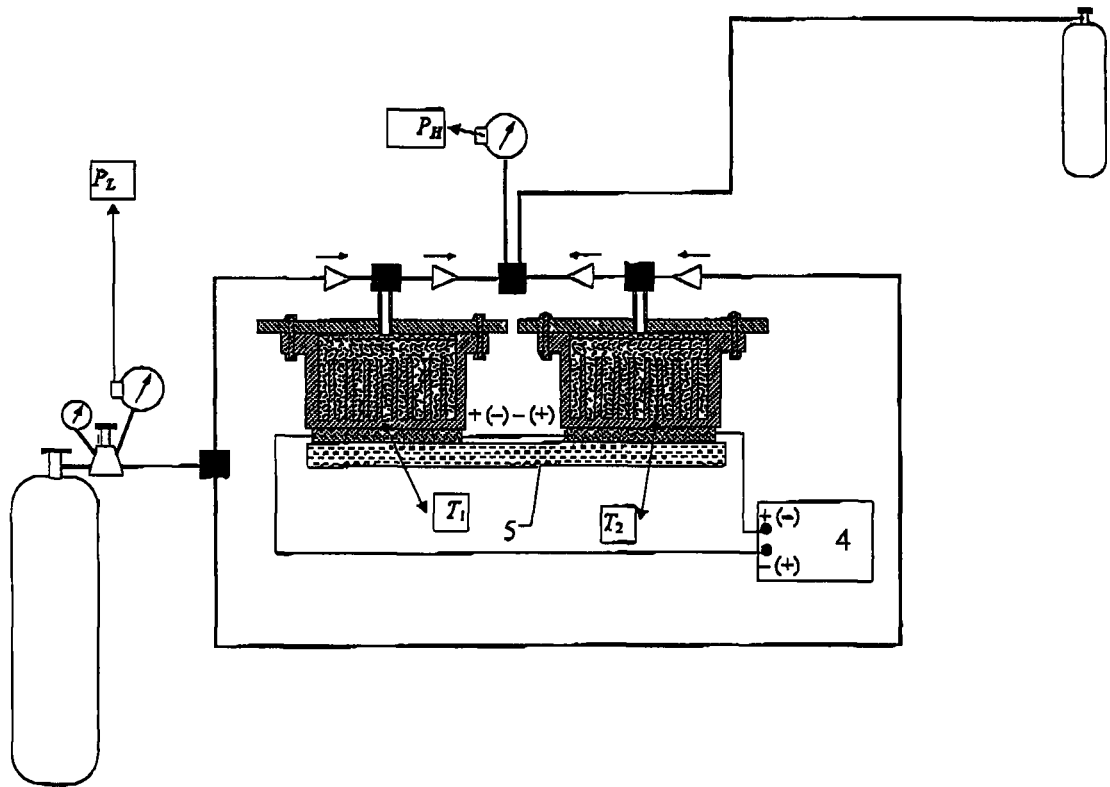


Fig. 6

6/7

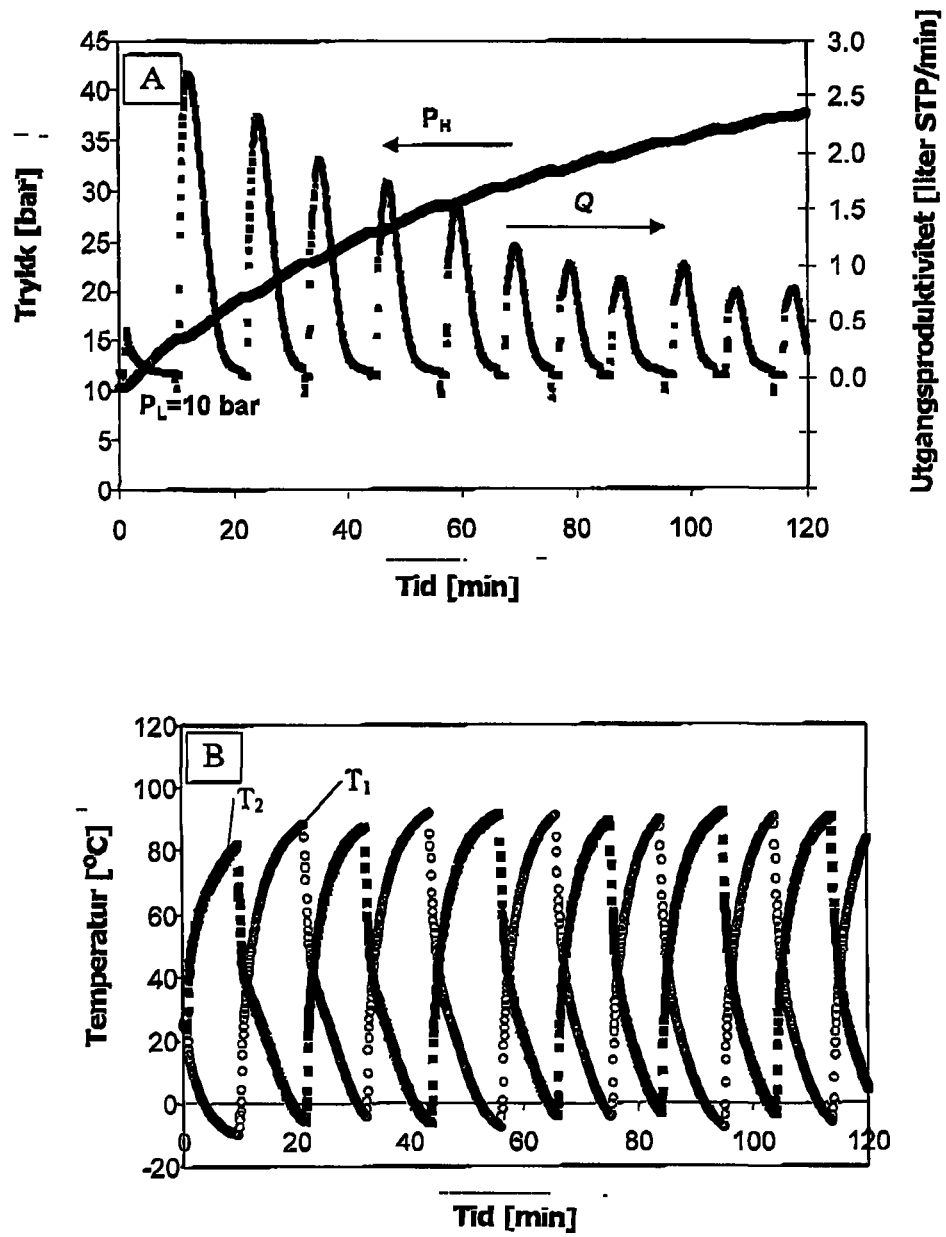


Fig. 7

717

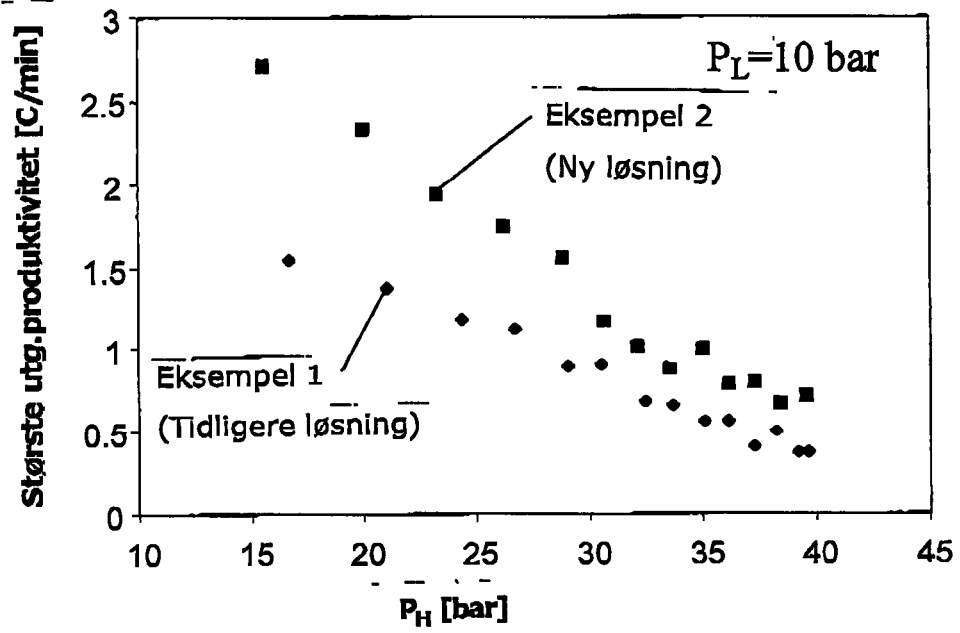


Fig. 8