

Beskrivelse

Nærværende opfindelse angår et stort leje, især et hovedleje til et vindkraftanlæg, med en rotor samt med en stator, som via i det mindste et rulleleje er lejrede mod hinanden, 5 hvor to konstruktionselementer i afhængighed af en lejefrigang i rullelejet er positionerede i forhold til hinanden. Opfindelsen angår desuden en fremgangsmåde til bestemmelse af en lejefrigang for et rulleleje i forbindelse med et sådant stort leje.

Et sådant som hovedlejeenhed for et vindkraftanlæg udformet stort leje er eksempelvis 10 kendt fra WO 2013/113487 A1 eller WO 2013/152850 A1.

Horisontale vindkraftanlæg har i al almindelighed et tårn, på hvis hovedende en drejelig nacelle er anbragt, som danner et maskinhus. På nacellen er et rotornav drejeligt lejret omkring en horisontalt forløbende rotationsakse, hvorpå rotorvingerne er fastgjort. For 15 denne lejring af rotornavet på maskinhuset er hovedlejeenheden tilvejebragt. Hovedlejeenheden har i den forbindelse sædvanligvis en rotor samt en stator. Hyppigt bliver rotoren også betegnet som aksel og statoren som hus. De i de nævnte dokumenter som kendt teknik beskrevne hovedlejeenheder har hver især to i retning af rotationsaksen i forhold til hinanden i afstand beliggende rullelejer, via hvilke rotoren er lejret i forhold til 20 statoren. Via de to rullelejer for rotoren samt statoren er herved dannet en forspændingscirkel. En af lejringene for rullelejet kan i den forbindelse ved hjælp af en forspændingsring, til generering af forspændingen og til dannelse af forspændingscirklen, spændes imod de øvrige konstruktionselementer.

25 Ud over horisontale vindkraftanlæg kendes også såkaldte vertikale vindkraftanlæg, i forbindelse med hvilke rotationsaksen forløber i vertikal retning. For sådanne vertikale vindkraftanlæg kan ligeledes hovedlejeenheder anvendes, som er udformede i overensstemmelse med det samme princip som det fra WO 2013/113487 A1 eller WO 2013/152850 A1 kendte, blot med en vertikal orientering.

30

Sådanne hovedlejeenheder har typisk en diameter på adskillige meter, eksempelvis i området på op til 5 m i forbindelse med en længde på ligeledes adskillige meter. Alt efter udformning kan i den forbindelse statoren eller rotoren danne det mod rotationsaksen orienterede indvendigt liggende konstruktionselement. Dette er typisk udformet som hult 35 konstruktionselement og til at betræde.

Med store lejer forstås for nærværende alment lejer, som er udformede til høje bærelaster, eksempelvis på adskillige ton, og som typisk har en diameter $>0,5$ m og især >2 m.

- 5 Den i den kendte teknik beskrevne hovedlejeenhed er udformet som præfabrikeret konstruktionsenhed, der som sådan kan leveres på stedet til konstruktionsstedet som forspændt hovedleje og så kun yderligere skal forbindes med rotornavet henholdsvis maskinhuset.
- 10 I forbindelse med rullelejer, især i forbindelse med sådanne store lejer, spiller den nøjagtige indstilling af en lejefrigang ved montagen og en passende lejefrigang under løbende drift (driftfrigang) en stor rolle for funktionen. Ved lejefrigang forstås i den forbindelse alment en indbyrdes afstand imellem to lejepartnere, især afstanden imellem rullelegemerne og de til disse tilknyttede rullebaner, hvorpå de ruller. Desuden skelnes der
- 15 i denne sammenhæng imellem en positiv lejefrigang og en negativ lejefrigang. Ved positiv lejefrigang foreligger der imellem lejepartnerne en luftspalte, den såkaldte lejeluft. Ved negativ frigang er de individuelle lejepartnere spændt mod hinanden med en forspænding. Optræder der her en uønsket afvigelse, foreligger der fare for for tidlige lejesvigt.
- 20 Derfor skal for det første lejefrigangen ved montagen meget nøjagtigt indstilles. I den forbindelse spiller frem for alt toleranceafvigelser for lejet og lejesædet, temperaturerne, ruhederne, friktionen i lejesæderne og omgivelsesstivhederne en stor rolle og skal tages i betragtning.
- 25 Desuden skal for det andet ændringen af lejefrigangen under driften (driftfrigangen) tages i betragtning. Her indvirker eksempelvis temperaturændringer, slid i lejer og i lejesæder, vækst af lejeringe eller forspændingstab i forskruninger eller forspændingselementer.
- 30 Især i forbindelse med meget store lejer, således som disse eksempelvis forekommer i vindkraftanlæg, er den nøjagtige indstilling af lejefrigangen ved montagen besværlig at realisere. Også de kraftige temperaturændringer under drift, den elastiske omgivelse og sliddet på lejerne indvirker i forbindelse med sådanne lejeringer særligt kraftigt på
- 35 driftfrigangen. Desuden er i forbindelse med sådanne store lejer den opnåelige presning i lejesædet lavere end i forbindelse med små lejer. Dette ligger i, at forholdet imellem

lejetværsnit og diameter er væsentligt mindre. Derved kan i ugunstige tilfælde leje-
ringene vandre, hvilket kan føre til friktionsrust og slid i lejesæderne.

5 Fra DE 10 2007 051 237 A1 kendes en fremgangsmåde til indstilling af lejefrigangen
eller forspændingen for et rullelejearrangement, hvor der hertil detekteres rotation af
rullelegemer og på basis af denne måling sluttet tilbage til en lejefrigang. Dette beror
på den erkendelse, at kun ved en korrekt lejefrigang sker der en veldefineret afrulning
af rullelegemerne.

10 Fra DE 10 2010 035 264 A1 kendes desuden en indretning til aksial frigangsindstilling,
ved hvilken den på forhånd fastlagte optimale lejefrigang kontrolleres og efter behov
efterjusteres ved hjælp af en piezoaktuator.

15 Ud fra dette er det hensigten med opfindelsen at sikre en pålidelig drift i forbindelse med
et stort leje.

20 Dette opnås ifølge opfindelsen ved et stort leje, især et hovedleje til et vindkraftanlæg,
som omfatter en rotor samt en stator, som via i det mindste et rulleleje er lejrede i forhold
til hinanden. To (leje-)konstruktionselementer er i den forbindelse i afhængighed af en
leje-
20 lejefrigang positionerede i forhold til hinanden. Desuden er der nu tilvejebragt en føler-
enhed, som omfatter en i det store leje integreret føler, som er anbragt på et af de to i
forhold til hinanden positionerede konstruktionselementer. Føleren tjener til måling af
en afstand imellem disse to konstruktionselementer. Desuden er følerenheden udformet
25 føler er i al almindelighed fastgjort til det ene konstruktionselement, eksempelvis ved
hjælp af skruer, klæbning, lodning, påstikning, klemning etc.

30 Ved hjælp af den umiddelbare integration af føleren i det store leje og anbringelsen på
et af de to i forhold til hinanden positionerbare konstruktionselementer bliver der, såvel
ved montagen som også under driften, muliggjort en måling af afstanden imellem de to
konstruktionselementer. I forbindelse med de to konstruktionselementer drejer det sig i
al almindelighed om lejekonstruktionselementer i det store leje, især i umiddelbar nær-
hed af rullelejet eller også om lejekonstruktionselementer i selve rullelejet. Positionen af
føleren og konstruktionselementerne, imellem hvilke afstanden måles, er i den forbind-
35 else valgt således, at ud fra disses afstand kan der sluttet tilbage til den faktiske lejefri-
gang i rullelejet.

Grundlæggende foreligger muligheden for, via føleren direkte at måle den relative position imellem to lejekonstruktionselementer i rullelejet, eksempelvis den relative position af de to lejerenge eller også for lejesædet for rullelejet. Alternativt er en nærmere middelbar måling tilvejebragt, eksempelvis idet den relative position for statoren i forhold til rotoren i området ved rullelejet måles. Under alle omstændigheder kan der ud fra den målte afstand muliggøres en slutning tilbage til den faktiske lejefrigang. Ved den målte afstand drejer det sig i den forbindelse fortrinsvis om en aksial afstand parallelt med rotationsaksen, omkring hvilken rullelejet roterer. Alternativt eller supplerende drejer det sig i forbindelse med afstanden også om en radial afstand vinkelret på rotationsaksen.

10

Ved hjælp af integrationen af føleren bliver på effektiv måde tilvejebragt muligheden for såvel ved montagen af det store leje som også ved drift, at bestemme og overvåge lejefrigangen. Derved muliggøres en nøjagtig indstilling af lejefrigangen. Desuden kan ugunstige ændringer under drift tidligt erkendes. Fortrinsvis bliver i dette tilfælde så egnede foranstaltninger anvendt til forhindring af lejeskader. Eksempelvis sker en efterspænding af lejet eller der afgives i det mindste en fejlmelding, således at i tvivlstilfælde kan lasten tages af lejet. Samlet bliver følgelig ved integrationen af føleren, under driften optrædende forandringer ved lejet, især slid, deformationer etc. for de individuelle lejepartnere, eksempelvis lejerengene, rullelejerne eller også lejesæderne, overvåget og tidligt detekteret.

20

Denne overvågning kan grundlæggende anvendes på forskellige lejetyper. I det efterfølgende bliver det grundlæggende koncept beskrevet i forbindelse med eksemplet med et opstillet og forspændt konisk rulleleje i O-arrangement.

25

I en formålstjenlig udformning omfatter følerenheden en beregningsenhed, som er udformet således, at i afhængighed af den målte afstand bestemmes en lejeforspænding. Via den målte afstand bliver således middelbart målt en indstillet forspænding. Dette er især i forbindelse med forspændte store lejer af afgørende betydning.

30

Denne udformning benytter sig af den virkning, at de individuelle lejepartnere fjedrer imod såkaldte rullelegemekontakter under belastning, altså under forspænding. Rullelejet har sædvanligvis en udvendig ring samt en indvendig ring og derimellem anbragte rullelegemer. Lejerengene hviler i den forbindelse sædvanligvis mod lejesæder, som er udformede på rotoren henholdsvis på statoren. Under forspænding udvider de udven-

35

dige ringe sig på grund af eftergiveligheden for statoren og de indvendige ringe indsnører sig. Derved sker der en indbyrdes afstandsændring mellem den udvendige og indvendige ring såvel i aksial som også i radial retning. Der foreligger følgelig en korrelation imellem afstanden imellem lejepartnerne og den påtrykte forspænding. Dette udnyttes til indirekte bestemmelse af forspændingen via afstandsmålingen.

I beregningsenheden er der indlagt en tilknytning eksempelvis i form af en tabel eller en tilsvarende algoritme, således at der pålideligt og hurtigt kan bestemmes den til den målte afstand tilhørende lejeforspænding.

10

På formålstjenlig måde bliver der hertil anvendt en FEM-beregning, ved hjælp af hvilken afhængigheden mellem en sådan afstandsændring (ringforskydning) og forspændingen meget nøjagtigt kan bestemmes. Via målingen af eksempelvis den aksiale relative forskydning af lejeringsene indbyrdes kan altså forspændingen i lejesystemet bestemmes.

15

Målingen af afstanden og dermed en forskydning sker fortrinsvis berøringsløst, eksempelvis ved hjælp af induktive følere. Målingen sker følgelig imellem føleren og en fra denne med en målespalte i afstand beliggende måleflade. Berøringsløse følere, især induktive følere, har en høj målenøjagtighed og måleværdierne bliver ikke forfalskede af olie og fedt i målespalten. Det er imidlertid også muligt med andre kendte målefremgangsmåder, som eksempelvis optisk afstandsmåling (lasermåling), berørende måling (måleur) eller kapacitiv måling.

20

Føleren er anbragt over for målefladen. I den forbindelse er målefladen og valgfrit føleren anbragt på et af de to konstruktionselementer rotor eller stator. Grundlæggende behøver der følgelig ikke at ske en direkte måling af afstanden og dermed forskydningen imellem de to lejeringsene. Der er følgelig også muliggjort en indirekte måling af denne afstand imellem lejeringsene. I den forbindelse kan forskellige arrangementer imellem føler og måleflade være tilvejebragt. Således bliver eksempelvis afstanden imellem huset (statoren) og en af lejeringsene, imellem rotoren og en af lejeringsene, imellem stator og rotor eller også imellem de to lejeringsene, målt. I den forbindelse er til hver en tid målefladen anbragt på det ene konstruktionselement og føleren på det andet konstruktionselement henholdsvis mekanisk forbundet dermed.

25

30

Føleren er i den forbindelse fortrinsvis anbragt således, at en aksial afstand detekteres. Alternativt er den anbragt således, at en radial afstand bestemmes. På formålstjenlig

35

måde er den yderligere anbragt således, at den detekterer såvel en radial som også en aksial afstand. I så tilfælde måler den følgelig i to retninger mod to måleflader. Om enten den aksiale eller den radiale måling er fordelagtig, afhænger af lejetypen og om lejringen har negativ eller positiv lejefrigang. I tilfælde af forhøjede krav til målenøjagtigheden er
5 det fordelagtigt, at måle såvel den aksiale som også den radiale forskydning.

I særlig formålstjenlig udformning er føleren anbragt imellem to konstruktionselementer, eksempelvis imellem statoren og en lejrering, især anbragt på rotoren, således at den eksempelvis samtidigt bestemmer den aksiale afstand imellem rotor og hus samt rotor
10 og lejrering for en særlig nøjagtig afstandsbestemmelse. Ved anbringelsen af føleren på rotor/stator eller målefladen på rotor/stator er målefladen henholdsvis føleren til hver en tid fortrinsvis positioneret i nærheden af det respektive på rotor/stator udformede lejesæde. Med i nærheden af lejesædet, eller alment i nærheden af rullelejet, forstås i denne forbindelse en afstand på i al fald nogle centimeter.

15

Den indirekte måling af afstanden imellem lejringene forudsætter under alle omstændigheder, at lejringene er fikserede i aksial retning i lejesædet og ikke kan forskydes. I dette tilfælde er den indirekte afstandsmåling imellem rotor og stator muliggjort.

20 Foreligger muligheden for, at lejringen kan forskydes i forhold til rotor/stator, er det fordelagtigt også at måle den relative forskydning af lejringen i forhold til akslen og medtage denne til beregningen og bestemmelsen af lejefrigangen z.

Til bestemmelse af lejefrigangen, især forspændingen, er det grundlæggende tilstrækkeligt at måle forskydningen i eller ved et af de to lejer. Af nøjagtighedsårsager er det under alle omstændigheder en fordel at måle forskydningen ved begge lejer.

På fordelagtig måde bliver adskillige følere anbragt fordelt over omkredsen på rullelejet. Følerne skal i den forbindelse ikke nødvendigvis være direkte fastgjort til rullelejet.
30 Yderligere kan de også være anbragt i nærheden af rullelejet eksempelvis på rotoren og/eller statoren. I den forbindelse er følerne fortrinsvis fordelt ensartet over omkredsen, eller – såfremt der ikke foreligger nogen rotationssymmetri for lejeomgivelserne – også uregelmæssigt.

35 Ved en foretrukken udførelsesform er føleren udskifteligt fastgjort i en holder, især i en gevindholder. Den i det mindste ene føler kan følgelig på enkel måde indsættes i den

tilsigtede position. Ved den lette udskiftelighed foreligger muligheden for at udskifte defekte følere. Fortrinsvis er, i forbindelse med adskillige følere, hver af følerne fastgjort udskifteligt.

- 5 Fortrinsvis er der desuden for hver respektiv føler tilknyttet en indstillingsindretning, via hvilken positionen for føleren i forhold til målefladen kan indstilles. Herved kan føleren positioneres optimalt i forhold til målefladen, med henblik på at kunne drive føleren i dennes optimale måleområde. På formålstjenlig måde omfatter indstillingsindretningen i den forbindelse især et excenter-element, således at føleren ved drejning af excenter-
- 10 elementet kan justeres i sin position, altså kan justeres i retning mod målefladen eller bort fra denne over et vist justeringsområde.

Ved en fordelagtig videreudvikling er følerenheden udformet til overvågning af en såkaldt ringvandring, ved hvilken altså lejeringen bevæger sig i sit lejesæde. Hertil er der

15 fortrinsvis på målefladen af den lejering, som skal overvåges, anbragt markeringer. Der ved bliver vandringen af lejeringen detekteret. I tilfælde af en induktiv afstandsmåling er det fordelagtigt med markeringer i form af fordybninger og forhøjninger. Bevæger en markering sig forbi føleren på grund af ringvandring, bliver dette detekteret ved afstandsmålingen. På fordelagtig måde er der på målefladen anbragt adskillige markeringer. I

20 forbindelse med markeringerne kan det i tilfælde af andre følertyper også dreje sig om optiske mærker, overfladeforandringer eller tilsvarende.

Fortrinsvis bliver en aksial forskydning af lejeringen i lejesædet overvåget ved hjælp af følerenheden. Optræder der ændringer over driftsvarigheden, tyder dette på negative

25 ændringer i lejesædet, som eksempelvis fremkaldes af den såkaldte friktionsrust eller ved slid.

Eftersom lejefrigangen, især under drift men også ved montage, blandt andet bestemmes af omgivelsestemperaturen, især omgivelsestemperaturen men også temperaturen

30 for konstruktionselementerne som sådan samt driftbelastningerne, eksempelvis vindbelastninger etc., er følerenheden i en formålstjenlig udformning også udformet til at tage hensyn til omgivelsesparametrene, især temperaturer eller vindbelastninger. Desuden er den udformet i retning mod at de målte værdier for sådanne omgivelsesparametre har medindflydelse ved bestemmelsen og beregningen af lejefrigangen. Især tages der

35 i den forbindelse hensyn til en temperaturfordeling inden for lejet, eftersom en sådan

har en stor indflydelse såvel på driftfrigangen for lejet som også på målenøjagtigheden. Denne temperaturfordeling medinddrages altså til evaluering af den målte afstand.

5 Skal blot lejefrigangen ved montagen måles, så er eksempelvis detektionen af afstanden samt den aktuelle temperatur tilstrækkelig. Skal der ved montagen indstilles en positiv lejefrigang, altså en luftspalte imellem de respektive lejepartnere, så bevæges formålstjenligt rotoren (akslen) frem og tilbage, med henblik på først at måle den mulige forskydning, og derefter at indstille den ønskede afstand.

10 Med henblik på at måle og især at overvåge lejefrigangen under drift, altså den såkaldte driftfrigang, er ved en formålstjenlig udformning følerenheden udformet til varig afstandsmåling under den løbende drift for lejet. Under varig forstås i den forbindelse ikke nødvendigvis en kontinuerlig uafbrudt måling. I al almindelighed forstås med en varig måling i det mindste en gentagen måling med forudbestemte tidsintervaller under den
15 løbende drift. Ved integrationen af føleren i selve lejet er dette uden videre muligt. På formålstjenlig måde gennemføres herved en overvågning af driften især af driftfrigangen.

20 Fortrinsvis er der i følerenheden yderligere indlagt referenceværdier for afstandsværdierne, hvormed de målte afstandsværdier kan sammenlignes. Afviger de målte afstandsværdier fra de indlagte referenceværdier, under hensyntagen til et tilladeligt toleranceområde, så bliver dette evalueret som en utilladelig drifttilstand og der indledes tilsvarende foranstaltninger, især afgivelse af et fejlsignal.

25 I en foretrukken udførelsesform er det alment foreskrevet, at følerenheden er udformet til detektion af de under den løbende drift optrædende ydre belastninger og at tage hensyn til disse ved bestemmelse af lejefrigangen. Dette er især af særlig betydning, med henblik på korrekt at kunne vurdere en eventuel afvigelse fra en ønsket værdi. Ved kortvarige belastningsspidser, eksempelvis ved en høj vindbelastning eller også ved for
30 højede temperaturer, kan der opstå afvigelser fra statiske referenceværdier. Referenceværdierne er følgelig fortrinsvis indlagt for forskellige belastningssituationer, således at de tilladelige værdier kan bestemmes og kontrolleres for en respektiv belastningssituation. For afstandsværdierne anvendes i den forbindelse især gennemsnitsværdier for de adskillige følere.

- For det tilfælde, at ændringen af driftfrigangen skal overvåges over driftvarigheden for lejringen, skal der altså alment skelnes imellem om lejringen kan frigøres fra de ydre driftsbelastninger. Er dette muligt, kan afstandsmåleværdierne enkelt sammenlignes med måleværdier fra fortiden. Foreligger der en ændring af de målte afstandsværdier, har driftfrigangen ændret sig. Er en frigørelse ikke mulig, kan afstandsværdier ved bestemte lasttilstande sammenlignes. I tilfælde af stokastisk foranderlige ydre belastninger anvendes fortrinsvis middelværdier for afstanden til evaluering. Hertil gennemføres målinger over et bestemt måletidsrum, hvor det skal påses, at driftsbetingelserne (ydelse, omdrejningstal, temperaturer ...) er sammenlignelige og ikke svinger for kraftigt inden for målingen. Der kan så dannes og sammenlignes middelværdier over en måling, uger, måneder eller år. Bliver supplerende også driftkræfterne målt (i forbindelse med vindkraftanlæg eksempelvis vingebelastninger) tages der fortrinsvis supplerende hensyn hertil ved evalueringen.
- 15 Opgaven løses ifølge opfindelsen desuden ved en fremgangsmåde til bestemmelse af en lejefrigang for et rulleleje ved et stort leje med de træk, som er angivet i krav 10. De med hensyn til det store leje anførte fordele og foretrukne udførelsesformer kan på fornuftig måde også overføres til fremgangsmåden.
- 20 Ifølge en foretrukken udførelsesform bliver i den forbindelse, til indstilling af en lejeforspænding ved en montage af det store leje, først detekteret en afstandsværdi ved en frigangsfri positionering, en såkaldt nulstilling, og efterfølgende bliver forspændingen eksempelvis ved hjælp af en forspændingsring påført. Ved måling af afstanden bliver denne forspænding overvåget og indstillet til en ønsket værdi. Nulstillingen bliver i den forbindelse eksempelvis frembragt ved en forøgelse af det krævede drejningsmoment for spændingen af lejespændingsringen imod en lejering. Via den her beskrevne afstandsmåling foreligger der så muligheden for meget nøjagtigt at indstille lejeforspændingen. Ved en tiltagende spænding af lejespændingsringen imod en lejering i rullelejet sker den elastiske fjedring, hvilket resulterer i den målbare afstandsændring.
- 30 Udførelseseksempler i overensstemmelse med opfindelsen forklares i det følgende nærmere ved hjælp af figurerne. Disse viser:
- 35 Fig. 1 et delvis snitbillede igennem en hovedlejeenhed for et vindkraftanlæg, der er udformet som et opstillet og forspændt konisk rulleleje,

- Fig. 2 en forstørret udsnitsvis afbildning af det i fig. 1 viste leje i området ved den højre billedhalvdel med en første variant for positioneringen af en føler,
- Fig. 3 til 6 afbildninger svarende til fig. 2 med yderligere varianter for positioneringen af en respektiv føler,
- Fig. 7 en afbildning svarende til fig. 2 med en udskifteligt anbragt føler,
- Fig. 8 en afbildning svarende til fig. 7, hvor føleren via et excenterelement kan justeres i sin position,
- Fig. 9 en afbildning svarende til fig. 5 med en yderligere variant af anbringelsen af en føler,
- Fig. 10 en udsnitsvis snitafbildning i et område svarende til fig. 2 ved et toradet konisk rulleleje med en føler,
- Fig. 11 en udsnitsvis snitafbildning hvor der i stedet for det koniske rulleleje er udformet et rillekugleleje, samt
- Fig. 12 en udsnitsvis snitafbildning af et leje med et cylinderrulleleje som flydende leje.

På figurerne er respektive ens fungerende konstruktionselementer forsynede med de samme henvisningstegn. De i figurerne viste forskellige udførelseseksempler kan også på vilkårlig måde kombineres indbyrdes.

Fig. 1 viser en udsnitsvis snitafbildning af et som hovedlejeenhed udformet stort leje 1 i et vindkraftanlæg. Hovedlejeenheden 1 tjener til lejrings af et rotornav på et også som maskinhus betegnet tårn i vindkraftanlægget. Opbygningen og arrangementet af den her udsnitsvis viste hovedlejringsenhed 1 fremgår i det mindste med tilsvarende udformning eksempelvis af fig. 3 til 6 i WO 2013/113487 A1 samt også af fig. 1 og 2 i WO 2013/152850 A1. Til disses beskrivelse henvises der for så vidt i fuldt omfang. Hovedlejringsenheden 1 omfatter i den forbindelse alment en også som aksel 2 betegnet rotor og en også som hus 4 betegnet stator. Disse to er via et første rulleleje 10 samt et andet rulleleje 12 lejrede indbyrdes. I udførelseseksemplet drejer det sig om en opstillet og

forspændt konisk rullelejelejrings. Under drift roterer akslen 2 omkring en rotationsakse R.

5 Hvert af rullelejerne 10, 12 omfatter en indvendig ring 10a, 12a, en udvendig ring 10b, 12b samt adskillige i udførelseseksemplet keglestubformede rullelegemer 10c, 12c.

Huset 4 danner for hvert af de to rullelejer 10, 12 et lejesæde 4a for den respektive udvendige ring 10b, 12b. Via lejesædet 4a er anslagsflader definerede, imod hvilke de udvendige ringe 10b, 12b hviler i såvel radial som også i aksial retning.

10

Akslen 2 danner derimod kun for det første rulleleje 10 et fast lejesæde 2a. På den modstående side af det andet rulleleje 12 er der i stedet for et fast lejesæde anbragt en klemring 6, som ved hjælp af skruer kan spændes imod den indvendige ring 12a, således at samlet hele lejearrangementet via klemringen 6 kan forspændes.

15

De radiale anlægsflader for de indvendige ringe 10a, 12a på det respektive lejesæde 2a på akslen 2 har i forhold til den radiale anlægsflade for de udvendige ringe 10b, 12b på de respektive lejesæder 4a i huset 4 hver især en radial afstand R10, R12. I tilfældet med det første rulleleje 10 har den aksiale anlægsflade for den indvendige ring 10a en aksial afstand A10 til den udvendige ring 10b. Ved det andet rulleleje 12 er den tilsvarende aksiale afstand A12 defineret ved afstanden imellem et aksialt anslag på akslen 4 og en tilsvarende anslagsflade på klemringen 6.

20

Disse afstande A10, A12, R10, R12 er hver især karakteristiske for en respektiv lejefrigang for det respektive leje 10, 12. Via disse afstande er følgelig lejefrigangen defineret.

25

Den samlede hovedlejeenhed 1 opstilles som forspændt hovedlejeenhed, således at altså en negativ lejefrigang dannes. Akslen 2 bliver via en flange forbundet med rotor-navet og huset 4 ligeledes forbundet med maskinhuset via en flange. Den samlede hovedlejeenhed 1 er dimensioneret til stortekniske vindkraftanlæg med ydelser i multi-megawattområdet. Akslen 2 har i den forbindelse sædvanligvis en diameter på adskillige meter, eksempelvis på 1,5 til 4 m, og er til at betragte. Den aksiale afstand mellem de to lejer 10, 12 ligger i den forbindelse typisk imellem 0,5 og 3 m. I forbindelse med større hovedlejeenheder 1 har akslen 2 eksempelvis en diameter større end 2,5 m og/eller en afstand imellem de to lejer 10, 12 på mere end 1,5 m.

30

35

I det følgende bliver det grundlæggende koncept forklaret eksempelvis baseret på den i fig. 1 viste hovedlejringsenhed for forskellige udførelsesvarianter. De forskellige i det efterfølgende nærmere forklarede varianter kan grundlæggende også overføres til andre lejearrangementer.

5

Som allerede nævnt er akslen 2 lejret i huset 4 via to som koniske rullelejer udformede rullelejer 10, 12 i O-arrangement. Via klemringen 6 bliver lejeenheden forspændt, idet der via denne på den indvendige ring 12a udøves en kraft i aksial retning. Derved bliver den indvendige ring 12a forskudt i aksial retning.

10

Dette fører til, at rullelegemekontakterne fjedrer elastisk og samtidigt akslen 2 indsnøres i lejet og huset 4 udvider sig. Derved ændres størrelsen for de aksiale og radiale afstande A10, R10, A12, R12 for lejringene 10a, 10b, 12a, 12b. Denne ændring af afstandene A10, R10, A12, R12 er følgelig et mål for den påførte forspænding. Ændringen af afstandene A10, R10, A12, R12 i afhængighed af den påførte forspænding bestemmes fortrinsvis på forhånd eksempelvis ved FEM-beregning, og indlægges eksempelvis i en tabel.

15

Til beregning og bestemmelse af en aktuel forspænding bliver altså ved en afstandsmåling af i det mindste en af de aksiale eller radiale afstande A10, R10, A12, R12 middeltbart bestemt og derved forspændingen i lejerne indirekte målt. Eftersom lejringene 10a, 10b, 12a, 12b i tværsnit næppe deformeres og yderligere akslen 2 og huset 2 i nærheden af lejet næppe deformeres i tværsnit, er det muligt at måle afstandsændringen mellem vilkårlige punkter/flader af ringene eller den tilstødende struktur. Derved fås for den middelbare bestemmelse af de aksiale og/eller radiale afstande A10, A12, R10, R12 forskellige målearrangementer, som disse forklares i det følgende. Ved disse bliver til hver en tid en afstand a imellem føleren 14 og en respektiv måleflade målt. Denne afstand korrelerer med i det mindste en af de aksiale eller radiale afstande A10, R10, A12, R12. Ud fra den målte afstand a bliver enten først en korreleret aksial eller radial afstand A10, R10, A12, R12 bestemt, ud fra hvilken så forspændingen afledes, eller forspændingen bliver direkte afledt af den målte afstand a . For beregningen af forspændingen er det i den forbindelse som regel tilstrækkeligt, blot at måle en afstand a og dermed kun at bestemme en af de aksiale/radiale afstande A10, R10, A12, R12.

20

25

30

35 For bestemmelsen af de aksiale og/eller radiale afstande A10, R10, A12, R12 anvendes i almindelighed en følerenhed 13, som sædvanligvis omfatter adskillige følere 14 samt

yderligere en evalueringsenhed 15. Følerner 14 er hver især en integreret bestanddel af hovedlejeenheden 1 og hver især anbragt i nærheden af et respektivt rulleleje 10, 12, ved hvilket de aksiale/radiale afstande A10, R10, A12, R12 skal bestemmes. Følerner 14 er i den forbindelse – som vist i figurerne – placerede på den lejeside, ved hvilken klemringen 6 er anbragt. Alternativt eller også i kombination er følerne 14 positionerede på den modsat klemringen 6 liggende lejeside.

De af følerne 14 målte afstandsværdier overføres til evalueringsenheden 15 eksempelvis trådløst eller trådbundet. I evalueringsenheden 15 sker evalueringen af de overførte signaler, især evalueringen af de målte aksiale/radiale afstande A10, R10, A12, R12. I evalueringsenheden 15 er der eksempelvis indlagt en tabel 15a med den beregnede korrelation imellem de målte afstande a og lejeforspændingen henholdsvis imellem de målte afstande a og de aksiale/radiale afstande A10, R10, A12, R12 samt disses korrelation til lejeforspændingen. Evalueringsenheden kan i den forbindelse eksempelvis være integreret i en overordnet styreenhed for hele (vindkraft-)anlægget.

I figur 2 er vist et eksempel for anbringelsen af i det mindste en føler 14 på det andet rulleleje 12. Følerner 14 er fast forbundet med akslen 2 og måler afstanden a til såvel en måleflade 12a' på den indvendige ring 12a som også til en måleflade 4' på huset 4. Derved bliver såvel den aksiale afstandændring mellem de to lejerenge 12a, 12b indbyrdes som også en eventuel relativ bevægelse af den indvendige ring 12a i forhold til akslen 2 detekteret. Følerner 14 er hertil anbragt på akslen 2 i et område imellem den indvendige ring 12a og en ringflange på huset 4. På denne radialt i retning mod akslen 2 orienterede ringflange er målefladen 4' udformet.

I en mulig alternativ udformning i forhold hertil er eksempelvis også to separate følere 14 tilvejebragt, eller der er kun anbragt en føler 14, som kun måler mod målefladen 12a' på den indvendige ring 12a eller kun på målefladen 4' på huset 4. I målefladen 12a' på den indvendige ring 12a er der fortrinsvis supplerende anbragt markeringer 17, med henblik på at overvåge ringvandringen. Naturligvis kan følerarrangementet i figur 2 samt eksemplerne i de efterfølgende figurer på tilsvarende måde udformes på det første rulleleje 10.

Figur 3 viser et yderligere eksempel til anbringelse af en føler. I dette eksempel er føleren 14 anbragt på huset 4 og måler afstanden a til målefladen 12a' på den indvendige ring 12a. Føleren 14 er i den forbindelse fastgjort til huset 4 og dette på den i forbindelse med figur 2 beskrevne ringflange.

5

Figur 4 viser et yderligere eksempel, i hvilket føleren 14 nu er forbundet med akslen 2 og måler på målefladen 4' på huset 4.

Et yderligere muligt følerarrangement er vist i figur 5. Her er føleren 14 via en følerholder 10 16 forbundet med den udvendige ring 12b i det andet rulleleje 12 og måler afstanden til målefladen 12a' på den indvendige ring 12a. Følerholderen 16 kan i den forbindelse have forskellige former og eksempelvis være udformet ringformet, stavformet eller buformet.

15 Figur 6 viser et yderligere anbringelseseksempel. Her er føleren 14 forbundet med klemmeringen 6 og måler afstanden til målefladen 4' på huset 4.

I figur 7 er et særligt fordelagtigt eksempel på et følerarrangement vist. I denne udførelsesvariant er føleren 14 forsynet med et gevind og indskruet i en holder 19 i akslen 2. 20 Føleren 14 er sikret mod drejning ved hjælp af en sikringsmøtrik 18. Eksempelvis kan afstanden a til målefladen 12a' på den indvendige ring 12a måles. Denne udformning har den fordel, at føleren 14 kan udskiftes. Alternativt kan føleren 14 eksempelvis også være udformet uden gevind, men med cylindrisk eller kegleformet udvendig overflade, og eksempelvis via en flange, klemmeelementer eller tilsvarende fastgøres til akslen 2. 25 Sådanne udformninger giver ligeledes muligheden for at udskifte føleren 14.

En yderligere særlig fordelagtig udformning er vist i figur 8. I denne udformning er føleren 14 via en excenterbøsning 20 anbragt i akslen 2 og måler mod målefladen 12a' på den indvendige ring 12a. Føleren 14 kan drejes i excenterbøsningen 20 og justeres, og bliver 30 ved hjælp af en sikringsmøtrik 18 sikret mod drejning. Eftersom følere 14 som regel har et begrænset måleområde, og i forbindelse med større måleområde falder nøjagtigheden eller konstruktionsstørrelsen for føleren forøges, er det fordelagtigt, at holde måleområdet så lille som muligt. Dette opnås ved hjælp af passende excenterindretninger, som tjener til afstandsindstilling. Derved kan toleranceafvigelser ved fremstillingen udlig-

nes. En yderligere fordel ved en sådan udformning er, at føleren 14 kan udskiftes. Naturligvis kan føleren 14 i excenterbøsningen 20 også monteres på anden måde end den viste.

- 5 Figur 9 viser et yderligere eksempel på et følerarrangement. I dette udførelseseksempel er føleren 14 atter forbundet med den udvendige ring 12b og måler såvel i radial retning mod en måleflade 2' på akslen 2 som også i aksial retning mod målefladen 12a' på den indvendige ring. Derved kan en højere målenøjagtighed opnås.
- 10 I figur 10 er vist et eksempel for et muligt følerarrangement i forbindelse med et toradet konisk rulleleje 22. I dette eksempel er føleren 14 forbundet med en indvendig ring 22a og måler mod en måleflade 22b' på den anden indvendige ring 22b i det toradede koniske rulleleje.
- 15 Figur 11 viser et eksempel på et følerarrangement på et rillekugleleje 24, som fungerer som fast leje. I dette eksempel er føleren 14 anbragt på et lejedæksel 26 og måler afstanden a til en måleflade 24' på den indvendige ring 24a.

Figur 12 viser et eksempel på et følerarrangement på et cylindrisk rulleleje 28, som fungerer som flydende leje. Her foreligger der ikke nogen sammenhæng imellem den aksiale lejeringsafstand og lejeforspændingen. Af denne grund er der ved denne lejeudformning kun tilvejebragt den radiale afstandsmåling. Føleren 14 er i dette eksempel forbundet med huset 4 og måler mod målefladen 2' på akslen 2.

25

30

35

Henvisningstalsliste

	1	Hovedlejeenhed
	2	Aksel
5	2'	Måleflade på aksel
	2a	Lejesæde på aksel
	4	Hus
	4'	Måleflade i hus
	4a	Lejesæde i hus
10	6	Klemring
	10	Første rulleleje
	10a	Indvendig ring i første rulleleje
	10b	Udvendig ring i første rulleleje
	10c	Rullelegeme
15	12	Andet rulleleje
	12a	Indvendig ring i andet rulleleje
	12a'	Måleflade på indvendig ring
	12b	Udvendig ring i andet rulleleje
	12c	Rullelegeme
20	14	Føler
	15	Evalueringseenhed
	15a	Tabel
	16	Følerholder
	17	Markering
25	18	Sikringsmøtrik
	19	Holder
	20	Excenterbøsning
	22	Toradet konisk rulleleje
	22a	Første indvendig ring
30	22b	Anden indvendig ring
	22b'	Måleflade på anden indvendig ring
	22c	Udvendig ring
	24	Rillekugleleje
	24a	Indvendig ring i rillekugleleje
35	26	Lejedæksel
	28	Cylindrisk rulleleje

A10	Aksial afstand mellem lejeringene i første rulleleje
R10	Radial afstand mellem lejeringene i første rulleleje
A12	Aksial afstand mellem lejeringene i andet rulleleje
R12	Radial afstand mellem lejeringene i andet rulleleje
5 R	Rotationsakse
a	Afstand

PATENTKRAV

1. Stort leje (1), især hovedleje (1) til et vindkraftanlæg, med en rotor (2) samt med en stator (4), som via i det mindste et rulleleje (10, 12) er lejrede indbyrdes, hvor to konstruktionselementer (2, 4, 12a, 12b) er positionerede i forhold til hinanden i afhængighed af en lejefrigang for rullelejet, hvor

en følerenhed (14, 15) er tilvejebragt, med i det mindste en føler (14), som er anbragt på et af konstruktionselementerne (2, 4, 12a, 12b) til måling af en afstand (a) imellem de to konstruktionselementer (2, 4, 12a, 12b) og at følerenheden (14, 15) yderligere er udformet til bestemmelse af en negativ lejefrigang baseret på den målte afstand (a), og at følerenheden omfatter en evalueringsenhed (15), som er udformet således, at i afhængighed af afstanden (a) bestemmes en lejeforspænding, idet evalueringsenheden (15) til bestemmelse af lejeforspændingen er udformet således, at den anvender en indlagt eller beregnet korrelation imellem afstanden (a) og lejeforspændingen, og hvor der på rotoren (2) eller på statoren (4) er udformet en måleflade (2', 4', 12a'), og føleren (14) er anbragt liggende over for målefladen (2', 4', 12a) på statoren (4) henholdsvis rotoren (2).

2. Stort leje (1) ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** føleren (14) samtidigt detekterer såvel en radial som også en aksial afstand (a).

3. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** der fordelt langs en omkreds på rullelejet (10, 12) er anbragt adskillige følere (14).

4. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** føleren (14) er fastgjort udskifteligt, især i en holder (19).

5. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** en justeringsindretning er tilvejebragt, via hvilken positionen for føleren (14) i forhold til målefladen (2', 4', 12a') kan indstilles, idet justeringsindretningen især omfatter et excenterelement (20) og føleren (14) kan justeres ved drejning af excenterelementet (20).

6. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** følerenheden (14, 15) supplerende er udformet til overvågning af en ringvandring for i det mindste en

lejeriing (12a) i rullelejet (12) og der hertil fortrinsvis er anbragt en markering (17) på en til den lejeriing (12a), som skal overvåges, tilknyttet måleflade (12a').

7. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** følerenheden (14, 15) er udformet til detektion af omgivelsesparametre, især til temperaturredetektion, og en detekteret værdi af omgivelsesparametrene inddrages til bestemmelse af lejefrigangen.
8. Stort leje (1) ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** følerenheden (14, 15) er udformet til varig afstandsmåling og overvågning af lejefrigangen for rullelejet (10, 12) under løbende drift.
9. Stort leje (1) ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** følerenheden (14, 15) er udformet således, at under den løbende drift optrædende ydre belastninger inddrages ved bestemmelse af lejefrigangen.
10. Fremgangsmåde til bestemmelse af en lejefrigang for et rulleleje (10, 12) i et stort leje (1), især i et hovedleje (1) for et vindkraftanlæg, som omfatter en rotor (2) samt en stator (4), som via det i det mindste ene rulleleje (10, 12) er lejrede indbyrdes, hvor to konstruktionselementer (2, 4, 12a, 12b) er positionerede i forhold til hinanden i afhængighed af lejefrigangen for rullelejet (10, 12), hvor, ved hjælp af en følerenhed (14, 15), som omfatter i det mindste en føler (14), som er anbragt på et af konstruktionselementerne (2, 4, 12a, 12b), en afstand (a) imellem de to konstruktionselementer (2, 4, 12a, 12b) måles og her ud fra bestemmes en negativ lejefrigang samt en lejeforspænding, idet der hertil på rotoren (2) eller statoren (4) er udformet en måleflade (2', 4', 12a') og føleren (14) er anbragt liggende over for målefladen (2', 4', 12a') på statoren (4) henholdsvis rotoren (2), og anvender en indlagt eller beregnet korrelation imellem afstanden (a) og lejeforspændingen.
11. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** til indstillingen af en lejeforspænding ved en montage detekteres først en afstand (a) ved frigangsfri positionering, efterfølgende påføres, og ved måling af afstanden (a) overvåges, forspændingen og indstilles til en ønsket værdi.
12. Fremgangsmåde ifølge ethvert af kravene 10 eller 11, **kendetegnet ved, at** en overvågning af lejefrigangen sker under løbende drift.

13. Vindkraftanlæg med et stort leje (1) ifølge ethvert af kravene 1 til 9.