(19) DANMARK (11) **DK 173660 B1**

(12) PATENTSKRIFT

Patent- og
Varemærkestyrelsen

(51) Int.Cl⁷.: **F 03 B 13/18**

(21) Patentansøgning nr: **PA 1999 00699**

(22) Indleveringsdag: **1999-05-20**

(24) Løbedag: **1999-05-20**

(41) Alm. tilgængelig: **2000-11-21**

(45) Patentets meddelelse bkg. den: **2001-05-28**

(73) Patenthaver: **Dansk Maritimt Institut, Hjortekærsvej 99, 2800 Lyngby, Danmark**

(72) Opfinder: **Leif Wagner Smitt, Danmarksvej 40 A, 2800 Lyngby, Danmark**

(54) Benævnelse: **Anlæg for konvertering af bølgeenergi til brugbar energi**

(56) Fremdragne publikationer:
Ingen

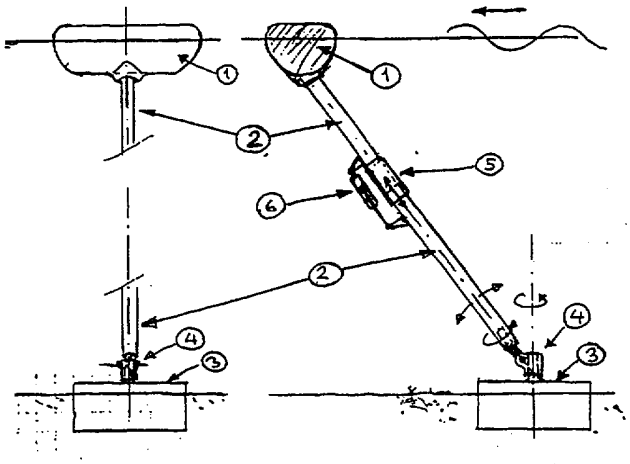
(57) Sammendrag:

Systemet er især for lokaliteter, hvor vanddybden er nogle gange større end de største bølgeamplituder, og hvor bølgeenergi kan komme fra mange retninger.

Systemet består af en flyder (1) forbundet med et anker (3) via en mast (2). En føringsanordning (5) giver flyderen frihed til at bevæge sig aksielt i forhold til ankeret, og en energikonverter (6) dæmper bølgegenererede aksielle bevægelser og konverterer dæmpningsenergien til en energiform, der kan føres videre.

Det karakteristiske ved opfindelsen er, at forbindelsen mellem mast og anker er et universalled (4), og at masten er så lang, at ligevægt opnås med en del af flyderen over vandet med masten i en skrå stilling.

Herved opnås, at systemet selv svajer rundt og får optimal retning i forhold til bølgeudbredelsesretningen, selv kompenserer for tidevandsvariationer, at energien kan føres sikkert til en ledning på havbunden, og at flyderen kan gives størst dimension på tværs af bølgeudbredelsesretningen, så en bredere bølgefront udnyttes.



Tegning 1

Opfindelsen angår et system for konvertering af bølgeenergi til brugbar energi. Systemet er af den type, der især udnytter bølgeenergien ved dæmpning af en flyders bølgegenererede aksielle bevægelse i forhold til et anker på havbunden, som flyderen er forbundet med via en mast, og hvor dæmpningsenergien konverteres til en anden energiform, der kan føres videre. Systemet er fortrinsvis beregnet for anvendelse på lokaliteter, hvor vanddybden er nogle gange større end de størst forekommende bølgeamplituder og mindst nogle gange større end de størst forekommende tidevandsvariationer, samt så langt fra land at udnytbar bølgeenergi kan komme fra mange retninger. Mellem flyderen og ankeret findes en med masten fastforbundet føringsanordning af konventionel art, der giver flyderen og den del af masten, der er over nævnte føringsanordning, frihed til at bevæge sig, hovedsagelig aksielt, i forhold til den del af masten, der er under nævnte føringsanordning og dermed i forhold til ankeret, og i tilslutning til nævnte føringsanordning, en energikonverteringsanordning af konventionel art, der begrænser og dæmper nævnte bevægelse, optager eventuelle aksielle middelkræfter og omdanner en væsentlig del af dæmpningsenergien til en anden energiform der kan føres videre.

Systemet udnytter et velkendt hovedprincip for konvertering af bølgeenergi til brugbar energi, som består i, at et flydende legemes bølgegenererede bevægelser i forhold til et andet legeme eller et anker på havbunden dæmpes med en anordning, som omdanner en væsentlig del af dæmpningsenergien til en anden energiform, f.eks. hydraulisk, pneumatisk eller elektrisk energi, der kan føres videre.

En række systemer, der udnytter nævnte princip har været foreslået.

Et enkelt system består af en flyder, som er aksesymmetrisk om en lodret akse og forbundet med et anker på havbunden via en stram line. Et sted mellem flyder og anker er indsat en dæmpnings/konverterings anordning, der giver flyderen frihed til aksiel bevægelse i forhold til ankeret, dæmper denne bevægelse og konverterer dæmpningsenergien til en anden energiform for videreførsel. Fordele ved dette system er bl.a., at flyderen udgør en stor del af totalsystemet, hvilket reducerer prisen, og at systemet virker lige godt uanset bølgeretningen, samt at systemet let kan tilpasses steder med vidt forskellig vanddybde. Ulemper er, at kun den vertikale bevægelse udnyttes og at der med den aksesymmetriske udformning af flyderen ikke kan opfanges så meget energi, som der kan opfanges med en asymmetrisk flyder med samme volumen og dermed også nær samme pris, men med længst hoveddimension på tværs af bølgeudbredelsesretningen. Overførslen af den producerede energi til havbunden for videreførsel vil volde vanskeligheder, og hvis der forekommer større tidevandsvariationer på lokaliteten, kompliceres systemet væsentligt.

Andre systemer har flyderen forbundet med et stift bundfast tårn. Herved bliver det muligt at udnytte såvel lodrette som andre bevægelser og det bliver lettere at føre energien til havbunden, men større tidevandsvariationer kræver stadig særlige foranstaltninger og tårnet må kunne overleve de voldsomme belastninger i ekstreme bølger, som især medfører store bøjningsmomenter ved havbunden. Tårnet vil

derfor udgøre en væsentlig og dyr del af det samlede system. Da momenterne ved havbunden vokser proportionalt med vanddybden, vil tårnets pris vokse meget kraftigt med vanddybden, og disse anlæg er derfor kun interessante på steder med beskeden vanddybde.

En anden type anlæg, der udnytter ovennævnte hovedprincip, består af flere forbundne flydende legemer med et fælles blødt forankringssystem. Disse anlæg udnytter den relative bevægelse mellem legemerne ved energikonverteringen. En fordel ved sådanne anlæg er, at de kan udformes så hele systemet under påvirkning af bølger svajer rundt omkring en lodret akse gennem ankeret, og dermed antager den for energiproduktionen gunstigste vinkel i forhold til bølgeudbredelsesretningen. Systemet er ufølsomt for langsomme vandstandsvariationer og kan let tilpasses en lokalitet med en anden vanddybde. Ulemper er, at disse systemer må være store for at udnytte mellemlange bølger godt, og næsten ikke kan udnytte lange bølger, som nok giver store flytninger af det samlede system, men kun små relative bevægelser mellem legemerne, samt at det er vanskeligt at føre den producerede energi videre på grund af risikoen for at kraftledningen vil sno sig om ankerlinen/kæden.

Endelig skal nævnes nogle publicerede teoretiske beregninger (*David Pizer: "Numerical Modelling of Wave Energy Absorbers", Edinburgh Wave Power Project, Numerical Models, University of Edinburgh, September 1994)*, som har vist, at såfremt kun een bølgegenereret relativ bevægelse af en flyder i forhold til et punkt udnyttes ved energiproduktionen, vil det i et meget relevant bølgefrekvensområde (svarende til bølgeperioder mellem 5 og 9 sekunder, et område indenfor hvilket størstedelen af den til rådighedværende bølgeenergi i bl.a. Nordsøen findes) være fordelagtigt at udnytte en skrå bevægelse hvor legemet under sin opadgående bevægelse samtidig bevæger sig i bølgeudbredelsens retning.

Ved nærværende opfindelse tilvejebringes et bølgeenergikonverteringssystem efter det i indledningen nævnte hovedprincip, der selv antager den gunstigste orientering i forhold til bølgeudbredelsesretningen, selv passivt kompenserer for tidevandsvariation og andre langsomme vandstandsændringer stort set uden at effektiviteten påvirkes, udnytter både korte og mellemlange bølger rimelig effektivt, udnytter en skrå flyderbevægelse hvilket ofte vil være bedre end det vil være at udnytte enten en lodret eller en vandret bevægelse, hvor det vil være let at overføre den producerede energi på en sikker måde fra anlægget til en kraftledning på havbunden, og som billigt og enkelt kan modificeres for anvendelse på en anden vanddybde, hvilket gør systemet kosteffektivt i forhold til mange andre systemer.

Det karakteristiske for opfindelsen er, at forbindelsen mellem masten og ankeret udgøres af et universalled, der giver mast og flyder frihed til samlet at svaje rundt omkring en lodret akse gennem ankeret, masten frihed til vippe omkring en vandret akse og masten frihed til at rotere om sin egen akse, samt ved at masten er så lang og flyderens opdrift så stor, at hydrostatisk ligevægt for systemet opnås med en del af flyderen over vandet, samtidig med at mastens akse danner en spids vinkel med vandret plan, d.v.s. indtager en skrå stilling i forhold til vandret plan. Endelig ved at flyderen er udformet så den, for systemet i nævnte hydrostatiske ligevægtsstilling,

har et lodret symmetriplan sammenfaldende med det lodrette plan gennem mastens længdeakse.

Når systemet udsættes for bølger med en given udbredelsesretning, vil det på grund af bølgedriftkræfter søge at drive i bølgeudbredelsens retning, men da mastens fod er forbundet til ankeret og hele det øvrige system befinder sig ensidigt i forhold til den lodrette akse gennem ankeret, om hvilket systemet kan svaje, vil det i stedet svaje rundt indtil det ligger i bølgeudbredelsesretningen i forhold til nævnte akse. Det vil samtidig være den orientering, der medfører de største bølgegenererede aksielle bevægelser af flyderen i forhold til ankeret, og dermed størst energiproduktion, idet bølgernes orbitalbevægelser vil være parallelle med systemets symmetriplan og deres hovedakser derfor have størst projektion i nævnte plan, og bølgepåvirkningen på hver side af flyderens symmetriplan vil være i fase.

Når systemet ligger i nævnte optimale orientering vil 2-dimensionale bølger, d.v.s. bølger uden retningsspredning, fortrinsvis give anledning til aksielle kræfter i masten, men der vil også optræde bøjningsmomenter i masten, beliggende i det lodrette hovedplan gennem mastens længdeakse, nemlig momenter overført mellem flyder og mast, momenter som skyldes bølgernes direkte påvirkning af masten, samt momenter relateret til mastens egenvægt i vand og til inertikræfter. På grund af ledforbindelsen mellem masten og ankeret, som giver masten frihed til at vippe om en vandret akse vinkelret på mastens akse, vil momentet her være nul og momenterne i den nederste del af masten være stærkt reducerede i forhold til momenterne højere oppe. I 3-dimensionale bølger, d.v.s. bølger med retningsspredning, eller hvis systemet ikke er optimalt orienteret i forhold til bølgeudbredelsesretningen, vil der kunne optræde bøjningmomenter i det andet hovedplan gennem mastens akse på tværs af førnævnte plan, og vridende momenter om mastens længdeakse. Da masten ved ledforbindelsen til ankeret er fri til at rotere om sin egen længdeakse, vil vridningsmomenterne i hele mastens længde altid være meget små. Endelig vil den samlede virkning af de 3 rotationsfrihedsgrader ved ledforbindelsen mellem mast og anker, forudsat at mastens akse har tilpas spids vinkel med vandret plan, medføre at momentet også i nævnte andet hovedplan vil være nul eller nær nul ved ledforbindelsen og momenterne i den nederste del af masten derfor stærkt reducerede i forhold til momenterne højere oppe. Den nederste del af masten kan derfor gøres forholdsvis spinkel og dermed billig. Samtidig bliver det billigt at modificere totalsystemet for anvendelse på en lokalitet med en anden havdybde, idet kun længden af den billige nederste del af masten behøver ændres.

Da systemet selv antager den gunstigste orientering i forhold til bølgeudbredelsesretningen, kan flyderen, som nævnt i krav 2, udformes så den har sin længste hoveddimension på tværs af bølgeudbredelsesretnngen. Dermed vil flyderen rammes af en bredere bølgefront med mere energiindhold i end der er i en smallere bølgefront. For en flyder med givet volumen og dermed i nogen grad også pris, vil der derfor kunne produceres mere energi ved den nævnte udformning.

Andre af systemets fordele samt dets virkemåde i det hele taget, kan måske bedst forklares med reference til tegningerne.

Tegninger.

1. Eksempel på udførelse ifølge krav 1.
2. Alternativ udførelse af føringsanordningen ifølge krav 1.
3. Overførsel af energi til ledning på havbunden.
4. Kompensation for tidevandsvariation.

Tegning 1 illustrerer såvel principperne i systemet, som en mulig udførelsesform. Systemet består af en flyder (1), her fastforbundet med den øverste ende af en mast (2), hvis nederste ende er forbundet via et universalled (4) til et anker (3). Et sted langs masten er indskudt en konventionel aksialføringsmekanisme (5), der giver den øverste del af masten og dermed flyderen frihed til at bevæge sig aksielt i forhold til den nederste del af masten og dermed også i forhold til ankeret. En konventionel energikonverteringsanordning (6), her symboliseret ved en hydraulikcylinder, er fæstet til masten henholdsvis over og under nævnte føringsmekanisme, og begrænser og dæmper de aksielle bevægelser bølgers påvirkning af flyderen giver anledning til, optager eventuelle aksielle middelkræfter og konverterer en væsentlig del af dæmpningsenergien til en anden energiform, der kan føres videre ned langs masten. Det der kendetegner opfindelsen er dels universalleddet (4), som giver systemet bestående af flyder og mast frihed til samlet at svaje om en lodret akse gennem ankeret, masten frihed til at vippe om en vandret akse og masten frihed til at rotere om sin egen akse, endvidere at masten (2) er så lang og flyderens opdrift så stor, at hydrostatisk ligevægt for systemet opnås med en del af flyderen over vandet, samtidig med at masten står skråt i forhold til vandret plan, og endelig, at i nævnte ligevægtsstilling har flyderen et lodret symmetriplan sammenfaldende med det lodrette plan gennem mastens akse.

Tegning 1 illustrerer også krav 2, d.v.s. at flyderen har sin længste hoveddimension vinkelret på det lodrette plan hvori mastens akse befinder sig.

Tegning 2 viser en alternativ udførelsesform for føringsanordningen ifølge krav 1. I denne udførelse fås stadig frihed til en hovedsagelig aksiel bevægelse af flyderen i forhold til masten og dermed i forhold til ankeret, men de glidende eller rullende bevægelser typiske for rene aksialføringsmekanismer, er her afløst af roterende bevægelser i nogle ledforbindelser, hvilket muligvis vil være fordelagtigt i det barske miljø systemet skal arbejde i. Som vist på tegning 2 består denne udførelsesform af en med mastens øvre ende fastforbundet struktur (tegn.2, pos. 3), samt fire lige lange svingarme (tegn.2, pos. 4), som hver i den ene ende er drejbart forbundet med nævnte struktur og i den anden ende er drejbart forbundet med flyderen. Ledforbindelserne er arrangeret, så hver arm kun kan bevæge sig i et plan som er parallelt med mastens akse og så armene er parallelle og i udgangspunkt vinkelret på mastens akse. Den hovedsagelig aksielle bevægelse i forhold til masten, som flyderen kan få med dette system, begrænses, dæmpes og konverteres til en anden energiform med en energikonverteringsanordning (tegn.2, pos. 5) ifølge krav 1.

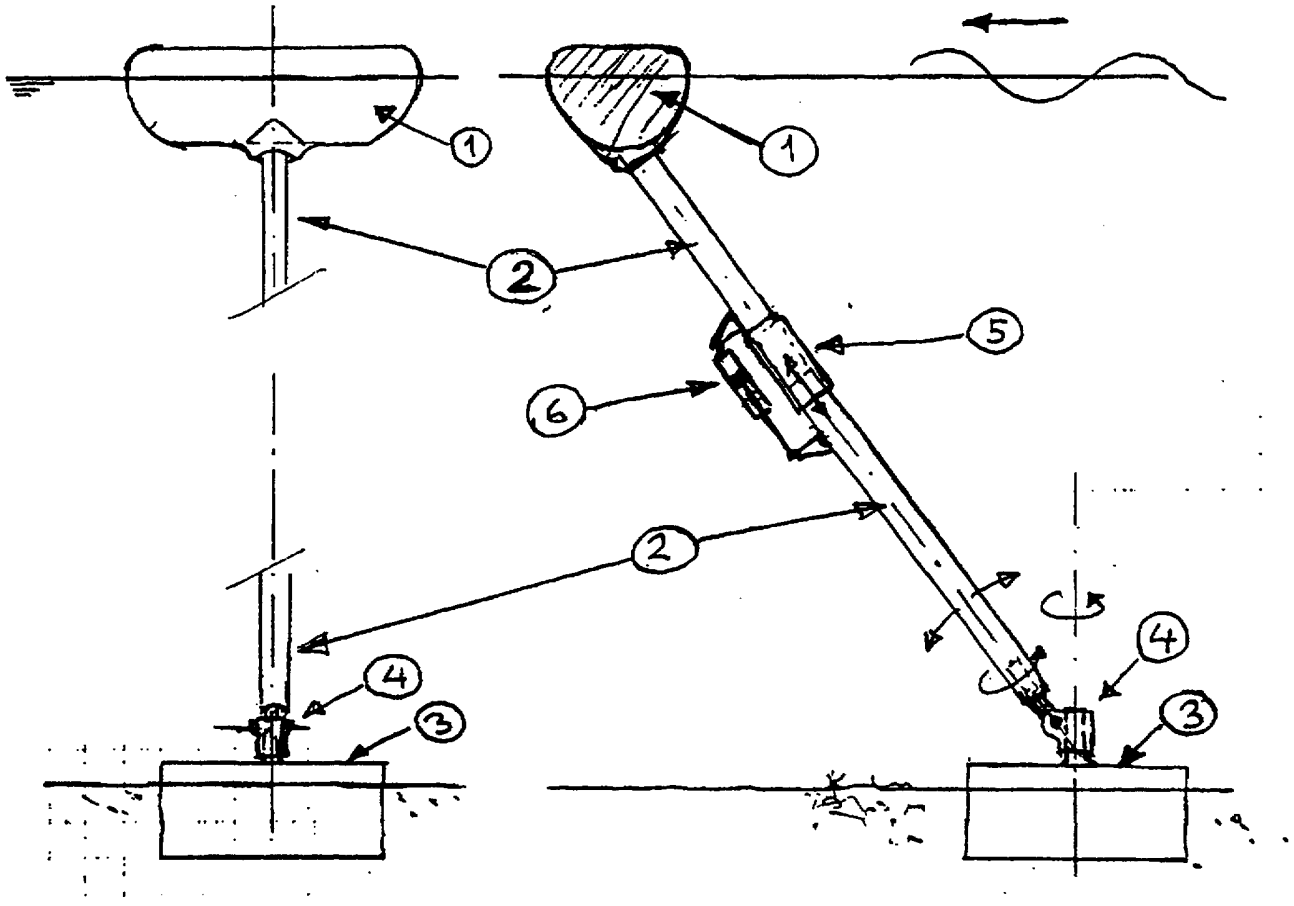
Tegning 3 viser hvordan den producerede energi kan føres videre til et søkabel på havbunden på en enkel og sikker måde. En ledning (eller slange, hvis der er tale om hydraulisk eller pneumatisk energi) sikkert forbundet med masten fører energien ned langs masten til et punkt nær mastens nedre ende. Herfra føres energien via en kort fleksibel ledning (eller slange) (tegn.3, pos. 5), og gennem en konventionel slipringsanordning (eller en drejeunion) (tegn.3, pos. 6), beregnet for brug i vand, og med akse sammenfaldende med universalleddets (tegn.3, pos. 4) lodrette drejeakse, videre gennem en rørført ledning (eller slange) ned i ankeret og ud igen til en samleanordning, som kan forbindes med et på havbunden liggende søkabel (tegn.3, pos. 7). Den fleksible ledning (slange) (tegn.3, pos. 5) kompenserer for vippende bevægelser af masten omkring universalleddets vandrette akse og for de (små) bevægelser der vil forekomme hvis masten ruller lidt om sin egen akse, mens slipringsanordningen (eller drejeunionen) tillader hele systemet at svaje ubegrænset om universalleddets lodrette akse.

Tegning 4 illustrerer hvorledes systemet kompenserer for tidevandsvariationer. Ved normal vandstand er vanddybden i eksemplet 30 m og afstanden fra den vandrette akse i universalleddet (tegn.4, pos. 4) til havoverfladen er 28.5 m , endvidere er mastens længde valgt så dens vinkel ved normal vandstand bliver 45 grader. Flyderens position ved normal vandstand er punkt A på tegningen. Ved højvande svarende til plus 3 m er flyderen løftet til punkt B og en enkel trigonometrisk beregning viser at mastens vinkel med vandret er ændret fra 45 grader til 51.2 grader. Ved lavvande svarende til minus 3 m, vil flyderen være i punkt C og mastens vinkel med vandret vil være 39.2 grader. Disse vinkelændringer på ca. plus/minus 6 grader, vil kun i ringe grad påvirke systemets virkningsgrad. Ved mange andre systemer vil tidevandsvariationer på bare plus/minus 1 til 1.5 m kræve særlige foranstaltninger.

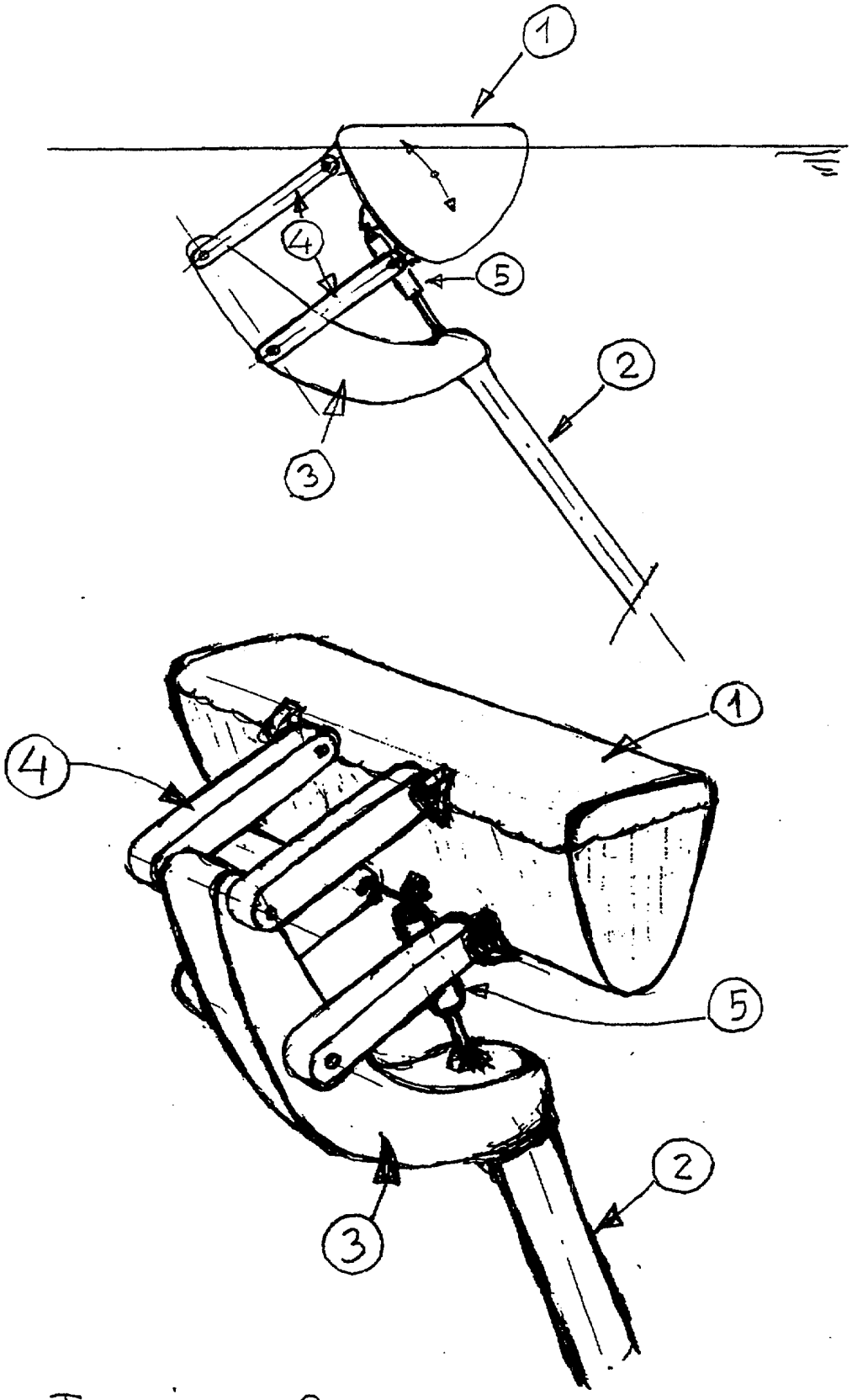
Patentkrav

1. Anlæg for konvertering af bølgeenergi til brugbar energi, hvor bølgeenergien især udnyttes ved dæmpning af den aksielle komposant af en flyders bølgegenererede bevægelser i forhold til et anker (3), som flyderen (1) er forbundet med via en mast (2),og hvor der mellem flyderen og ankeret findes en med masten forbundet føringsanordning af konventionel art (5), der giver flyderen og den del af masten, der er over nævnte føringsanordning frihed til sammen at bevæge sig hovedsagelig aksielt, i forhold til den del af masten der er under nævnte føringsanordning og dermed i forhold til ankeret, og i tilslutning til nævnte føringsanordning, en energikonverteringsanordning (6) af konventionel art, der begrænser og dæmper nævnte bevægelse, optager eventuelle aksielle middelkræfter og omdanner en væsentlig del af dæmpningsenergien til en anden energiform der kan føres videre, *kendetegnet* ved at forbindelsen mellem masten og ankeret udgøres af et universalled af konventionel art (4), der giver systemet bestående af mast og flyder frihed til samlet at svaje omkring en lodret akse gennem ankeret, masten frihed til at vippe omkring en vandret akse vinkelret på mastens akse, samt masten frihed til at rotere om sin egen akse, og ved at masten er så lang og flyderens opdrift så stor, at hydrostatisk ligevægt for systemet opnås med en del af flyderen over vandoverfladen, samtidig med, at mastens akse danner en spids vinkel med vandret plan, samt ved at flyderen er udformet så den, for systemet i nævnte hydrostatiske ligevægtsstilling, har et lodret symmetriplan sammenfaldende med det lodrette plan gennem mastens længdeakse.

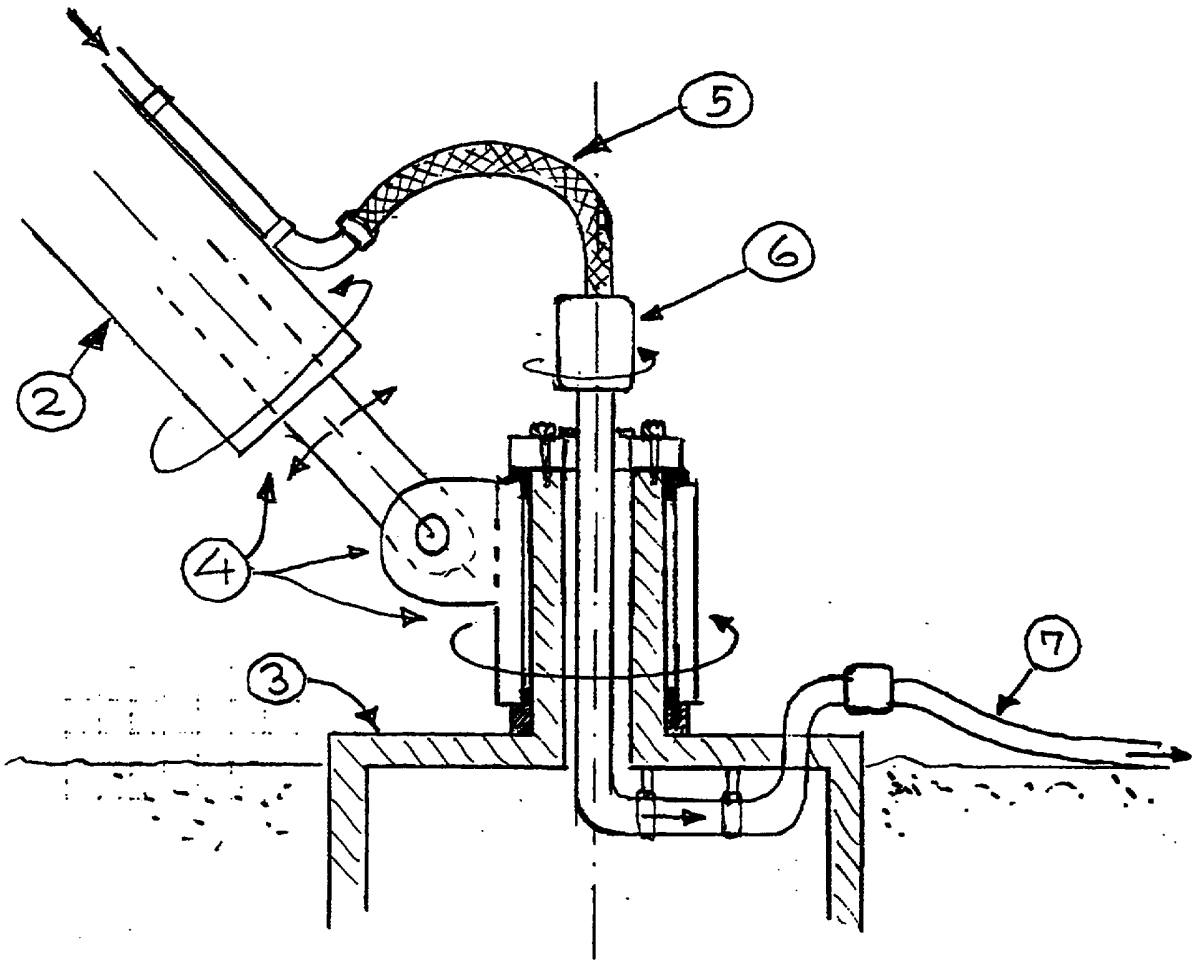
2. Anlæg for konvertering af bølgeenergi ifølge krav 1, *kendetegnet* ved, at flyderen (1) har sin længste hoveddimension vinkelret på det lodrette plan hvori mastens akse befinder sig, når systemet er i den i krav 1 nævnte hydrostatiske ligevægt.



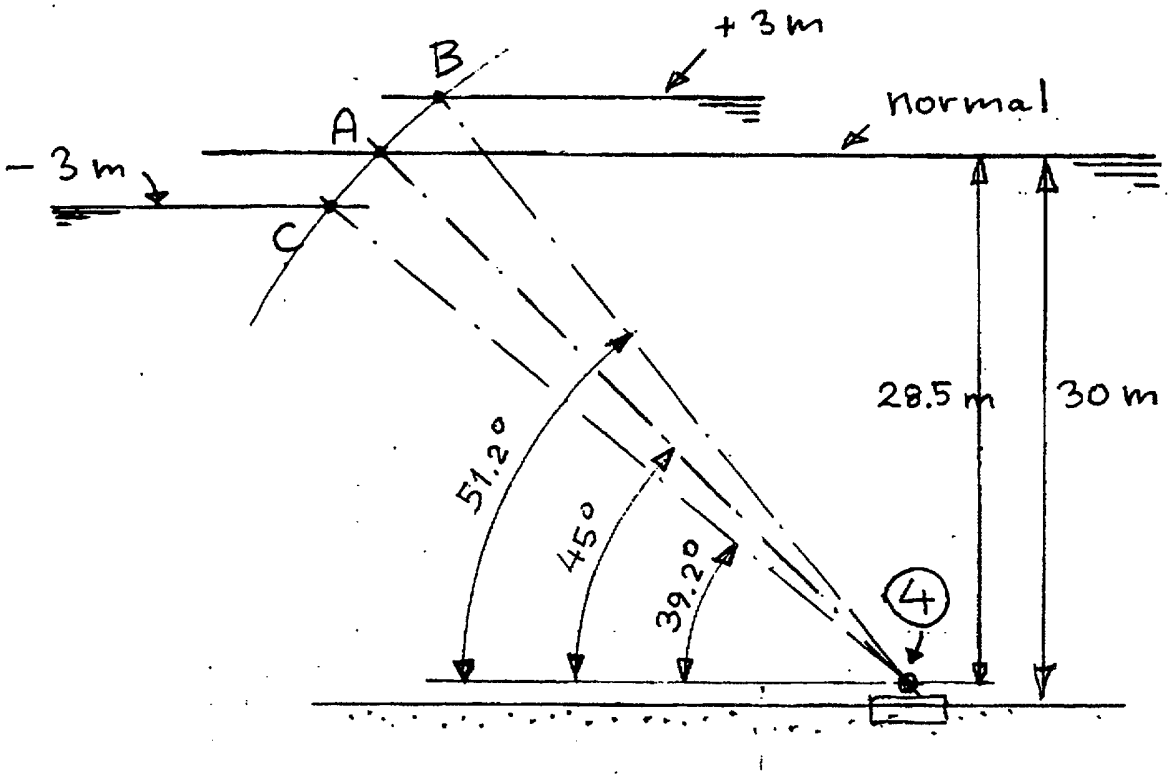
Tegning 1



Tegning 2



Tegning 3



Tegning 4