



VIND

VI SÆTTER VIDEN I SPIL

DTU Vindenergi

Udgivet i anledning af DTU Vindenergis 40 års jubilæum



VIND
VI SÆTTER VIDEN I SPIL

Udgiver: DTU Vindenergi
Idé: Peter Hauge Madsen og Peter Hjuler Jensen
Ansvarshavende redaktører: Mattias Andersson og Søren Siggaard Knudsen
Tilrettelægger og journalist: Lars Mandal, Mandal Media
Redaktion, design og layout: Jørgen Høg, HØG KOMMUNIKATION
Koordinatorer DTU Vindenergi: Charlotte Boman Hede og Tom Nervil
Tryk og færdiggørelse: Johnsen Graphic Solutions A/S
Foto: Bax Lindhardt, Melissa Ørnstrup, Mattias Andersson, DTU Vindenergi
Copyright: DTU Vindenergi og Lars Mandal, Mandal Media
Første udgave, første oplag: 1.200

Trykt i Danmark, februar 2019

Alle rettigheder forbeholdes.
Mekanisk, elektronisk, fotografisk eller anden gengivelse af eller kopiering fra denne bog eller dele heraf er ifølge dansk lov om ophavsret ikke tilladt uden skriftligt samtykke fra DTU Vindenergi og Lars Mandal, Mandal Media

VIND
VI SÆTTER VIDEN I SPIL
DTU Vindenergi



INDHOLD

1	INTRO SIDE 9
	Tillykke med de 40 år
2	KAPITEL 1 SIDE 13
	Meteorologi
3	PORTRÆT SIDE 30
	Tuhfe Göçmen
4	INTERVIEW SIDE 32
	Henrik Stiesdal
5	KAPITEL 2 SIDE 38
	Møllerne
6	PORTRÆT SIDE 54
	Oscar Gerardo Castro Ardila
7	KAPITEL 3 SIDE 56
	Samfundet
8	PORTRÆT SIDE 70
	Søren Juhl Andersen
9	INTERVIEW SIDE 72
	Asbjørn Bjerre
10	KAPITEL 4 SIDE 76
	Forretningen
11	PORTRÆT SIDE 88
	Ásta Hannesdóttir
12	KAPITEL 5 SIDE 90
	Mennesker
13	INTERVIEW SIDE 104
	Christina Aabo
14	KLUMME SIDE 108
	Andrew Garrad
15	PORTRÆT SIDE 110
	Michael McWilliam
16	OUTRO SIDE 112
	Fremtiden

Refshaleøen,
København.

FOTO: MELISSA ØRNSTRUP

FOTO: KIM DAHL



Tillykke med de 40 år

Af Peter Hauge Madsen, institutdirektør, DTU Vindenergi

Historien om moderne vindenergi er historien om politikere og myndigheder, som så perspektiverne ved vedvarende energi og gennem støtte og ambitiøse energiplaner skabte grundlaget for et grønt energisystem.

Det er historien om enkeltpersoner, møllelaug og vindmølle-industrien, der investerede i en uprøvet grøn energiteknologi og skabte tillid og grundlag for storskalainvesteringer og internationale energiselskabers udvikling af store vindmølleparker på land og offshore.

Men det er også historien om en generation unge forskere i forskningslaboratoriet og universiteter, som tog imod udfordringen i en ukendt teknologi, og gennem forskning, udvikling, test og undervisning skabte grundlaget i form af viden, modeller og værktøjer til at konstruere en pålidelig og kosteffektiv energiteknologi og udnytte den under forskellige forhold globalt. En del af sidstnævnte fortælling er historien om DTU Vindenergi, der begyndte for 40 år siden.

I 1978 blev Prøvestationen for Mindre Vindmøller etableret på Risø. De første fundamenter til opstilling af vindmøller blev støbt på det område, der stadig huser DTU Vindenergis forskningsvindmøller, og de første medarbejdere til Prøvestationen blev ansat. Prøvestationen var en del af Handelsministeriets Energiforskningsprogram fase to, der ligeledes indeholdt andre grundlæggende tiltag på vindenergiområdet i Danmark som

målingerne på Gedser-møllen, etablering og målinger på Nibe-møllerne og udarbejdelse af Vindatlas for Danmark. Også kompositter til vinger og aerodynamik havde deres start i disse år. Skønt medarbejdere på DTU og Risø allerede havde været aktive i vindenergi, f.eks. i forbindelse med Tvind-møllen, interesseorganisationer og indledende udredninger, er 1978 således året, hvor grunden til det, der i dag er DTUs Institut for Vindenergi, DTU Vindenergi, blev lagt.

I dag, 40 år efter, er der en lige linie fra de få dedikerede medarbejdere på Risø og DTU i 1978 til DTU Vindenergi, et af de største og mest internationalt anerkendte institutter for vindenergi, hvor 250 medarbejdere, halvdelen med international baggrund, er beskæftiget. Institutet arbejder for at gøre vindenergi endnu mere kosteffektiv, pålidelig, anvendelig og systemvenlig gennem forskning, undervisning, innovation, rådgivning og test med et mål at skabe en bæredygtig energiforsyning og gøre verden til et bedre sted. I det følgende er historien om DTU Vindenergi, den teknologi der arbejdes med, personerne fra fortiden og frem til nu, samt det internationale samarbejde med andre institutioner og virksomheder.

Historien er først lige begyndt, men dette er skrevet for at gøre status for de første 40 år og minde os alle om, at et kontinuerligt og tillidsfuldt samarbejde mellem industri, politikere/myndigheder og universiteter/forskningsinstitutioner kan flytte bjerge eller i dette tilfælde udvikle en teknologi og en branche, der er godt på vej til at løfte en stor og markant del af udfordringen ved en global bæredygtig energiforsyning.

*Vindmølle ved Nørrekær
Enge med to lidars.
Maj 2015.*

FOTO: ANDERS ROUSING VESTERGAARD



KAPITEL 1 | **METEOROLOGI**

“Samarbejdet med industrien har været altafgørende”

DTU Vindenergi på Risø har udarbejdet et vindatlas for hele verden, og den detaljerede viden om vind og vejr har spillet sammen med andre tekniske kompetencer og ført til international milliardeksport.

Blandt kunderne til de detaljerede vindatlas er de virksomheder, der sætter vindmøller op, nationer, Verdensbanken og FN.

Software og modeller fra DTU Vindenergi er i dag førende inden for forskning og anvendes til placeringsberegninger af møller globalt.



Det er bl.a. koblingen mellem vindforhold og vindmølledesign, vi er dygtige til på DTU Vindenergi

Peter Hjuler Jensen, viceinstitutedirektør

DTU og Risø, herefter DTU Vindenergi, har siden slutningen af 1970'erne arbejdet med at udvikle de teknologiske muligheder for udnyttelsen af vindkraft via forskning, godkendelse, prøvning og myndighedsbistand. I hele perioden har instituttet haft et tæt og enestående samarbejde med industrien.

DTU Vindenergi har godkendt vindmøller til opstilling i Danmark fra 1979 til 1995 og har været ansvarlig for godkendelsesordningen frem til 2016, da Energistyrelsen overtog opgaven. DTU Vindenergi har siden 1980 kontinuerligt gennemført forskningsprojekter sammen med industrien.

Afprøvning af dansk industris vindmøller blev lavet fra 1979 på Risø, senere i 2002 på Testcenter Høvsøre og endelig på Testcenter Østerild fra 2012. Endvidere er der løbende etableret andre eksperimentelle faciliteter, senest en ny national vindtunnel og en Large Scale testfacilitet, der begge både er til forskningsformål og industrielt brug.

Samarbejdet med industrien er vokset støt over tid, og i dag er

40 pct. af indtægterne hos DTU Vindenergi rekvireret via arbejde for industrien, og 40 pct. af DTU Vindenergis indtægter kommer fra offentligt finansierede forskningsprojekter med industrien som deltager. DTU Vindenergi har arbejdet med meteorologien siden slutningen af 1970'erne. Forskningen i meteorologi kan på ingen måde overvurderes i forhold til betydningen for vindkraften og vindmøllernes udvikling. Området er vigtigt for møllernes relevans, og viden om vinden, hvor den er, og hvor kraftig den er, er uhyre væsentlig.

Afgørende viden

Det er i dag bevist, at energiindholdet i vinden kan være det dobbelte eller det tredobbelte ved kysterne i forhold til inde i en skov, og den type viden er afgørende for den måde, udbredelsen af vindenergien udvikles.

Det er afgørende for udnyttelsen af vindenergi, at branchen har gode redskaber til at bestemme vindenergiindholdet på det enkelte

site, den placering, der er valgt for møllen eller vindmølleparken, før vindmøllerne stilles op. Det er endvidere afgørende med metoder, der kan kortlægge de maksimale vindhastigheder, når møllen skal designes, og der skal regnes på, hvor stærk den skal være. En nøjagtig vindkortlægning har stor betydning både for, hvor store vindressourcer det enkelte land kan udnytte og ved prioritering af vindenergi i forhold til andre energikilder.

“Vi opererer med forskellige vindklasser inden for design af møller, og det er bl.a. koblingen mellem vindforhold og vindmølledesign, vi er dygtige til på DTU Vindenergi. Vi dækker alle de facetter, der er afgørende for beslutningen fra planlægning af en vindmøllepark og helt frem til, at den kan sættes i drift,” fortæller viceinstitutedirektør Peter Hjuler Jensen. 40 års intenst arbejde med forskning og udvikling af nye teknologier inden for vindkraft har resulteret i en stribe landvindinger og unikke tipping points, og Peter Hjuler Jensen, der har været med siden de allerførste pionerdage på den første Prøvestation på Risø, har sit helt eget personlige favoritbillede: “Det er et



PETER HJULER JENSEN

Viceinstitutedirektør, ansat 1979 på den første prøvestation.

Ansvarlig for godkendelsesordningen i 1980'erne.

Ansvarlig for etableringen af testcentrene på Østerild og Høvsøre.

FOTO: BAX LINDHARDT



ERIK LUNTANG PETERSEN

Ansæt på DTU siden 1970.

Leder af Meteorologisektionen fra 1977

Leder af Prøvestationen for Mindre Vindmøller fra 1980.

Afdelingsleder for Forskningscenter Risøs Vindenergiafdeling fra 1985 til 2009.

Forskningsprofessor og professor emeritus fra 2015.

billede, som beskriver teknologiudviklingen gennem de senere år. Et luftfoto af en fodboldbane.

“Tidligere kunne vi med den tilgængelige teknik måle vindforholdene foran en vindmølle svarende til vindforholdene på den lille hvide prik midt på fodboldbanen. Der, hvor bolden bliver givet op, og hvor hele fodboldbanen svarer til vindmøllens bestrøgne areal. I dag kan vi med stor sikkerhed måle vindforholdene på hele banen, eller det vi betegner som rotorplanet foran vindmøllen, hvilket illustrerer udviklingen af området. I dag kan vi bruge målinger af vinden i hele rotorplanet i beregninger af vindmøllernes respons og derved forfine og forbedre både designgrundlaget og optimeringsmulighederne i udviklingen af teknologien. Med nye målemetoder via de såkaldte lidars kan vi nu se vinden,” forklarer Peter Hjuler Jensen.

Gode ideer kommer tit om natten

I 1977 blev Meteorologisektionen og Meteorologisk Institut bedt om at udfærdige et såkaldt vindatlas for Danmark. Ideen var, at der skul-



Mens vi arbejdede på den nye metode og de nye modeller, blev pc'en opfundet, og det blev startskuddet til, at arbejdet kunne udbredes

Erik Lundtang Petersen, professor emeritus

le udfærdiges en stor samling kort, der viste vindstyrkens fordeling over Danmark i en række højder.

Tidligere afdelingschef, nuværende professor emeritus Erik Lundtang Petersen, var med fra den spæde begyndelse, og han husker tydeligt, at han vågnede op en nat og tænkte, at “det ikke går med alle de kort, men det må kunne lade sig gøre på en anden måde. Forhåbentlig ved at udvikle en brugbar metode til at beregne vindforholdene på et givet sted ud fra en overordnet vindklimatologi og stedets topografi.”

Straks efter at han var kommet på arbejde på Risø, tog han kontakt til kollegerne Ib Troen, Søren Larsen og Niels Otto Jensen, og sammen gik de i gang med at arbejde videre på ideen til vindatlas-metoden, som i dag er kendt og udbredt verden over.

Forskerne var klar over, at det betød meget, om der var tale om en kystnær placering, eller om der eksempelvis var læhegn eller bebyggelse tæt på en vindmølle.

En af de vigtige kilder til denne nye viden var dr. phil. Martin

Jensen, som blandt mange projekter havde det tekniske ansvar for konstruktionen af den nye bro over Lillebælt.

Her havde han regnet på ekstreme vindhastigheder fra forskellige målestationer, og det fik stor betydning for det arbejde, Erik Lundtang Petersen udviklede sammen med Ib Troen til det danske vindatlas.

Meteorologisk Institut analyserede 15 års trykmålinger fra Danmark og omliggende lande og etablerede klimatologien for den såkaldte geostrofvind, den uforstyrrede vind i ca. 1000 meters højde.

“Denne klimatologi kombinerede vi med vores viden om, hvordan vinden opfører sig over forskellige terræntyper, såsom enkelt landbrugsland til kystnære områder, bakker og skove. Denne viden hentede vi fra grænselagsmeteorologien. Det er et forskningsfelt, som Meteorologisektionen havde arbejdet med siden 1965. Vi havde blandt andet deltaget i flere store internationale eksperimenter,” fortæller Erik Lundtang Petersen.

Resultatet var Vindatlas for Danmark, som hovedsageligt bestod

FOTO: BAX LINDHARDT



HANS EJSING JØRGENSEN

Programleder og sektionsleder i DTU Vindenergi.

Har forsket i atmosfæriske grænselag. Efterfølgende sektionsleder for meteorologi og i dag sektionsleder for meteorologi og remote sensing samt programleder med ansvar for koordinering af DTUs strategi for forskning inden for siting og integration.

af en samling grafer og en metodebeskrivelse til, hvordan graferne skulle kombineres til beregning af en given vindmølles energiproduktion på et givet sted. Beregneren skulle bestemme terrænets beskaffenhed i otte vindretninger, og efter at have valgt de tilhørende grafer kunne beregneren forudsige vindmøllens produktion over dens 20-årige levetid på en simpel lommeregner.

“Vi har i dag masser af dokumentation for, at metoden giver gode resultater i et ikke for kompliceret terræn,” påpeger Erik Lundtang Petersen.

Den banebrydende ide førte videre til de modeller og metoder, som bruges i dag, og ideen førte også til, at EU-Kommissionen bad DTU Vindenergi om at lede arbejdet med at udfærdige et Europæisk Vindatlas. Arbejdet tog otte år, og da DTU Vindenergi ikke kunne basere sig på trykmålinger på grund af de mange bjerge, som de ellers havde gjort med det danske vindatlas, udviklede forskerne en anden helt ny og banebrydende ide.

“Vi gik ganske enkelt en anden vej. Vi fandt ud af, at vi med



Vi kommer i fremtiden til at beskæftige os med helt nye energisystemer

Hans Ejning Jørgensen, sektions- og programleder

udgangspunkt i de mange lokale målinger især fra lufthavne kunne danne et billede af den overordnede klimatologi og derefter bruge den som i det danske vindatlas,” forklarer Erik Lundtang Petersen.

Han minder desuden om, at tiden var med forskerne i den periode. De arbejdede i begyndelsen på store, centrale computere, og mens de arbejdede på den nye metode og de nye modeller, blev pc'en opfundet, og det blev startskuddet til, at arbejdet kunne udbredes og stilles til rådighed for alle andre, fordi alle modeller og metoder blev til pc-programmet WAsP, der er blevet solgt siden 1987. Publiceringen i 1989 af det Europæiske Vindatlas på seks sprog havde ifølge energiøkonomer stor effekt. Politikerne indså, at vindenergi kunne bruges overalt i Europa.

Åben data og globalt udsyn

Efter arbejdet med det danske og det europæiske vindatlas har DTU Vindenergi fortsat det banebrydende arbejde til gavn for alle, der arbejder med vindkraft. Nuværende sektionsleder Jake Badger

fremhæver en række afgørende landvindinger med betydning for meteorologiens rolle inden for vindkraft.

“For det første vil jeg nævne den globale reanalysis data setter, der er en beskrivelse af atmosfæren gennem årtier. Det begyndte for måske 30 år siden, men det bliver bedre og bedre, og vi er gået fra meget grove opløsninger til fine opløsninger med bedre tidsoplysninger, og det bliver mere og mere tilgængeligt for alle,” fortæller Jake Badger.

I dag er materialet tilgængeligt for alle, og alle oplysningerne er globale. Det bliver anvendt på DTU Vindenergi og har stor betydning for instituttets faglige område.

Da Hans Ejning Jørgensen blev sektionsleder, kunne forskerne lave vindatlas på baggrund af modellerne, og vindatlasmetoden, som der stadig arbejdes på at gøre bedre og mere præcis, blev udviklet. Forskerne har løbende inddraget flere og flere mere og mere avancerede elementer, og “fordi vi har været med i mange år, sidder vi i dag på en kæmpe viden og en stribe fortrin på dette felt,” siger



Hvis andre på et eller andet tidspunkt kommer op på siden af os, så har de ikke den erfaring, den *track record*, vi har her

Jake Badger, sektionsleder

Hans Ejsing Jørgensen. Han slår fast, at samarbejdet med industrien har været altafgørende. Det er virksomhederne, der har anvendt DTU Vindenergis produkter.

Jake Badger peger desuden på udviklingen af mesoscale modeller, og i særlig grad de modeller, som i dag er offentligt tilgængelige, og det betyder, at flere forskere og udviklere kan bruge dem. De står i dag til rådighed for alle i hele verden, og det har betydet, at hele området er blevet meget dynamisk.

“Vi fortæller omverdenen, hvordan vi synes, den nye viden skal bruges, vi er jo et universitet, og vi vil gerne være transparente, så andre kan se, hvordan vi gør det. På den måde er vi blevet en aktiv del af et større community, der anvender mesoscale modellerne, og vi har udviklet en særlig modelkæde, så man kan gå fra det ene system over i det andet med mange forskellige brugere,” forklarer Jake Badger. Han peger på den såkaldte microscale modellering, som gør forskere i stand til at komme helt ned på det præcise punkt, hvor der skal etableres en vindmølle eller mange vindmøller i en

samlet vindmøllepark. DTU Vindenergi har bidraget med at gøre de relevante modeller tilgængelige for alle og sørget for, at modellerne hænger sammen.

Lynhurtige beregninger

Jake Badger fremhæver den computerkraft, DTU Vindenergi råder over i dag. Instituttet har blandt andet sikret, at de helt afgørende supercomputere i dag er tilgængelige for flere forskere, og “vi får i løbet af foråret 2019 en helt ny supercomputer med endnu flere kræfter,” pointerer han.

Hans Ejsing Jørgensen fortæller, at den grundlæggende årsag til, at forskerne startede arbejdet med vindatlas, skal findes i nogle hurtige regneværktøjer, som kunne fortælle, hvad der skete på den meteorologiske side.

“I begyndelsen var vores resultater bygget på regulære målinger i måske 10 eller 20 meters højde. Efterfølgende skulle vi omsætte målingerne til vindressourcer i terrænet, og her revolutionerede

beregningsmetoden WASP vores arbejde,” påpeger Hans Ejsing Jørgensen. Der blev udviklet hurtige værktøjer, som kunne fungere på en almindelig computer. Dengang tog det måske 10 eller 15 minutter at lave en beregning, i dag tager det et sekund. Et simpelt værktøj, som løste en kompleks opgave, og som kunne bruges af almindelige ingeniører.

“Det var et af vores store bidrag. For meteorologigruppen var dette et seriøst tipping point, og det blev kun bedre, da vores tidligere chef, Lars Landberg, indså, at værktøjet skulle integreres i Windows, for dermed blev det et standardværktøj,” fortæller Hans Ejsing Jørgensen. Fra meteorologisk side blev der løbende udviklet mere avancerede modeller, og det førte til, at DTU Vindenergi mandede op i arbejdet med disse modeller.

Lidar har haft afgørende betydning

“Traditionelt havde vi anvendt et klassisk kopanemometer til at måle vinden. Det var dyrt at bevæge sig ud i terrænet, rejse en mast i må-

FOTO: BAX LINDHARDT



JAKE BADGER

Sektionsleder.

Uddannet i fysik (BSc) ved Imperial College, London og har en ph.d. i meteorologi fra University of Reading.

Kom til Danmark i 2000 for at arbejde med vindenergimeteorologi og ressourcevurdering.

DTU WIND FACTS

I gennemsnit har DTU Vindenergi mellem 40-45 ph.d'ere ansat.

DTU Vindenergi er en multikulturel arbejdsplads.

38 forskellige nationaliteter arbejder på instituttet.

ske 100 meters højde, men man skal gøre sig klart, at det var uhyre vigtigt at bestemme vindhastigheden et givet sted for en vindmøllepark. Fejlen på en vindhastighed, du måler, kommer måske ikke helt op i tredje potens, men den kommer op i anden potens, hvis man tager det hele med. Så hvis vi lavede en fejl på en meter pr. sekund, blev den forstærket yderligere, fordi den energi, man producerer på en vindmølle, måles i en powerkurve, der afhænger af vindhastigheden,” noterer Hans Ejsing Jørgensen.

Han forklarer, at det er vigtigt at forankre sine målinger i præcise resultater, og derfor skal man i dag op i 80 til 150 meters højde, for så høje er møllerne blevet i dag.

Hvordan kommer man derop? Ja, enten skal man bruge nogle store og dyre master, eller man kan anvende remote sensing.

Hvis man skal være helt sikker, skal der gennemføres målinger på stedet. Det er dumt at komme hjem med noget, der er ti pct. lavere end det, virkeligheden viser, for det vil helt automatisk påvirke økonomien i projektet, og en margin på ti pct. kan være helt

afgørende. Der findes eksempler fra Tyskland, hvor beregninger viste, at ejerne ville få 100 enheder ud af nogle nye møller, men det viste sig, at de kun opnåede 67 enheder. Så på den måde mistede de 33 pct. af den forventede indtægt.

“Derfor er det vigtigt at kunne lave præcise og pålidelige beregninger, og det har vi levet af i mange år,” siger Hans Ejsing Jørgensen.

DTU Vindenergi begyndte for cirka 15 år siden for alvor at arbejde med lidar, light detector and ranging og nyudviklede måleinstrumenter, som gjorde det muligt at måle ikke bare et enkelt sted, men mange steder og over lang tid, så forskerne fik fantastiske målinger, som de ikke havde haft før. Samtidig var præcisionen på det enkelte sted på niveau med et kopanemometer.

Så i stedet for at rejse en høj, dyr mast kunne man lyse op i atmosfæren i 100 meters højde og foretage de nødvendige målinger af vindhastigheden.

“Den mulighed har været med til at bringe os fremad, og vi har

siden arbejdet med at udvikle meget avancerede måleinstrumenter, der kan klare denne type målinger, billigere og mere præcist, fordi vi dækker større områder,” forklarer Hans Ejsing Jørgensen.

Udfordring med big data

Adgangen til rå computerkraft og nye målemetoder skaber en række nye udfordringer. Sektionsleder Jake Badger mener, at en af de aktuelle udfordringer for DTU Vindenergi handler om, hvordan instituttet anvender den computerkraft, der er adgang til. “Hvordan bruger vi al den data, vi råder over? Det er ikke nok at samle oplysninger sammen. Vi kan gøre mange ting med nye metoder, og når vi eksempelsvis taler om terræn og højder, har vi i dag mange forskellige oplysninger fra de forskellige satellitter, som er med til at skabe billederne af, hvordan landskabet ser ud. Det kan være bygninger, skov, landbrug, byer, ørken, vi har mange udfordringer med at finde ud af, hvordan vi bedst udnytter alle disse oplysninger omkring møllerne med tilgængelige eller nye metoder.

FOTO: MELISSA ØRNSTRUP

Og det kræver, at alle vores ressourcer og kapaciteter skal være orienteret rigtigt,” påpeger han. Jake Badger mener, at en anden udfordring i dag er, at instituttet konstant skal bevise, at det er blandt de bedste i verden. Derfor er det vigtigt at holde fast ved kvaliteten og værdierne sammen med DTU Vindenergis partnere, og han mener ikke, det er svært at holde på instituttets gode forskere.

“Folk, der arbejder her, synes, det er spændende. Vi arbejder i et miljø med meget anvendt forskning, og det er mit indtryk, at alle her er interesserede i, at deres forskning bliver brugt til gavn for at løse problemer omkring de energiudfordringer, vi står med i dag. Jeg tror, det handler om, at vi her arbejder tæt sammen med industrien, og de ansatte oplever dynamikken i samarbejdet med industrien som noget yderst positivt,” siger Jake Badger.

Styr på turbulensen

Hans Ejsing Jørgensen mener, at en af de store udfordringer for DTU Vindenergi i dag handler om at få styr på turbulensen. Han

DTU WIND FACTS

252 personer arbejder hos
DTU Vindenergi

21 pct. af de ansatte er kvinder

48 pct. har en international baggrund

Gennemsnitsalderen er 42 år

peger på, at det er et vigtigt element inden for meteorologien, som forskerne endnu ikke ved tilstrækkeligt om.

“Vi kan ikke, som vi kan med middelvindhastigheder, sige ret meget præcist om turbulensniveauer og diverse gustevents, specielt i komplekst terræn,” fastslår Hans Ejning Jørgensen.

Fluktuationer af vindhastighederne, som skyldes hele dynamikken i atmosfæren, er endnu ikke kortlagt. Det indebærer tunge modeller at løse den udfordring, og efterfølgende skal modellernes resultater gøres brugbare, for de er vigtige for industriens design af møller. Hvad skal en mølle kunne holde til? Den skal ikke være bedre og mere holdbar end højst nødvendigt.

“Det handler hele tiden om at gå til grænsen for at kunne gøre det billigere, og turbulens er et element, vi skal have bedre styr på. Vi kan i dag måle på turbulensen, men der er stadig for mange usikkerhedselementer,” indrømmer Hans Ejning Jørgensen, og peger samtidig på, at evnen til at forudsige vinden og vindstyrkerne er en anden udfordring. Som energisystemet i dag er designet, er elek-



FOTO: DTU VINDENERGI

triciteten billig, når det blæser meget, og blæser det ikke så meget, er strømmen dyr, for så er det nødvendigt med andre energikilder eller lagring.

I dag er vindenergi blevet så konkurrencedygtig, at det er muligt at producere vindenergi billigere end strøm fra et kraftværk med kul, olie eller naturgas. Men det er stadig vigtigt at forsøge at presse priserne ned og lave billigere strøm med det rigtige design.

“Vi er drevet af et ønske om mere præcise modeller. Vi skal blive bedre til at komme med forudsigelser om variationer hen over døgnet, og vi skal kunne forcaste bedre, så der bliver mere styr på indtægterne. Det er uhyre komplekst, men vi arbejder konstant med den udfordring,” siger Hans Ejning Jørgensen. Han har som programleder på tværs af de forskellige grene af forskningen blandt andet ansvar for at sætte større modelkæder sammen, så instituttet med meget avancerede eller simple modeller kan udvikle nye designs af vindmøller.

Det handler om, at forskerne skal være i stand til at fortælle,

hvor meget energi, der kan skabes ud fra en givet placering og et aftag, måske sammen med batterier, måske sammen med sol-energianlæg, i en kompleks løsning og med en mængde viden og alle detaljer om alle dele og koordinationen mellem sol og vind. Forskerne skal vide, hvordan vi kommer af med energien, eller hvordan energien kan opbevares.

“Vi kommer i fremtiden til at beskæftige os med helt nye energisystemer, og via meteorologien skal vi fortælle med størst mulige præcision, hvilken vind vi kan regne med trods store variationer i styrker og tidspunkter,” fastslår Hans Ejning Jørgensen.

Bæredygtig energi

Jake Badger er sikker på, at den bæredygtige energi er kommet for at blive. Han er overbevist om, at fremtiden vil indebære en masse arbejde for forskerne på DTU Vindenergi.

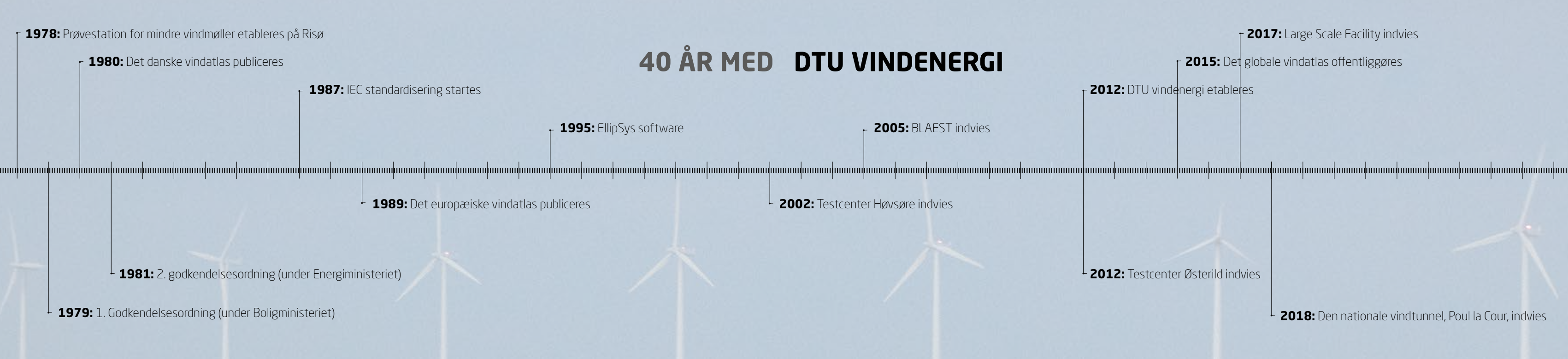
“Jeg forventer, der i de kommende år årligt vil blive installeret 20.000 vindmøller med en samlet kapacitet på 50 GW, og der

vil i den forbindelse være et behov for at undersøge cirka 80.000 lokaliteter hvert år.” Der vil dermed være et massivt behov for at evaluere vindressourcer og vindforhold, så fremtiden vil rumme stor volumen inden for vindenergi, og der vil være mange aspekter, som DTU Vindenergi kan bidrage med.

“Lige nu har vi den samlede, unikke viden inden for mange facetter af vindenergi, men jeg ved ikke, hvor længe vi kan fastholde denne unikke position. Hvis andre på et eller andet tidspunkt kommer op på siden af os, så har de ikke den erfaring, den track record, vi har,” pointerer Jake Badger.

Hans Ejning Jørgensen mener, at forskerne på DTU Vindenergi skal bevare det gode samarbejde mellem de forskellige discipliner i de respektive sektioner, og forskerne skal blive ved med at tilpasse sig og levere det, som vindenergisektoren har brug for.

“Vi skal forstå alle de væsentlige aspekter af vindenergi og vide, hvordan vi integrerer vind i en bæredygtig løsning i fremtiden,” siger Hans Ejning Jørgensen.



Når man ser tilbage på de sidste ti år, har det styrket vores kompetenceprofil og rækkevidde væsentligt at blive en del af DTU

Peter Hauge Madsen, direktør, DTU Vindenergi



Vores forskning i vindenergi er et stærkt globalt brand for DTU. Når jeg rejser rundt om i verden for at tale om DTU, er der én ting, folk kender os for, og det er DTU Vindenergi

Anders Bjarklev, rektor DTU

LARGE SCALE FACILITY

Indviet november 2017.

Gør det muligt at udføre test i meget stor skala.

Gør det muligt at forske i styrke og udmattelse af store konstruktioner udsat for komplekse belastninger.

1560 kvadratmeter stor test hall med forstærket gulv og tre prøvestande.

Med faciliteten er det muligt at teste vinger og andre slanke konstruktioner i tre forskellige størrelsesforhold: 45 m, 25 m. og 15 m.

FOTO: DTU VINDENERGI



TUHFE GÖÇMEN

Tuhfe Göçmen (30) har arbejdet på Risø i snart seks år.

Hun er uddannet aerospace ingeniør fra Ankara i Tyrkiet, og hun ønsker i fremtiden at fokusere på big data og data science.

Tuhfe bor i Valby sammen med sin kæreste og to katte, og i sin fritid spiller hun trommer i to bands.

FOTO: BAX LINDHARDT



Kvinden bag en banebrydende model til måling af energi fra havvindmøller

Tuhfes ph.d.-arbejde, PossPOW-projektet, har udviklet en metode til estimering af vindmølleparkers potentielle elproduktion i perioder med nedregulerede vindmøller for at beregne det tab, nedreguleringen medfører.

Den nedregulering, der i stigende grad foretrækkes til at styre vindmølleparkerne, hjælper vindenergien med at holde elnettet stabilt, og det er vigtigt at kende de ”tab”, dette medfører, for at få en rimelig afregning fra elsystemet for denne ydelse.

Tuhfe har arbejdet med hurtige og robuste modeller for at simulere flowet mellem møllerne. Opfølgningsprojektet, Concert, har til formål at tage arbejdet til næste niveau og udvikle strategier for at kontrollere dette flow via intelligent regulering af møllerne og dermed maksimere vindmølleparkens samlede produktion med øget levetid og reduceret usikkerhed – og stadig kunne tilbyde en rimelig afregning for nedreguleringen.

Tuhfes primære rolle i Concert-projektet er at kvantificere og reducere usikkerheden i den estimerede effekt i vindmølleparken helt

ned til hvert sekund. Hendes opgave i projektet er med andre ord at anvende de oplysninger, der registreres i vindmøllernes styresystemer (SCADA: Overvågningskontrol- og dataindsamlingssystem), til at estimere effekten af interaktionen mellem vindmøller, hvad angår samlet elproduktion inden for et bestemt interval.

Tuhfe Göçmen er i øjeblikket postdoc hos DTU Vindenergi, hvor hun fokuserer på usikkerhedskvantificering og -validering af SCADA-baseret flowmodellering og -regulering.

Hun forsker i hurtige og robuste metoder til modellering af flowet i store havmølleparker, især under ikke-optimale driftsforhold.

Hun undersøger store datasæt i forbindelse med både validering og modeltræning, herunder integrationen af den meget varierende vindkraft i store elsystemer. Hun fik sin ph.d. i Real-time Possible Power Estimation af de nedregulerede havmølleparker, PossPOW.



Risø er for mig det perfekte mix af forskning og forretning

Tuhfe Göçmen



FOTO: TIM KILDEBORG JENSEN

Mr. Windpower

Vindenergiens grand old man, Henrik Stiesdal, om de seneste 40 års landvindinger og deres betydning for den globale vindenergi.

Om de aktuelle udfordringer for DTU Vindenergi og kravene til fremtiden.



FOTO: DTU VINDENERGI

Henrik Stiesdal har om nogen levet sit liv for vindkraft. Han opfandt sin første vindmølle som 19-årig, og tre år senere var han med til at bygge vindmølleindustrien op herhjemme.

Efter en årrække i spidsen for vindmølleproducenten Siemens har Henrik Stiesdal valgt at lade sig pensionere, men det forhindrer ham ikke i at blive ved med at opfinde.

Han stopper ikke, som han siger, før han bliver tvunget til det, og der er stadig bud efter ham fra organisationer, institutter og virksomheder i hele verden.

Henrik Stiesdal har gemt en af sine allerførste opfindelser, en to-vinget hurtigløber i kælderen i hjemmet i Odense. Det var den, der for snart 40 år siden sendte ham i armene på vindkraften. Siden er det blevet til mere end 200 personlige patenter inden for vindteknologien, og Henrik Stiesdal er vel nærmest kronet som en af de mest markante pionerer inden for vindmølleteknologien.

Vi spurgte ham om DTU Vindenergis rolle for den danske vindmølleudvikling i fortid, nutid og fremtid.

Hvad vil du fremhæve som de væsentligste højdepunkter fra 40 år med DTU Vindenergi?

“Uha, der er mange, så her er kun nogle få: For det første etableringen af systemgodkendelsen i de tidlige år, som dannede grundlag for industriens vækst uden for mange setbacks på grund af børnesygdomme, og som gjorde, at vi fik en langt stærkere

position på eksportmarkeder end leverandører fra lande uden systemgodkendelsesordninger. For det andet professionaliseringen og applikations-orienteringen af forskningen op gennem 1980'erne, som gav os et kæmpe forspring sammenlignet med næsten alle andre lande, hvor forskningen i det store og hele var en rent akademisk indsats uden væsentlig dialog med industrien. For det tredje konverteringen op gennem 1990'erne af forskning til værktøjer, vel nok bedst illustreret af Vindatlasset og WASP, som fjernede en stor del af usikkerhederne ved de kommercielle projekter, og endelig etableringen af testcentrene i Høvsøre og Østerild, som gjorde det muligt at afprøve nye møller uden for mange forhindringer.”

Er der et særligt tipping point, du vil pege på?

“Nej, egentlig ikke. DTU Vindenergi og afdelingens forgængere i form af Prøvestationen for Mindre Vindmøller m.fl., har fra starten været af afgørende betydning for det danske vindkrafteventyr, så skulle der være et enkelt tipping point, må det være selve etableringen i 1978.”

Hvad har været de største udfordringer for DTU Vindenergi i samarbejdet med møllejerne og industrien?

“Periodevist har der gennem årene nu og da været en vis dekobling mellem det, industrien fandt det nødvendigt at fokusere på, og det,



De største gevinster har nok været godkendelsesordningerne og deres sammenkobling med forskningen

Henrik Stiesdal, konsulent

som interesserede forskerne. Det sprang ind imellem i øjnene i 1980'erne og 1990'erne, men er nu generelt fortid.”

Hvad har været de største gevinster for branchen?

“De største gevinster har nok været godkendelsesordningerne og deres sammenkobling med forskningen. Dette foregik i de afgørende år, hvor Danmark etablerede sig som det førende vindkraftland. I det længere perspektiv har det været af uvurderlig betydning, at man på DTU Vindenergi bestandigt har søgt at etablere og forbedre kompetencerne på nøgleområder indenfor feltet, vindressourcer, karakterisering af vindfelter, aerodynamik, strukturdynamik, materialer, styring og kontrol osv. osv., i et omfang, så man som industri altid har haft et sted at vende sig hen, når der opstod vanskeligheder, eller når man fik nye ideer, som man havde brug for dialogpartnere eller udviklingspartnere på.”

Hvad har været de største konflikter?

“Der var nogle konflikter i det tidlige år, hvad angår fokusering af indsatsen på Prøvestationen for Mindre Vindmøller. De blev afviklet i mindelighed.”

Set med dine professionelle briller, hvordan fungerer samarbejdet i dag?

“Samarbejdet fungerer aldeles fremragende.”

Hvad vil du fremhæve som det mest positive ved det aktuelle samarbejde mellem DTU Vindenergi og branchen, vindmøllejerne og industrien?

“Det er lykkedes DTU Vindenergi at opretholde sin position som det helt unikke kompetencecentrum for vindkraft, både i Danmark og på globalt plan. Det giver branchen nogle meget fordelagtige vilkår for vidensudveksling og vidensopbygning, at man har den absolutte stjernekompetence lige ved siden af.”

På hvilke fronter kunne DTU Vindenergi gøre det bedre?

“Man kunne nok med fordel satse lidt hårdere på offshore, ikke mindst på infrastrukturen, herunder fundamenter, netsystemer m.v., og så er man også nødt til at brede sig lidt mere ud til egentlige energisystemer, herunder smarte grids, platforme og energilagring.”

På DTU Vindenergi har de selv en opfattelse af, at de har en unik global position inden for vindkraft. Deler du den? Og mener du, at omverdenen har den samme opfattelse?

“Ja, den opfattelse deler jeg, og det er min erfaring, at det gør man også internationalt. Groft sagt er man alle steder misundelige på de særlige fordele, den danske industri har i medfør af det tætte samarbejde med DTU Vindenergi.”

FOTO: DTU VINDENERGI



HENRIK STIESDAL

Henrik Stiesdal er en dansk opfinder og direktør i den moderne vindmølleindustri.

Han opfandt i 1978 en af de første vindmøller, der repræsenterede det danske koncept, som dominerede den globale vindindustri i 1980'erne.

Han var indtil 2014 Chief Technology Officer hos Siemens Wind Power.

DTU Vindenergi fremhæver selv to styrker i deres arbejde, deres høje faglighed og deres åbenhed, som forklaring på deres unikke globale position. Er du enig i det?
“Ja.”

Kan DTU Vindenergi fastholde den position?
“Ja, det kræver naturligvis en bestandig indsats, men jeg kan ikke se, hvorfor man ikke skulle kunne fastholde positionen.”

Oplever du, at forskerne på DTU Vindenergi er dygtige nok til at lytte og høre efter, når industrien henvender sig?
“Ja, absolut.”

Hvad skal DTU Vindenergi efter din mening gøre for at forbedre samarbejdet med branchen?
“De skal fortsætte med at være åbne for input fra industrien, herunder lytte efter industriens fokuspunkter. Men det synes jeg også, de er gode til.”

Hvilken rolle skal DTU Vindenergi spille i fremtiden?
“Den samme som nu, med et twist. Være det absolutte kompetencecenter inden for vindkraft, og så derudover brede sig ud til også at beherske energisystemer i bredere forstand.”

FAKTA VINDTUNNEL

Indviet april 2018

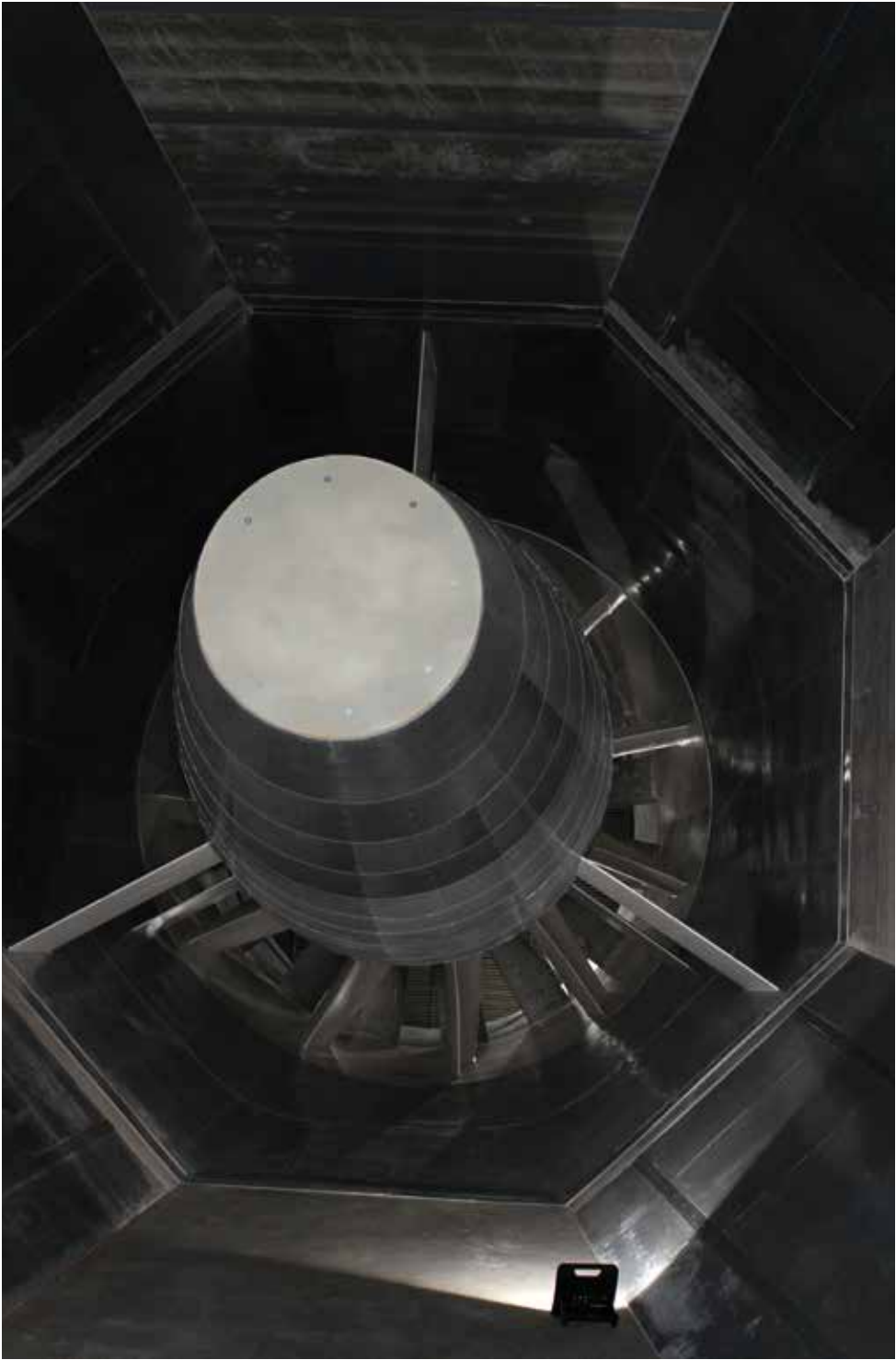
Forventes ibrugtaget i 2019.

Blandt de største universitetsejede tunneler i verden.

Kombinationen af testmuligheder gør vindtunnelen til den eneste af sin slags, ikke bare nationalt, men også globalt.

Gør det muligt at udsætte en del af en møllevinge for vindstyrker op til 105 meter i sekundet eller 378 km/t.

Det svarer til tre gange orkanstyrke.



KAPITEL 2 | **MØLLERNE**

“Perspektiverne er enorme for det, vi kæmper for”

Der går en lige linje fra vindmøllen i Tvind over verdens første prøvestation på en pløjemark ved Risø til dagens største vindmøller på land og til havs.

I 40 år har vindenergiforskerne holdt et konstant fokus på innovation, teknologi og tests på anlægget ved Roskilde Fjord.



Vi så de første store vindmølleparker herhjemme for 25 år siden, men det er først inden for de seneste fem til ti år, at vi er nået op på den store kapacitet

Peter Hauge Madsen, institutdirektør

Prøvestationen for Mindre Vindmøller blev oprettet i 1978 på Forskningscenter Risø med det formål at fremme de tekniske og økonomiske muligheder for udnyttelse af vindkraft i den danske energiforsyning.

Der er sket en massiv national og global udvikling, siden forskerne i 1988 ved stationens ti års fødselsdag noterede, at Danmark i år 2000 kunne få dækket ti pct. af sin elforsyning fra vindmøller. Forskerne pegede samtidig på, at vindmøller kunne blive en af Danmarks væsentligste eksportartikler, hvis mulighederne blev udnyttet rigtigt.

Forskerne havde formentlig ikke fantasi til at forestille sig den eksplosive udvikling, der er sket med havvindmøller, herunder arbejdet med flydende fundamenter.

“Det kan helt sikkert blive større end det marked for konventionelle havvindmøller, vi kender i dag,” siger direktør Peter Hauge Madsen, DTU Vindenergi. Flydende havvindmøller rummer ligesom store vindmøller på land en stribe mulige konflikter. På havet

er der mange interesser i spil: Fiskeri, militær og miljø, men det handler dybest set om at udnytte de havarealer, der er så dybe, at det ikke kan betale sig at etablere normale havvindmøller, fæstnet til havbunden.

Størstedelen af verdens befolkning bor ved kysterne, så hvis ønsket er at etablere havvindmølleparker tæt på kunderne, skal det ske som flydende parker, fordi der er dybt ud for mange af de kyster, hvor der bor mange mennesker, eksempelvis i Middelhavet og ved USAs kyster.

For ti år siden blev det første demonstrationsprojekt med flydende havvindmøller med navnet Hywind etableret i Norge, og DTU Vindenergi var med i det kommercielle projekt, som daværende Statoil finansierede.

“En af de store fordele med flydende møller er, at deres fundamenter er ens i modsætning til de faste møller, hvor det enkelte fundament designes og tilpasses den specifikke lokation. På grund af de ens fundamenter er flydende møller oplagte til serie- og mas-

seproduktion,” forklarer Peter Hauge Madsen. Der forskes over alt massivt i de flydende møller, i industrien og også på DTU Vindenergi. Senest har DTU gennemført en række forsøg i DHIs bølgetank for konsulent Henrik Stiesdal.

“Stiesdal er dybt involveret i arbejdet med at udvikle nye typer af fundamenter, og han er langt fremme med at undersøge blandt andet kravene til fleksibilitet, kontrollen med svingninger og modelleringer. Der findes i dag mange forskellige koncepter, men efter ti års arbejde er det stadig uklart, hvad det ender med, og hvilke standarder, vi vil se som vindere,” fortæller Peter Hauge Madsen.

Equinor, det tidligere Statoil, og en række elskaber er meget aktive i udviklingen af flydende vindmøller, og en række startupselskaber arbejder desuden intenst med disse møller. Et af de første projekter, Hywind Scotland, blev i 2017 installeret af daværende Statoil ud for Aberdeen i Skotland, men endnu er ingen fremme ved noget afgørende i den store skala.

Peter Hauge Madsen mener, at markedet for flydende havvind-

FOTO: MATTIAS ANDERSSON



PETER HAUGE MADSEN

Institutdirektør på DTU Vindenergi siden 2012.

Tidligere ansvarlig for vindenergi-afdelingen på Risø.

Bestyrelsesmedlem i Danmarks Vindmølleforening siden 2017.

2005-2006: Forskningschef hos Siemens Wind Power.

FOTO: MATTIAS ANDERSSON



FLEMMING RASMUSSEN

Program og sektionsleder.

Fokus på forskning, udvikling og anvendelse inden for aerodynamik, CFD- og CFD-strukturkobling og software-design og optimeringsværktøjer til vinger, vindmøller og vindmølleparker.

Flemming Rasmussen blev ansat hos DTU i 1978. Civilingeniør i strømningsmekanik fra DTU.

møller kan blive væsentligt større end markedet for konventionelle havvindmøller, men han vurderer, at der vil gå mere end 10 år, før markedet med flydende møller er modnet.

“Vi skal i den forbindelse huske på, at vi så de første store vindmølleparker herhjemme for 25 år siden, men det er først inden for de seneste fem til ti år, at vi er nået op på den store kapacitet. Det tager lang tid at udvikle, og det kommer vi også til at se med de flydende møller,” spår Peter Hauge Madsen.

Forskningsprojekt om flydende fundamenter sat i gang
I det norske Hywind-koncept placeres vindmøllerne på en flydende bøjle med ballast i 80 meters dybde, forføjet til havbunden. I et andet koncept, franske Ideol, er flyderen udformet som en pram på overfladen. Flere pilotanlæg har vist, at de flydende møller fungerer lige så godt som de traditionelle fastforankrede havmøller på lavere vanddybder.

Med en bevilling på 15.8 mio. kr. i 2018 fra Innovationsfonden



Da vi startede, var det 15 kW møller, nu taler vi om 10 MW møller

Flemming Rasmussen, sektionsleder

er et nyt projekt, FloatStep, netop skudt i gang. Projektet er næste skridt på vejen mod egentlig industrialisering af flydende havmøller. Her skal forskere fra DTU Vindenergi i samarbejde med førende virksomheder optimere designet af de flydere, som gør det muligt at placere havvindmøller på dybt vand.

Havvindmøller vinder frem over hele verden, men mange steder er havet som nævnt for dybt til, at møllerne kan sættes fast på havbunden.

Derfor udvikles og testes flydende havvindmøller. De skal optimere de værktøjer og metoder, som bruges til at designe og udskibe flyderne, som møllerne står på. Målet er blandt andet at gøre det billigere og nemmere at producere platforme og at tilpasse møller til dem.

DTU Vindenergi har samlet de førende danske forskere og virksomheder inden for flydende vindmøller for at udvikle og teste nye og bedre modeller til at beregne og designe vindmøllernes flydere.

Den danske vindsektor har været pioner på offshore vindenergi

og har dermed alle muligheder for at tage førertrøjen også inden for flydende vindmøller.

“Det vil vi bidrage til i projekt FloatStep,” siger projektleder og professor på DTU Vindenergi, Henrik Bredmose. Forskerne skal blandt andet udvikle nye ingeniørmodeller til at beregne, hvordan kraftige bølger påvirker flyderen og dens fortøjning. DTU Vindenergi har i en årrække arbejdet med flydende vindmøller sammen med industrien, i EU-projekter og gennem modelforsøg.

“Vi glæder os til at validere og målrette vores beregningsmodeller i et stærkt konsortium, som tæller både industrien og videnskunstige spillere. Med en kombination af modelforsøg, avancerede beregninger og analyser af fuldskaladata kommer vi hele vejen rundt,” siger Henrik Bredmose.

Den danske flyder, TetraSpar, som er udviklet af Henrik Stiesdal i virksomheden Stiesdal Offshore Technologies, er med i FloatStep som et gennemgående beregningseksempel.

Henrik Stiesdal bidrager bl.a. med data fra den første fuldskal-



I det norske Hywind-koncept placeres vindmøllerne på en flydende bøjle med ballast i 80 meters dybde, forløjet til havbunden.

ILLUSTRATION: STATOIL

audgave af flyderen. TetraSpar-konceptet skal videreudvikles i et samarbejde med Aalborg Universitet og Siemens Wind Power. “TetraSpar er udviklet for at gøre det muligt at installere offshore møller på vanddybder større end 50 meter til konkurrencedygtige priser. Vi håber, at konceptet bliver en gamechanger på offshore vindkraft,” siger Henrik Stiesdal.

Konstant fremdrift

Selvom flydende havvindmøller aktuelt fylder en del i offentligheden, er en stor del af forskningen på DTU Indenergi stadig koncentreret om klassiske mølleudfordringer. Sektionsleder Flemming Rasmussen, DTU Vindenergi, slår fast, at det i dag er uhyre vigtigt at bevare, fastholde og udbygge den nødvendige viden og gøre den tilgængelig. “Vi har, i forhold til eksempelvis USA, skabt en konstant fremdrift i vores forskning, og vi er dygtige til at udnytte vores ressourcer effektivt,” siger Flemming Rasmussen. DTU Vindener-

gi har gennem mange år opbygget viden og udviklet eksempelvis aeroelastiske programmer, der kan beregne respons og stabilitet af vingerne og sørge for, at de ikke går i svingninger. “Vi startede med at regne på en profil, så på en rotor med tredimensionelle forhold og med rotationseffekter, og det er blevet videreudviklet til nu at tage hele det turbulente in-flow med. Det har vi på det seneste koblet med strukturmodeller for vindmøllen, så alt er på et meget højere niveau. De nye metoder regner på hele strømningen omkring møllen, og det er mange grader mere avanceret,” siger Flemming Rasmussen. Fra midten af halvfjerdserne har materialeforskerne på den tidligere Afdelingen for Materialeforskning ved forskningscenter Risø, som nu er en del af DTU Vindenergi, arbejdet med at udvikle fremstillingsprocesser, materialeforståelse og testmetoder til de lastbærende materialer i vindmøllevinger. En udvikling der har gjort det muligt at hjælpe industrien med at bygge verdens længste vinger.

Helt fra starten blev glasfiberforstærket polymere valgt på grund af de exceptionelle gode udmattelsesegenskaber. En vindmøllevinge er en af de menneskeskabte konstruktioner, som skal holde til flest cykliske belastninger i dens levetid samtidigt med, at vægten og prisen skal holdes nede. Noget, der ikke har været mulig med metalliske materialer. “Jeg må konstatere, at glasfiberkompositter har vist sig at være et umådeligt godt materialevalg,” siger seniorudviklingsingeniør Jakob Ilsted Bech. “Gennem vedblivende små materiale- og fremstillingsforbedringer, som vi har været med til at udvikle i tæt samarbejde med vingeproducenterne og deres materialeleverandører, er det lykkedes at forøge vingelængden fra de 20 meter, der blev brugt på sluthalvfjerdsernes 600 kW vindmøller til de 10 gange så store 6 MW vindmøller med 75 meter vinger, som bliver brugt nu. Det er sket samtidig med, at produktionsprisen for vindmøllestrømmen er raslet ned til et niveau, hvor den nu på markedsvilkår kan udkonkurrere

fossile brændstoffer, samtidigt med at den er med til at understøtte en bæredygtigt energiproduktion,” siger Jakob Ilsted Bech. Men udviklingen af vindmøllestørrelserne er ikke stoppet her. Ved at hjælpe industrien med at introducere kulfiber i et mix med glasfiber i en hybrid komposit er det nu muligt for industrien at lave næsten 90 meter og i den meget nære fremtid over 100 meter lange vinger. En udvikling, der vil kunne presse prisen på vindmølestrøm endnu mere ned. Vingeproducenten LM Wind Power har igennem historien flere gange sat verdensrekord i at bygge verdens længste vinge. I 2016 blev de første eksemplarer af rekordvingen på 88,4 m fremstillet. Hybridteknologien, som gør dette muligt, har LM har udviklet sammen med DTU Vindenergi og AAU i forskningsprojektet Blade King.

Test af fiberkompositter

Forskningen i forbedringer af de anvendte kompositmaterialer har haft et stort eksperimentelt element, hvor nye opdagelser er sket i



Sky River vindmøllepark i USA, DTU Vindenergi gennemførte måleprogram og godkendte 247 V27 vindmøller 225 kW.

FOTO: DTU VINDENERGI

tæt samarbejde mellem materialeforskere og forskningsteknikere. “Allerede i 1983 blev vores materialeprøvningslaboratorium akkrediteret til at teste fiberkompositter, hvilket betød, at vi kunne lave målinger til certificering af nye materialer. Det fik stor betydning i 1980’erne, da danske mølleproducenter solgte tusindvis af vinger til mølleprojekter i Californien,” fortæller Jakob Ilsted Bech. “Jeg blev ansat på Risø i 2003 af Povl Brøndsted, der var en af pionererne inden for anvendt forskning i vingekompositter,” mindes Jakob Ilsted Bech. “Povl lagde vægt på, at vi skulle have det sjovt, mens vi drev materialeteknologien fremad sammen med materiale- og vingeproducenterne. Min første opgave var at udvikle en testmetode til måling af ensrettede kulfiberlaminaters trykstyrke i udmattelse. En testmetode der skulle bruges til certificering af de kommende generationer af store kulfiberforstærkede vinger. Testen blev en succes, og vi kom efterfølgende til at teste store mængder kulfiber for materialeleverandørerne og for eksempelvis vindmølleproducenten

Vestas, og de nye store vinger kom op at flyve,” siger han. Jakob Ilsted Bech fortæller, at DTU Vindenergi i de følgende år fik mere og mere fokus på også at inddrage producenterne af fibre og polymersystemer. Det førte bl.a. i 2014 til en JEC Innovation Award i kategorien Bæredygtighed for et nyt kompositsystem udviklet i samarbejde mellem materialeleverandørerne 3B Fibreglass og DSM Resins, samt vindmølleproducenten Siemens Wind Power. DTU Vindenergi er verdensledende inden for forskning i fiberkompositter og råder over et hold af flere end 20 materialeforskere og -ingeniører samt højt avancerede laboratorier til fremstilling, karakterisering og test af kompositmaterialer og sub-strukturer, hvor 15 højt specialiserede forskningsteknikere leverer det eksperimentelle arbejde. Viceinstitutdirektør Peter Hjuler Jensen minder om, at moderne teknologi baserer sig på beregninger af styrke, ydeevne og effektivitet. Med en etableret branche følger standarder for, hvordan man skal regne på formler og nye modeller, og da DTU Vindenergi

begyndte at udvikle vindmøller på Risø, fandtes den slags ikke. På DTU i Lyngby arbejdede man tidligt med relativt avancerede modelleringer, som blandt andet blev anvendt på Tvind-møllen og på elværkernes møller. Forskerne beregnede, hvor meget de svingede, og der blev regnet ud fra en givet levetid på, hvor stærke de skulle være, men i dag må det konstateres, at forudsætningerne for alle datidens beregninger var ustyrligt usikre. “Vi havde beskrivelser af aeroelastiske modeller og fysikken, men ingen havde tilstrækkelige forudsætninger for at integrere den tilgængelige viden i brugbare modeller, og industrien kunne ikke bruge vores modeller, for ingen kunne fortolke resultaterne,” fortæller Peter Hjuler Jensen. Industrien med virksomheder som Vestas, Nordtank, Bonus, som senere blev til Micon, havde måske en eller to ingeniører ansat på fabrikkerne dengang. De kunne ikke bruge de tilgængelige værktøjer fra DTU Vindenergi, så derfor blev der i begyndelsen af 1980’erne designet det

FOTO: MATTIAS ANDERSSON



JAKOB ILSTED BECH

Senior udviklingsingeniør på DTU Vindenergi. Uddannet maskiningeniør og ph.d. fra DTU. Har siden 2003 på DTU Vindenergi arbejdet med test og udvikling af kompositmaterialer til vindmøllevinger i tæt samarbejde med industrien. Fokus ligger aktuelt på at bidrage til at løse udfordringer omkring regn-erosion på møllevinger igennem en række tværfaglige forskningsprojekter.

DTU WIND FACTS

DTU Vindenergi har veludstyrede laboratorier til fremstilling samt akkrediteret udstyr til mekanisk testning af kompositmaterialer til vindmøllevinger.

første såkaldte last-paradigme. På en simpel måde blev alle forhold omkring en vindmølle beregnet. Gamle målinger tilbage fra 30'erne viste, hvor stort trykket var på møllen, når den stod stille, og hvor stort trykket var, når den kørte.

Ved hjælp af den aktuelle viden om dynamik, tilsat en masse sikkerhed, blev der samlet et simpelt sæt af designforudsætninger for det maksimale tryk, og for hvordan møllen ville blive belastet i levetiden. Helheden blev kaldt et lastparadigme.

“Det, vi lavede dengang, blev brugt som grundlag for design af de vindmøller, der blev sendt til USA, og jeg må indrømme, at noget af det var lavet på det, der kunne minde om bagsiden af en serviet,” fortæller Peter Hjuler Jensen, og han tilføjer:

“I 1980'erne behøvede vi ikke store forkromede modeller. Vi vidste godt, at de alligevel var behæftet med tonsvis af usikkerheder. Derfor lagde vi en masse sikkerhed ind, og de første møller har formentlig været fem til ti gange så stærke, som de i virkeligheden burde være. Men de holdt,” siger han. I den følgende fase kunne



FOTO: MELISSA ØRNSTRUP

DTU Vindenergi og industrien bruge de såkaldte aeroelastiske modeller, implementere dem og regne på dem med den tilgængelige viden om svingninger, vindstyrke og turbulens.

Flemming Rasmussen var blandt de allerførste ansatte på DTU Vindenergi. Han minder om, at det var pionerer og smedemestre, der lavede de første vindmøller herhjemme, og at forskerne på DTU Vindenergi hjalp en udvikling i gang.

På daværende tidspunkt foregik alt på et meget lavt teknologiniveau. Mange mente, det skulle være folkeligt, men forskerne slog fast, at hvis det skulle blive til en industri, skulle teknologiniveauet højnes, hvis målet var at anvende teknologien inden for energiforsyningen på længere sigt. Formålet med Prøvestationen på Risø var at etablere et samarbejde med industrien.

Videnskabeligt til værks

De første forskere forsøgte at gå mere videnskabeligt til værks ved at udvikle beregningsprogrammer og dermed skabe basis for et

designgrundlag af vindmøller. Det gav ikke nogen mening uden interaktion med industrien, for det var dette samarbejde, der skulle gennemføre visionen, selve ideen om at bruge vindkraft til energiforsyning.

Forskerne skulle udarbejde værktøjer, herunder software til industrien, de skulle hjælpe med viden om f.eks. aerodynamik, som industrien kunne bruge i deres designprocesser. Det blev hurtigt klart, at det var meget komplekst. Aerodynamik, strukturdynamik, styring og strøm skulle kombineres i en vindmølle. Derfor udviklede de første forskere aeroelastiske programmer, som beskriver samspillet mellem vinden og turbulensen og aerodynamikken og strukturens respons.

“Vi skulle beregne hele denne komplekse sammenhæng, og vi fandt hurtigt ud af, at vi skulle tænke langsigtet,” fortæller Flemming Rasmussen.

Meget af den første forskning på DTU Vindenergi var eksperimentel, men ifølge Flemming Rasmussen erkendte man hurtigt, at en mere teoretisk forskning var nødvendig.

FOTO: BAX LINDHARDT



ATHANASIOS BARLAS

Seniorforsker på DTU Vindenergi.

Han er oprindeligt uddannet maskiningeniør fra UTH i Grækenland i 2004.

Han er seniorforsker ved DTU Vindenergi siden 2014 med fokus på aktiv aerodynamisk kontrol og morphing strukturer.



Det er simpelthen det bedste sted at arbejde. Vi har en god kultur, jeg har masser af gode kollegaer, og vi er dygtige til at arbejde sammen

Athanasios Barlas, seniorforsker

“Vi besluttede at udvikle Computational Fluid Dynamics, CFD. Vi lavede lastmålinger på møller under turbulens, og vi undersøgte især stall regulerede vindmøller, møller med faste vinger, som ikke pitcher vingerne. På baggrund af interaktionen med industrien var vi hele tiden klar over, hvor problemerne var. Vi havde også overblik over, hvad der ikke passede, og vi forsøgte at forklare, hvorfor noget gik i stykker, og hvorfor der var utilsigtede svingninger på en specifik mølle,” fortæller Flemming Rasmussen, for hvem det vigtigste har været den tætte interaktion med industrien. Den har betydet, at forskerne hele tiden har været klar over, hvor de skulle sætte ind og dreje forskningen mod for at udvikle de nye programmer, der inkluderede den nye viden.

Basis for at optimere vindkraften

Flemming Rasmussen pointerer, at situationen nu er en helt anden for vindkraft.

“I dag taler alle om målet om et 100 pct. bæredygtigt ener-

gisystem, og det skal vindenergi være en del af. Jeg tror, vi med vindenergi kan gøre det billigst, og selv om man får videreudviklet solenergi, så vil man altid skulle bruge vindenergi. Vi startede med 15 kW vindmøller, og nu taler vi om 10 MW møller. Bag denne udvikling ligger en enorm indsats fra industrien og forskningsverdenen, som i fællesskab har skabt en solid basis for at optimere vindkraften og udvikle nye koncepter,” siger Flemming Rasmussen, og han mener, at DTU Vindenergi skal fortsætte den vigtige interaktion med industrien.

“Vi skal påvise de nye muligheder, som vi hele tiden har gjort med vores forskning og vores beregningsprogrammer. Vi skal dokumentere, hvor vi kan gå hen, hvor vi kan gøre det bedre og billigere. Jeg er overbevist om, at vi stadig har enormt mange muligheder foran os. Vi skal fokusere på det, som virksomhederne ikke er så gode til. Vi bør være de bedste til at organisere forskningen og se fremad i samarbejde med industrien.”

Flemming Rasmussen er overbevist om, at der også om 40 år vil

være noget, der hedder DTU Vindenergi. “Jeg kan ikke forestille mig en bedre model end den, vi kender i dag. Der vil også i fremtiden være industri i Danmark og forskning her på DTU. Perspektiverne er enorme for det, vi kæmper for. Jeg hører ofte, at vi nu må være færdige med udvikling af vindmøllen, men nej, det er vi slet ikke. Der er lang, lang vej igen,” siger han, “og jeg kan forstille mig mange nye koncepter, som kræver stadigt mere avancerede, komplekse beregninger og modeller.”

Viceinstitutdirektør Peter Hjuler Jensen peger på, at fremtiden blandt andet vil blive præget af nye high-performance computersystemer, som har gjort det muligt at beregne strømninger omkring profiler meget mere præcist. I fremtiden vil det være muligt at beregne levetiden for en vindmølle 20 år frem i en turbulent vind. I dag er det muligt at opløse en vinge i fem millioner punkter. Samlet kan en vindmølle deles op i måske 20 millioner punkter med beskrivelser af, hvordan alle disse punkter belastes.

“Det kræver stor computerkraft, men den har vi til rådighed i

dag,” siger Peter Hjuler Jensen. I fremtiden vil computerne være så kraftige, at de kan beskrive alle dele af en vindmølle, beregne alle former for belastning og kortlægge, hvordan møller og alle materialer reagerer på belastningen. Det vil føre til langt mere avancerede belastningsmodeller og materialemodeller i fremtidens vindmølle 2.0 eller 3.0.

“Det er den fremtid, vi ser ind i,” fastslår Peter Hjuler Jensen.

Græsk supertalent spiller en hovedrolle

Athanasios Barlas er bachelor og master i mechanical engineering fra Grækenland, og han blev for alvor interesseret i vindkraft, da han lavede sin ph.d. i Holland.

Han blev i 2011 ansat hos DTU Vindenergi i en postdoc stilling, og efter en smuttur tilbage til Grækenland for at aftjene sin værnepligt, vendte han i 2013 tilbage til Danmark, denne gang til et job som projektleder hos Siemens Gamesa i Brande.

“For mig var det god og lærerig erfaring at se branchen fra den



FOTO: DTU VINDENERGI



FOTO: DTU VINDENERGI

I Østerild ligger det nationale testcenter for store vindmøller. Her er der plads til at teste syv vindmøller på op til 250 meter. Testcentret er ved at blive udvidet med yderligere to teststande, og det vil være muligt at teste vindmøller på op til 330 meter.

anden side, og i 2014 kom jeg tilbage til Risø. Det er simpelthen det bedste sted at arbejde. Vi har en god kultur, jeg har masser af gode kollegaer, og vi er dygtige til at arbejde sammen. Jeg har i mit arbejde fri adgang til verdens dygtigste eksperter, så jeg regner helt sikkert med at blive her,” siger Athanasios Barlas. Han er et godt eksempel på nogle af de store talenter, der kommer til DTU Vindenergi fra hele verden for at fortsætte karrieren, i Barlas tilfælde for at udvikle hvad man måske bedst kan betegne som fremtidens vindmølle:

Athanasios Barlas projekt på DTU Vindenergi

“Mit arbejde på DTU Vindenergi har fokus på udvikling af den nye generation af vindmøller. Fremtidens vindmøller med meget store rotoror får nye typer vinger med aktivt deformerbare (transformerende) dele og komplekse, optimerede spidser – omtrent de samme egenskaber, som ses i en rovfuglevinge. Athanasios har arbejdet med dette de seneste ti år, og to nyere projekter er allerede

blevet realiseret i branchen. Nyudvikling af små og direkte implementerbare teknologier med stor effekt er nødvendig for at tage det næste store spring fremad inden for moderne vindmøllerotorer, og Athanasios hjælper med at konceptudvikle meget innovative vingespids- og klappkoncepter, der kan være en fantastisk løsning for innovationen inden for danske vindmøller.”

I fremtiden kommer vindmøllerne til at tale sammen

Viceinstitutdirektør Peter Hjuler Jensen tror på en fremtid med vindmøller, der kan kommunikere internt og dermed hele tiden optimere produktionen.

Med kommunikation mener han, at vindmøllen, når den bliver belastet af vinden, selv registrerer belastningen, vindhastigheden og alle andre vigtige forhold. På den måde bliver det muligt at holde øje med, hvor stor belastningen har været, og hvor meget materialet har været udsat.

“Vi får mulighed for løbende at måle på materialerne og holde

øje med, hvordan de bliver nedbrudt over tid, og om de bliver dårligere med en mindre styrke over tid. En anden væsentlig udfordring vil være vindmøllerne i fremtidens el-system.

Hvordan løses udfordringen med mere end 100 pct. elkraft fra vindenergi? I dag kan det klares det sammen med andre lande, men hvordan kan den opgave løses alene i Danmark? Hvordan etableres et energisystem 100 pct. baseret på vedvarende energikilder?

“Det er en fantastisk udfordring,” siger Peter Hjuler Jensen. Han pointerer, at forskere i 30-40 år har talt om problemet med lagring, og det er det samme i mange andre lande.

Det skal være muligt konstant at have to til tre dages energiforbrug på lager ved siden af vindmøllerne, for så kan vindmøllernes strøm anvendes, når der er brug for den.

“Jeg tror, der kommer flere forskellige løsninger. Det kunne være brændselscelleløsninger eller et stenlager, der bliver varmet op; løsninger vi ikke havde udsigt til for bare 10-20 år siden. Nu gør moderne teknologi det muligt,” pointerer Peter Hjuler Jensen.

Samtidig mener han, der er behov for mere effektivitet. Branchen er under et konstant konkurrence- og prispres, og det vil være en stor udfordring at skabe livslang effektiv levering af strøm til så lav pris som muligt. For Danmark og Europa vil dette element være afgørende i konkurrencen med Kina, som på eksempelvis solcellemarkedet har fejlet Europa af banen.

“Alle solceller bliver i dag produceret i Kina,” konstaterer Peter Hjuler Jensen og tilføjer: “Hvis vi i fremtiden skal fastholde en stor andel af den globale vindmølleindustri i Europa, herunder i Danmark, skal vi være i stand til at matche og tackle disse udfordringer. Vi skal være konkurrencedygtige på møller og teknologi, og vi skal levere strømmen så billigt som muligt.”

OSCAR GERARDO CASTRO ARDILA

Han tog en BSc (2009) og MSc (2012) i maskinteknologi på Universidad del Valle, Cali, Colombia.

I år (2018) tog han sin ph.d. i vindenergi, og han arbejder i øjeblikket som postdoc.

Han har arbejdet som forsker ved University of Delaware (2013), USA, Technische Universität Berlin (TUB) (2014), Tyskland, og universitetet i Padova (2017), Italien.

Han fik i 2013 en Grøn Talent-pris fra det tyske forbundsministerium for uddannelse og forskning.



“Mit mål er at forbedre vindmøllevingers materialetræthed”

Oscar Gerardo Castro Ardila (33) arbejder som postdoc-forsker ved DTU Vindenergi.

“Min forskning i materialetræthed i vindmøllevinger fokuserer på tre hovedområder: Udvikling af eksperimentelle teknikker i vingens længde for at gøre træthedsprøvninger mere effektive og realistiske. Dette arbejde indgår i øjeblikket i det EUDP-finansierede BLATI-GUE-projekt (Fast and Efficient Fatigue Test of Large Wind Turbine Blades).

I projektet arbejder jeg med at identificere mekanismer bag træthedsskader og kvantificering af deres indvirkning på stivhed, nedbrydning af lejekapacitet og vingernes endelige svigt. Dette arbejde startede under mit ph.d.-projekt og fortsætter i det nyligt finansierede EUDP-projekt RELIABLADE.

Projektet har til formål at udvikle og demonstrere teknikker til at skabe en Digital Twin for hver enkelt vindmøllevinge for at forbedre deres driftssikkerhed ved at opdatere deres aktuelle skadestilstand og forudsige den fremtidige skadesudvikling. I projektet udvikler jeg multiskalamodeller til forudsigelse af levetid som følge af skadesbaseret træthed baseret på eksperimentelle og numeriske observationer på de forskellige længdeskalaer. Arbejdet startede

under mit ph.d.-projekt og fortsætter i RELIABLADE-projektet.”

Oscar Gerardo Castro Ardila har været på DTU Vindenergi i fire år. Han afsluttede sin bachelor og master i Colombia og har færdiggjort sin ph.d. på DTU Vindenergi.

“Jeg regner med at blive her i mange år, men på et eller andet tidspunkt vil jeg nok gerne tilbage til mit hjemland for at arbejde med vindkraft. Colombia har i dag et enkelt pilotprojekt med en vindmøllepark, men vindenergi spiller i dag ikke nogen stor rolle i Colombia.”

Som en del af det nye materiale- og strukturprogram arbejder min kollega Martin Alexander Eder og jeg på at udforme en strategi, hvor DTU Vindenergi kan påvirke udviklingen i vindkraftsektoren positivt ved ikke kun at forbedre allerede installerede vindmøllers modstandsdygtighed over for materialetræthed, men også fremtidens vindmølledesign.

Dette arbejde er udviklet i samarbejde med forskellige sektioner på DTU Vindenergi under ledelse af Ignacio Marti, leder af Materiale- og strukturprogrammet.

“Jeg føler, jeg har alle muligheder her på DTU Vindenergi, som for mig er førende i hele verden inden for vindenergi

Oscar Gerardo Castro Ardila

KAPITEL 3 | **SAMFUNDET**

“Vi er i den grad lykkedes med at sætte viden i spil”

DTU Vindenergi har gennem 40 år spillet en afgørende rolle for det omkringliggende samfund, ikke bare i Danmark, men også internationalt.

Over hele kloden har banebrydende forskning fra Risø haft betydning for udbredelsen af vindkraft og den dertil hørende industri.

Fremtidens udfordringer handler om at fastholde og udvikle de kendte forskningsområder og opbygge nye, blandt andet e-learning og forskning i samfunds- og miljømæssige forhold.



Den danske ambassade i Pretoria, der har støttet samarbejdet med Sydafrika, sammenlignede vindatlas-projektet med at grave efter guld

Jens Carsten Hansen, sektionsleder

Viden om vindenergiens rolle for samfundsudviklingen har over tid ændret sig markant. I dag går DTU Vindenergi f.eks. forrest med internationale masteruddannelser og online e-learning.

DTU Vindenergi er i dag national og international rådgiver inden for en række felter. Herhjemme er instituttet eksempelvis rådgiver for energinet.dk., men træerne vokser dog ikke ind i himlen. Sideløbende med, at større og større vindmøller dominerer landskabet, er den folkelige modstand taget til.

Derfor har DTU Vindenergi integreret samfundsvidenskabelige perspektiver på vindmølleudviklingen med henblik på at forstå årsagerne til modstanden og indkredse løsninger.

Vigtigt arbejde med standarder og godkendelser

Den første væsentlige opgave til gavn for samfundet har været arbejdet med standardiseringer og godkendelser af teknologi og design. To ansvarsområder, der gennem årene har spillet dominerende roller for DTU Vindenergi.

Arbejdet med at godkende vindmøller begyndte i august 1979 via en støtteordning under Boligministeriet, og arbejdet fortsatte under Energistyrelsen i 1981.

Det samlede arbejde på Risø med at godkende, afprøve og senere fastlægge de første standarder har haft enorm betydning for teknologien inden for international vindkraft, og arbejdet har sikret Risø en unik global position.

Godkendelserne skete i begyndelsen ud fra helt almindelige ingeniørmæssige vurderinger, og det tog for alvor form med de første forskrifter for design og lastparadigmer.

“Jeg kan ikke påstå, at der var tale om et komplet sammenhængende system. Det fulgte først i løbet af 80'erne, udarbejdet sammen med den danske vindmøllebranche og ofte på baggrund af uheldige havarier, for det fik vindmøllejerne og industrien til at efterspørge nye metoder, så de kunne undgå havarier fremover,” fortæller Peter Hjuler Jensen.

Vindmøllerne producerede ikke nødvendigvis altid den strøm,

de skulle levere, og så blev forskerne på Risø bedt om at finde årsagen. En af årsagerne var, at vindressourcerne ikke var tilstrækkeligt undersøgte.

DTU Vindenergi modtog alle klagerne, og det var DTU Vindenergi, der stod for godkendelserne. Instituttet skulle arbejde for at gøre møllerne mere sikre, øge ydeevnen og kvaliteten og udvikle teknologien. På den baggrund begyndte DTU at udvikle anbefalinger for de forskellige områder, der indgår i et design af en vindmølle.

“Vi lavede vores første standardiseringsarbejde under Dansk Ingeniørforening i midten af 1980'erne,” fortæller Peter Hjuler Jensen.

En genial beslutning

Direktør Peter Hauge Madsen: “Det var en genial beslutning, at vi fra begyndelsen blev underlagt godkendelser og standarder, der var kendt fra byggebranchen. Jeg kan i bakspejlet se, at det var tilsvarende genialt, at vi fra starten besluttede at droppe at arbejde med rene danske standarder. Vi fokuserede fra begyndelsen på at etablere internati-

FOTO: MATTIAS ANDERSSON



JENS CARSTEN HANSEN

Sektionsleder for Integration og Planlægningen siden 2002.

Ansvarlig for en del internationale projekter og samarbejder siden 1985, senest bl.a. i Sydafrika og Mexico.

Har været ansat på DTU Vindenergi og Risø siden 1982.



FOTO: DTU VINDENERGI

I Høvsøre finder man prøvestationen for store vindmøller. Her er der plads til at teste fem vindmøller på op til 165 meter. Prøvestationen er ved at blive udvidet med yderligere to teststande, og det vil være muligt at teste vindmøller på op til 200 meter.

onale standarder, og det var da også godt, at de første internationale udvalg for standarder i 1987 fik en dansk formand, nemlig Jørgen Christensen, som på det tidspunkt var leder af Prøvestationen på Risø.”

Internationalt standardiseringsarbejde

Senere, i 1987-88, indledtes det internationale standardiseringsarbejde, og på det tidspunkt var DTU Vindenergi langt fremme i Danmark med kvalitetssikring og krav om implementering og certificering.

Instituttet havde i detaljer beskrevet, hvordan man skulle måle en vindmølles effektkurve og ydeevne, og hvilke lasttilfælde man skulle se på for at sikre sig, at den var god nok og sikker nok.

Arbejdet blev udført i den danske godkendelsesordning, og samtidig blev der gennemført projekter på EU-niveau, projekter med koordinering af de danske standarder med resten af EU.

Det interesserede de andre EU-lande, og DTU Vindenergi lavede

anbefalinger af EU-standarder. Grundlaget for den nuværende EU-struktur er udarbejdet i Danmark.

Forskerne ville selv udarbejde standarder, men vindmøllejerne og industrien krævede i de fælles diskussioner, at DTU Vindenergi blev bedre til at formalisere dokumentationsprocessen omkring godkendelse og fælles standarder.

Reelt blev det til et samspil mellem DTU Vindenergi, vindmøllejerne og industrien.

“Vi satsede internationalt, og det overbeviste vi Energistyrelsen om. I mange år var det Energistyrelsen, der finansierede det internationale arbejde med standarder på DTU Vindenergi,” forklarer institutdirektør Peter Hauge Madsen.

Efter et havari med en vinge kunne forskerne se, hvordan man kunne forbedre metoderne til at fange fejl. Setuppet blev forstærket af, at vindmøllejerne indrapporterede fejl minutiøst. Først til industrien og derefter til DTU Vindenergi, som sammen skulle forsøge at løse problemet for at forhindre, at den samme fejl opstod igen.

“Vores internationale samarbejde har haft kolossal indflydelse på komiteer, der har arbejdet internationalt med de udfordringer, som branchen har kæmpet med. Det skyldes, at vi var tidligt ude med en gennemarbejdet struktur for standarder og godkendelser,” forklarer Peter Hauge Madsen.

DTU Vindenergi bliver i dag udfordret på grund af de økonomiske interesser i standarder og de ressourcer, som internationale virksomheder kan lægge i arbejdet.

“Vores styrke ligger i, at vi er de uafhængige eksperter. Vi kan levere den viden og erfaring, som alle bruger som reference, og på den måde kan vi fastholde vores position,” mener viceinstitutdirektør Peter Hjuler Jensen.

Hele verden kender DTU Vindenergi

Jens Carsten Hansen, der er sektionsleder i sektionen for Integration og Planlægning, har i mange år rejst verden rundt for DTU Vindenergi, og han har et indgående kendskab til det omfattende

udenlandske samarbejde, der altid har karakteriseret instituttets mange specialer.

“Danmark har den absolutte førerposition inden for vindkraft. Vi råder over væsentlig ekspertviden til gavn for samfundet, teknologien og forskningen. Vi er desuden kendte over hele verden og respekteret for vores forskning og viden. Vi tog fra begyndelsen rollen som ekspert inden for teknologien, og den har vi holdt fast ved og udbygget.” Jens Carsten Hansen husker, at han allerede i 1983 var på sin første tur til øgruppen Kap Verde syd for den afrikanske vestkyst. Arbejdet fortsatte i mere end 25 år støttet af FN, Danmark og Verdensbanken.

“Første skridt i introduktionen af vindkraft var et teknologicerter med to Vestas-møller ved hovedstaden Praia. Det var en succes, og i løbet af de næste årtier fik vi etableret vindmølleparker på de fire store øer. Kap Verde havde faktisk verdensrekorden inden for vindenergi med 25 pct. af det samlede elforbrug dækket af vindkraft, indtil Danmark tog den.”



FOTO: DTU VINDENERGI

I Somalia lykkedes det at etablere et teknologi- og træningscenter. I 1985 gik turen til Indien, hvor også samarbejdet med Cowi og andre konsulentfirmaer fortsattes i retning mod professionalisering af udvikling og etablering af vindmølleparker.

De første projekter omfattede de tre første vindmølleparker i Indien. To af vindmølleparkerne var finansieret af Danmark og en enkelt finansieret nationalt.

Samarbejdet med Inden fortsatte i en årrække med dansk finansiering til støtte af opbygning af en prøvestation og et teknologicenter, hvor Peter Hauge Madsen, den nuværende direktør på DTU Vindenergi, spillede en hovedrolle.

Ved træningscenteret står der den dag i dag et træ med Peter Hauge Madsens navn på.

“Det dansk-indiske samarbejde er et strålende eksempel på linket mellem fortiden og nutiden, for i dag har vi netop revitaliseret dette samarbejde. En ny dialog har ført til en aftale, der blandt andet omfatter fælles forskningsprojekter inden for kombinerede

vind- og solkraftværker og offshore vindenergi,” fortæller Jens Carsten Hansen.

Mod større impact og verdensmålene

DTU Vindenergi har også helt fra starten haft nært samarbejde med centrale institutioner for udvikling og udbygning af vindkraft i Kina.

“Jeg stod for valget af placering, layout og udbud af den første vindmøllepark i Kina i tæt samarbejde med Cowi. Det var et resultat af et velfungerende bilateralt samarbejde mellem Kina og Danmark.

I oktober 1988 havde de en enkelt vindmølle i sving. Ud fra dens første års produktionsdata og vores måling på stedet af dens power curve bestemtes vindklimaet samt placering og designkrav til den kommende vindmøllepark. Det var en udfordrende opgave, som under normale omstændigheder ville tage flere måneder, men vi klarede alt på tre uger inklusiv opsætning og udførelse af

målekampagne. I 2000 opstod der interesse i Sydafrika. Her deltog vi med vindmålinger og vindberegninger til den nationale demonstrationspark med dansk støtte. I 2009 indledtes samarbejdet med sydafrikanske partnere om kortlægning af vindressourcer. Det har haft central betydning for den overordnede nationale planlægning af vindenergi i Sydafrika, som i dag anser at vind og sol for billigste mulighed for at levere ny energi frem mod 2050.”

De lokale lobbygrupper i Sydafrika påstod, at der ikke var nok vind i Sydafrika. Vindatlasset dokumenterede, at vinden var der og desuden fordelt på mange lokaliteter ud over hele landet, hvilket er positivt for planlægningen af vindmølleparker og for elsystemet.

“Vi stod for den meget betydningsfulde kortlægning, og jeg husker, at den danske ambassade i Pretoria, der har støttet samarbejdet med Sydafrika, sammenlignede vindatlasprojektet med at grave efter guld. Og de har jo ret i, at vi fandt store værdier for små investeringer ved anvendelse af vor viden og værktøjer” pointerer Jens Carsten Hansen.

“Her kan man tydeligt se impact af vores forskning og arbejde. Sydafrika har for DTU Vindenergi været en værdifuld udviklings- og demonstrationslokalitet, og vores arbejde har været med til at sætte nye standarder for kortlægning og planlægning.

I kølvandet på resultaterne fra Sydafrika er et lignende samarbejde med Mexico etableret under det dansk-mexicanske strategiske samarbejde inden for energi koordineret af Energistyrelsen.

Verdensbanken har også taget metoden fra DTU Vindenergi til sig. Efterfølgende er den rullet ud i foreløbig 11 lande.

“Det er sket på baggrund af erfaringerne fra Sydafrika, og senere er det videreudviklet inden for rammerne af en partnerskabsaftale om etablering, udvikling og anvendelse med de globale vindatalas og den viden, vi trækker ud af forskningen. Indsatsen i Sydafrika har dokumenteret, at strategisk forskning og internationalt samarbejde leverer et væsentligt bidrag til den grønne omstilling,” siger Jens Carsten Hansen.

MASTER OF WIND ENERGY

Kurserne er på 13 uger og starter hvert år i begyndelsen af september og februar.

- Wind Turbine Technology
- Wind Resources
- Materials for Wind Energy
- Wind energy in society: planning, social context, environment, economics
- Aerodynamics and Aeroelasticity
- Grid connection and integration of wind power
- Numerical Tools in Wind Energy
- Offshore Wind Energy
- Measurement Techniques in Wind Energy

Uddannelsen afsluttes med et afgangsprøje (15 ECTS) baseret på den enkelte studerendes specialisering.

For at tage en kandidatgrad i vindenergi skal du gennemføre ni kurser og et afgangsprøje.



Vindmøller ved Cape Town i Sydafrika.

FOTO: DTU VINDENERGI

Online masteruddannelse og e-learning

Global online undervisning er et andet og relativt nyt indsatsområde for DTU Vindenergi. Seniorforsker Merete Badger har det overordnede ansvar for en masteruddannelse og en omfattende satsning på e-learning.

“Vi satser på en online masteruddannelse og e-learning, fordi den internationale vindenergibranche er i vækst. Væksten sker i høj grad i Asien og i Nord- og Sydamerika, og det var baggrunden for, at vi i 2016 tog hul på en ny strategi under et nyt slogan: Wind Energy for the World. Med den nye strategi ønskede vi at skabe en kontrast, et modstykke til den danske forskning og den danske uddannelse,” siger hun.

“Målet er klart. Vi ønsker at skabe uddannelser for hele branchen på globalt plan. Baggrunden er en række flaskehalse, som giver udfordringer for industrien. Det er eksempelvis svært for Vestas, hvis man gerne vil rykke ind med projekter i Etiopien, for der findes ikke folk med kompetencer inden for vindkraft. På den måde

støtter vi også den danske industri med disse globale uddannelses-tilbud,” påpeger Merete Badger.

Målet for masteruddannelsen er 20 studerende på hvert semester. På det allerførste semester, der blev gennemført i efteråret 2017, var der 33 studerende.

“Vi satser massivt på e-learning som en moderne og ny vej at gå inden for uddannelse. Alle internationale tendenser peger i den retning, og jeg tror på, vi skal vænne os til, at vi med efteruddannelse og videreuddannelse kommer til at uddanne os gennem hele livet,” siger Merete Badger.

Forskning i modstand mod vindmøller

Sideløbende med den nærmest eksplosive vækst inden for vindkraft har DTU Vindenergi måttet erkende, at tiden er inde til at gøre noget aktivt ved den malurt, der også er dryppet ned i bægeret.

Etnolog Laura Tolnov Clausen forsker i de samfundsmæssige

FOTO: MATTIAS ANDERSSON



MERETE BADGER

Seniorforsker på DTU Vindenergi.

Hun er oprindeligt uddannet geograf fra Københavns Universitet i 2002.

Efter en årrække som forsker på Risø med speciale i satellitbilleder, der blev anvendt til kortlægning af vindressourcer, skiftede hun til uddannelsesområdet i 2011.



Målet er klart. Vi ønsker at skabe uddannelser for hele branchen på globalt plan

Merete Badger, seniorforsker

aspekter af vindenergi med særligt fokus på den voksende borgermodstand sammen med en tysk geograf, David Rudolph, to ingeniører, Tom Cronin og Niels-Erik Clausen fra DTU Vindenergi og Julia Kirkegaard, der har en baggrund i Kina-studier, marked og innovation.

Gruppen blev etableret i 2015 og arbejder med konflikter ved og social accept af vindmølleparkplanlægning. Møllerne og projekterne bliver større og større, og samtidig med denne udvikling er borgermodstanden vokset.

Projekterne er typisk gået fra at være mindre lokale til større projekter uden lokal forankring.

Flere kommuner har indført stop for vindmølleprojekter efter den voksende borgermodstand.

“Vi har et særligt fokus på modstanden i Danmark, fordi Danmark er et pionerland inden for vindkraft. Vi har en særlig historik med mange lokale vindmøllelaug og mange steder var der tidligere en fin lokal opbakning,” fortæller Laura Tolnov Clausen og tilføjer:

“I dag ser vi desværre en voksende lokal modstand. Vi undersøger baggrunden for modstanden og arbejder med de sociotekniske samspil, dynamikker og relationer mellem samfund og vindenergi, og hvordan vindenergi kan bidrage til en bæredygtig og social acceptabel grøn omstilling.”

Forskerne træder et skridt bag om stridighederne for at forstå, hvordan mennesker reagerer på vindmøller. De undersøger, hvorfor borgere reagerer negativt, men leder samtidigt efter åbninger og potentialer for en positiv indstilling.

“Vi ser på, hvad der fungerer, og hvad der ikke fungerer. Vi indkredser nye metoder til en bedre borgerdeltagelse, og vi ser på konsekvenserne af de politiske rammer for vindmølleplanlægning, EU-politikker og nationale politikker, og deres betydning for den sociale modstand eller accept.”

Forskerne har som en del af deres arbejde gennemført en lang række interviews med borgere, planlæggere og vindmølleudviklere for at indkredse problemstillingerernes kerne.

Én af konklusionerne fra dette arbejde er, at selve planlægningen kan generere konflikter, og derfor ligger et særligt fokus også på mulige forbedringer af planlægningsprocessen og indkredsningen af nye vinkler og metoder til borgerdeltagelse.

“Vi er en succes, når vi kan pege på mulige løsninger på de udfordringer, vi kender; når vi kan udpege forbedringer i forhold til planlægning og udvikling af vindmølleprojekter, og når disse implementeres i praksis. Når vi kan udvikle konkrete redskaber, som kommuner og vindmølleudviklere kan bruge til at forbedre interaktionen med andre aktører, for eksempel lokalsamfund. Vi holder også øje med, hvad der sker i udlandet, eksempelvis i Skotland og Norge, som har nogle andre bud på løsninger, end vi har her i Danmark,” fortæller Laura Tolnov Clausen.

Vigtige løsninger i en grøn omstilling skal helst virkeliggøres som en del af almindelige menneskers liv og i eksisterende lokale sociale, økonomiske og landskabelige rammer.

Derfor har en bred tilgang til at forstå borgernes perspektiver på

FOTO: BAX LINDHARDT



LAURA TOLNOV CLAUSEN

Laura Tolnov Clausen er uddannet etnolog fra Københavns Universitet i 2001, og hun har desuden en ph.d. i miljøplanlægning fra RUC.

Hun har i flere år forsket i borgerdeltagelse i natur- og miljøforvaltning, herunder emner som naturgenopretning, nationalparker og vildtforvaltning.



Modstandere af rydningen af skov i testcenterområdet i Østerild Klitplantage viser deres utilfredshed. Juli 2011.

FOTO: AIS NIELSEN

“

Vi er en succes, når vi kan pege på mulige løsninger på de udfordringer, vi kender; når vi kan udpege forbedringer i forhold til planlægning og udvikling af vindmølleprojekter, og når disse implementeres i praksis

Laura Tolnov Clausen, forsker

holdninger til den teknologiske udvikling vist sig at være afgørende. Modstanden handler ikke alene om, at borgerne ikke vil have vindmøller i deres baghave, det såkaldte NIMBY-argument, Not In My Back Yard.

“Det er meget mere komplekst. Borgerne reagerer ofte mod den måde, som planlægningsprocessen bliver grebet an på, herunder oplevelsen af ikke at blive hørt,” forklarer Laura Tolnov Clausen.

Efter mange år med fokus på møller på land, er forskerne i stigende grad begyndt at tune ind på havvindmølleplanlægning.

Det sker i erkendelse af, at møller i stigende grad bliver placeret på havet.

“Vi håber at kunne komme til at arbejde mere med havplanlægning. At placere møller på havet nævnes ofte som løsningen på lokale konflikter, men havet er også et landskab, som involverer en lang række aktører, og derfor er havvindmølleparker ikke ensbetydende med, at konflikterne forsvinder,” fortæller Laura Tolnov Clausen.

SØREN JUHL ANDERSEN

37 år

Adjunkt,
Ph.d. fra DTU 2014,
ingeniør fra DTU 2007.



Ekspert i hvordan og hvorfor vinden blæser, som den gør

Mit forskningsområde er aerodynamik, dvs. hvordan og hvorfor vinden blæser og dens indvirkning på vindmøllers ydelse og drift.

Mere specifikt ser jeg på slipstrømmen, området bag en vindmølle med lavere vindhastighed og øget turbulens som bag et skib.

Slipstrømmen er afgørende for vindmøller i store vindmølleparker, fordi den lavere vindhastighed giver lavere produktion, og den øgede turbulens giver en højere belastning af møllerne.

Det overordnede mål er derfor at forstå slipstrømmens dynamik, og hvordan disse bivirkninger kan reduceres for at øge vindmølleparkeres samlede virkningsgrad. Slipstrømmen i store vindmølleparker er meget turbulent og kompleks, fordi den hele tiden ændrer sig i både tid og rum.

Som forskere vil vi modellere denne kompleksitet, og der er forskellige modeller, der belyser forskellige aspekter. Jeg anvender avancerede Large Eddy Simulations (LES), der på detaljeret vis belyser det

komplekse flow og samspillet mellem atmosfæren og vindmøllerne, men kræver stor regnekraft.

Vindmølleparksimuleringen udføres på supercomputere med hundredvis af forbundne computere, der beregner i flere uger eller måneder for at nå frem til resultaterne.

Vi anvender de detaljerede oplysninger til at belyse fysikken bag for at øge vores viden om det dynamiske samspil mellem vind og vindmøller, hvor enklere modeller mislykkes, og målinger kan være vanskelige at fortolke på grund af stor usikkerhed og variation. Vi anvender desuden Hi-Fi-simuleringer til at afprøve nye koncepter og idéer om design og drift.



Vi skal blive ved med at stille de rigtige og vigtige spørgsmål

Søren Juhl Andersen

Fælles historie og fælles interesser

Den tidligere mangeårige direktør for Danmarks Vindmølleforening, nu selvstændig konsulent, Asbjørn Bjerre, roser samarbejdet mellem vindmøllejerne og forskerne på DTU Vindenergi, som efter hans mening er kendetegnet ved høj faglighed og åbenhed.





FOTO: DTU VINDENERGI

Af Asbjørn Bjerre, fhv. direktør, Danmarks Vindmølleforening

Prøvestationen for Mindre Vindmøller på Risø, DTU Vindenergi, har i hele perioden i 1980'erne og 1990'erne haft en afgørende vigtig betydning for udviklingen af driftssikre og velproducerende vindmøller.

Set i erfaringens og historiens klare lys var det et usædvanligt heldigt og klogt træk, at Prøvestationen for Mindre Vindmøller blev besluttet og etableret præcist samtidig med, at de allerførste elproducerende møller kom på markedet og blev nettilsluttede. Et virkeligt godt eksempel på en politisk beslutning, der skulle vise sig i høj grad at være rettidig omhu.

Fælles problemer

Danmarks Vindmølleforening, der de første mange år hed foreningen Danske Vindkraftværker, blev stiftet 4. maj 1978, bl.a. fordi de allerførste vindmølleejere fik en række fælles problemer.

En stor del af problemerne de første år var tekniske problemer.

Møllerne var ikke afprøvede, før de blev stillet op hos de nye mølleejere. Afprøvning, forsøg og erfaringsopsamling foregik i praksis rundt om i landskabet hos de nye mølleejere.

Fabrikanten kunne sjældent være behjælpelig. De fleste gik konkurs, når en stor del af de solgte møller gik i stykker efter kort tid. Samtidig blev prøvestationen etableret og begyndte på at arbejde med at afprøve møllerne og finde løsninger på hidtil uløste tekniske problemer. Helt fra starten opstod et tæt samarbejde mellem prøvestationen og ejerne af de nye møller og deres forening.

Møllejerne havde en stor interesse i at dele deres erfaringer med Prøvestationen. Det var jo her, der var hjælp at hente med hensyn til at finde løsninger.

Nogle af de nye fabrikanter var i starten knapt så interesserede i at fortælle prøvestationen og Vindmølleforeningen, og dermed offentligheden, om deres erfaringer og uløste problemer. Der skulle sælges møller, så de havde en, kortsigtet ganske vist, forretningsmæssig interesse i at søge at skjule problemerne.

Det sidste viste sig dog hurtigt umuligt. Vindmølleforeningen iværksatte en systemisk indsamling af driftserfaringer. Herunder produktionstal og tekniske problemer. Alt blev offentliggjort, og



Danmarks Vindmølleforening finder, at DTU Vindenergi i dag bør have langt større forskningsmidler

Asbjørn Bjerre, konsulent

et tæt samarbejde mellem vindmølleforeningen og Prøvestationen blev etableret helt fra starten. Da fabrikterne senere dannede deres egen forening, kom de også i stor udstrækning med i samarbejdet. Dels var det i deres egen interesse på langt sigt, dels kunne tekniske problemer alligevel ikke holdes skjult.

I en periode var der uenighed mellem vindmøllejernes forening og fabrikantforeningen med hensyn til, om de løsninger, prøvestationen fandt på de enkelte fabrikaters tekniske problemer, skulle være tilgængelige for offentligheden. Herunder konkurrenterne i den nye vindmølleindustri.

Fuld gennemsigtighed og offentlighed

Danmarks Vindmølleforening var naturligvis på møllejernes vegne interesseret i fuld gennemsigtighed og offentlighed. Desuden var mange af problemerne fælles for flere eller alle fabrikater. Der blev holdt en række møder om sagen, politikere blev involveret, og det endte med en beslutning om åbenhed omkring Prøvestationens arbejde og resultater.

Fra omkring årtusindskiftet har der været ret driftssikre vindmøller på markedet fra de store producenter. Fabrikkerne har deres

egne store udviklingsafdelinger. Den internationale konkurrence er hård, og vindmøllefabrikterne flager hellere med deres nye forbedringer end med problemer. Men det betyder ikke, at der ikke er brug for DTU Vindenergi.

Udnyttelsen af vindenergi er nu blevet en central del af vores fremtidige energiforsyning og en vigtig del af klimapolitiske beslutninger. Det er derfor ikke mindre vigtigt i dag end i de foregående 40 år, at der forskes i og udvikles stadig bedre vindmøller. Det er en udbredt misforståelse, at der ikke er potentiale for eller brug for at videreudvikle møllerne fra det stadie, de er på i dag. Der er også brug for forskning i klogere udnyttelse af møllernes fluktuerende produktion.

Med opsamlingen af mange års erfaringer hos DTU Vindenergi og med den store faglige viden hos medarbejderne står man her virkeligt stærkt i dette stadigt vigtigere arbejde. Også internationalt har DTU Vindenergi en helt enestående stærk position.

Danmarks Vindmølleforening finder, at DTU Vindenergi i dag bør have langt større forskningsmidler. Opgaverne bliver stadig større og i lyset af de klimapolitiske problemer hastigt mere presrende.

KAPITEL 4 | **FORRETNINGEN**

“DTU Vindenergi har etableret ny viden til gavn for industrien”

Det er en god forretning at arbejde kommercielt med vindkraft.

DTU Vindenergi har i dag både et detaljeret og kommercielt samarbejde med vindmøllebranchens aktører, og er et videntcenter med en benhård satsning på international forskning, udvikling af ny teknologi, tests samt nye forskningsområder, som industrien ikke løfter.

Nye udfordringer betyder, at DTU Vindenergi skal tilpasse sig industriens problemer og gerne medvirke til at løse dem, samtidig med at der forskes og uddannes kompetente kandidater.

Efter energikrisen i begyndelsen af 1970'erne var der et erklæret politisk ønske om at skabe et alternativ til de kendte energiformer.

“Vi fik bevilget forskningsmidler til test og analyser, fordi vi skulle hjælpe den spæde danske industri i gang,” fortæller institutdirektør Peter Hauge Madsen, som var blandt pionererne på Prøvestationen.

“På den måde blev vi, med alle de fordele som senere fulgte, født ind i et velfungerende samarbejde med møllejerne og industrien.”

På grund af den samlede sektors succes har Risøs forskning, testarbejde, godkendelsesarbejde og arbejdet med danske og internationale standarder været nyttig for industrien og myndighederne.

“Her er det værd at bemærke, at hele den akademiske del med blandt andet undervisning først er kommet til meget senere i forløbet. Det er først inden for de seneste 10 til 15 år, at uddannelse er kommet til at spille en hovedrolle,” noterer Peter Hauge Madsen.

Han fortæller, at det i de første mange år handlede om at medvirke til at skabe en industri i Danmark.

Det begyndte med afprøvninger og teknologier, der relaterede sig til praktikken, derefter fulgte forskningen med metoder og modelleringer, der førte videre til den reelle dannelse af den danske industri og efterfølgende innovation og tæt samarbejde mellem DTU Vindenergis kompetente forskere og de hastigt voksende danske industrivirksomheder inden for vindkraft.

Det helt afgørende kendetegn for DTU Vindenergi har været en konkret mission fra starten.

“Vi skulle gøre en forskel og hjælpe industrien, og de danske myndigheder og vi havde en fælles mission, et overordnet formål,” forklarer Peter Hauge Madsen.

Teknisk direktør Anders Vedel fra Vestas slår fast, at DTU Vindenergi har været en afgørende faktor for udvikling af den danske vindenergisektor. Instituttet har med sit uvildige præg og den forskningsmæssige tilgang haft stor betydning.

“DTU Vindenergi har løftet nogle af de vigtige opgaver, som vi har arbejdet med i industrien, og deres indsats har medført, at vi i dag kan betegne Danmark som et globalt kompetencecenter for vindenergi. Risø har kontinuerligt været på forkant og udnyttet de muligheder, de havde, og jeg må konstatere, at uden DTU Vindenergi havde det ikke set sådan ud herhjemme. Instituttet har været særlig stærk på værdiskabelse, og de har hjulpet industrien med at differentiere sig fra konkurrerende industrier på verdensplan,” påpeger Anders Vedel.

DTU har formået at udvikle og forstå teknologien

Bo Juul Pedersen er direktør for den kinesiske energikoncern Goldwind i Danmark. Han mener, at DTU Vindenergi fra start var gode til teknologiudvikling, test, godkendelseskriterier og procedurer for vindmøllerne, og at kompetencerne blandt andet blev skabt via det tætte samarbejde med de små smedemestre, der udgjorde kernen i de første år.

Han peger på, at DTU Vindenergi siden har formået at udvikle og forstå teknologien, udnytte den til bedre og mere konkurrencedygtigt design, og et af de klare kendetegn har været en udtalt evne til at etablere ny viden til gavn for industrien.

“Der har nærmest været en symbiose mellem industrien og DTU Vindenergi, blandt andet fordi man fra industriens side fra start havde meget lidt formel teoretisk og eksperimentel viden og derfor var helt afhængig af et samarbejde,” siger Bo Juul Pedersen

og fremhæver en stribe analyseværktøjer som resultatet af et yderst professionelt udviklingsarbejde på Risø.

“Et af de bedste eksempler er nok WAsP, Wind Atlas Analysis Application Program, hvor arbejdet generelt har været præget af et dedikeret fokus på at kommercialisere forskningen, og forskerne har spillet en væsentlig rolle som problemknusere. Det var også tilfældet omkring de såkaldte stall-inducerede kantsvingninger, et såkaldt aeroelastisk stabilitetsproblem, som blev konstateret i vores simulationsmodeller, men som også viste sig at forekomme i virkeligheden. Her var forskerne på DTU Vindenergi gode til gradvist at konsolidere den teoretiske forståelse af problemet, hvilket gav industrien gode forudsætninger for at udvikle og succesfuldt implementere praktiske løsninger,” siger Bo Juul Pedersen.

Derfor fik DTU Vindenergi tæt samarbejde med industrien

Institutdirektør Peter Hauge Madsen forklarer, at DTU Vindenergi i de første år var et af en række forskningscentre. De største konkurrenter var USA og Holland, men han mener, at Danmark vandt kampen, fordi Risø gik sammen med de andre aktører i sektoren om et internationalt sigte fra starten.

Danmark var desuden begunstiget af, at det første store marked viste sig at være USA, så “vi fik det internationale ind med modermælken. Vi arbejdede fra begyndelsen med denne rækkefølge: Proof of concept, dokumentation, udvikling og ansættelse af kvalificerede kandidater. Det fungerede hos os.”

Peter Hauge Madsen mener, at Risø har vundet sin del af forretningen, fordi aktørerne i den samlede danske sektor havde en fælles mission i forhold til de andre lande.

“Mange af de elementer, vi arbejdede med, var oplagte til at blive

FOTO: GOLDWIND



BO JUUL PEDERSEN

Direktør og cheffingeniør i Goldwind Denmark.

Uddannet ingeniør fra Aalborg Universitet.

Tidligere selvstændig konsulent i Windaps, chefkonsulent i konsulentvirksomheden Rambøll og R&D Director i LAC Engineering.

VESTAS

Vestas har 35 års erfaring med vindmøller og 24.400 ansatte globalt.

Totalt har Vestas etableret flere end 66.000 vindmøller. I 2019 rundede de en samlet kapacitet på 100 GW.

Møllerne er opsat i 79 lande fordelt over seks kontinenter.

Vestas havde i tredje kvartal 2018 en omsætning på 2,811 mia. euro.

finansieret af industrien, og det foregik uden voldsomme sværds slag, fordi vi kæmpede sammen om den fælles mission.”

Bo Juul Pedersen fra Goldwind pointerer, at DTU Vindenergi har samlet en stærk forskergruppe inden for aerodynamisk design.

Gruppen har udviklet en række nye vingeprofilerier, Risø P, Risø B og Risø C, som i dag alle bliver anvendt i industrien.

“DTU Vindenergi har i høj grad fokuseret på de moderne krav til lavere laster og størst mulig effekt-produktion. Jeg vil dog også fremhæve et enkelt felt, hvor industrien ikke havde mulighed for at trække på DTU Vindenergis kompetencer i forbindelse med et meget kritisk teknisk problem. I slut-90’erne og starten af 00’erne havde vi problemer i industrien med en række gearkassehavari, og der må jeg konstatere, at Risø ikke havde de nødvendige kompetencer i forhold til denne problemstilling.”

Bo Juul Pedersen vil til gengæld gerne kreditere DTU Vindenergi for den store åbenhed i formidlingen, der altid ifølge ham har været kendetegnende for instituttet.

Han fortæller, at han personligt har lært meget af de mange Risø-rapporter gennem årene, og at publikationerne har haft afgørende betydninger for mange i branchen. Åbenheden gjaldt også, når DTU Vindenergi blev kontaktet udefra.

Kinesisk topchef tilbragte tre måneder på Risø

“Jeg kunne nævne mange personer, der har været mine faglige livliner i de forskellige job, jeg har haft. Jeg har altid modtaget god, åben, konstruktiv og professionel sparring, og denne åbenhed har også haft direkte indflydelse på min nuværende arbejdsgivers tilstedeværelse i Danmark.”

En af grundlæggerne af Goldwind, Wu Gang, opholdt sig for



DTU Vindenergi har evnet at etablere ny viden til gavn for industrien

Bo Juul Pedersen, adm. direktør, Goldwind Denmark

næsten 30 år siden tre måneder på DTU Vindenergi i Roskilde, hvor han, som han selv udtrykker det, lærte alt om vindkraft og den danske vindmøleteknik med adgang til al den afgørende litteratur på området.

“Jeg er sikker på, det har spillet en rolle for, at i Kina anerkendes Danmark som både den moderne vindenergis vugge og et nuværende akademisk og industrielt videnscentrum, og at Goldwind i dag er til stede i Danmark med et tæt samarbejde med DTU Vindenergi,” siger Bo Juul Pedersen.

Anders Vedel, teknisk direktør på Vestas, fremhæver en fælles udfordring, som Vestas kæmpede sammen med DTU Vindenergi om i årene fra 2009 til 2012.

“På grund af et voldsomt pres på os hovedaktører i industrien om hurtigt at levere resultater og nye landvindinger til gavn for markedet, var der i disse år et klart fokus på lavere omkostninger. Det kastede os ud i en række diskussioner med forskerne på Risø om behovet for forskning på lang sigt, mellemlang sigt og på kort

sigt. Begge parter havde tydeligvis behov for denne debat, og jeg må sige, at vi kom godt igennem det. Vi var presset til at bringe hurtige resultater ud på markedet, og det krævede mange møder at opnå enighed om også at fokusere på den korte sigt,” forklarer Anders Vedel og tilføjer, at de mange diskussioner førte til et godt og frugtbart samarbejde om adskillige projekter.

Goldwind og DTU Vindenergi har arbejdet tæt sammen om de vigtige processer bag vindmøllers placering i terrænet.

Bo Juul Pedersen fortæller, at samarbejdet har fungeret godt med fornuftige resultater.

Han er sikker på, at Goldwind vil fortsætte samarbejdet i fremtiden på baggrund af de gode præmisser, og han kan sagtens se andre områder med basis for samarbejde, eksempelvis offshoreteknologi og herunder aeroelastisk modellering, stabilitetsanalyse og aerodynamisk design.

“Samlet må jeg anerkende DTU Vindenergi som verdensledende på disse felter,” siger Bo Juul Pedersen.

GOLDWIND

Goldwind har 20 års erfaring i vindmøllebranchen og har installeret mere end 28.500 vindmøller på globalt plan med en samlet kapacitet på mere end 44 GW.

I 2017 var Goldwind verdens tredje største vindmølleproducent efter Vestas og Siemens Gamesa.

Goldwind opererer på seks kontinenter og har i dag flere end 8.000 ansatte, heraf 30 i Danmark.

Den kinesiske vindmølleproducent Goldwind etablerede i 2016 en udviklingsafdeling i Danmark.

Peter Hauge Madsen pointerer, at det er vigtigt at holde fast ved et tæt samarbejde med industrien.

“Vi skal fokusere på det, som industrien ikke gør eller magter. Vi skal stadig forske, og vi skal kunne blæse og have mel i munden. Vi skal tilpasse os industriens problemer og gerne medvirke til at løse dem, samtidig med at vi forsker og uddanner kompetente kandidater. Vi skal yde vores til arbejdet med at udvikle endnu mere konkurrencedygtige vindmølleteknologier i de kommende år, men vi skal også arbejde med helt nye energisystemer, som kan føre den grønne omstilling fremad og implementere nye aspekter til gavn for forbrugerne og hele samfundet. Vi kommer til at se en samlet massiv samfundsændring på energiområdet, og her skal vi være med. Det har vi forudsætningerne for og kompetencerne til,” pointerer Peter Hauge Madsen.

Bo Juul Pedersen er enig i, at der er såvel udfordringer som trusler for et institut som DTU Vindenergi. Han vil helst ikke dryppe for meget malurt i bægeret, men han peger på, at nogle af instituttets stærke områder måske er truet af spørgsmålet om yderligere innovationspotentiale.

“DTU Vindenergi må vurdere, om det reelt er muligt med flere forbedringer inden for udvalgte fagområder i forhold til at bidrage til yderlig reduktion af *levelized cost of energy*, LCOE. For os i industrien er det vigtigt at nedbringe omkostningerne, og jeg er spændt på, hvordan eksisterende såvel som nye forskningsmål på DTU Vindenergi i fremtiden kan reducere LCOE yderligere,” siger Bo Juul Pedersen.

Anders Vedel fra Vestas peger på, at alle parter i fremtiden har behov for at fortsætte samarbejdet og sikre et fællesskab om den langsigtede forskning.



FOTO: GOLDWIND

“Vi bliver i industrien selv bedre og bedre til at formulere udfordringer og krav til forskning på den lange sigt. Udfordringen vil være at holde fokus og sikre en samfundsmæssig forståelse for alle aspekter af den vedvarende energi i de kommende år. Mulighederne vil være enorme, og jeg er sikker på, at vi sammen med DTU Vindenergi kan fastholde en stærk international position i fremtiden.”

Ny forretning med målinger og avanceret måleteknologi

DTU Vindenergi er verden over anerkendt for sine målinger og evnen til at udvikle avanceret måleteknologi. Seniorforsker Rozenn Wagner forklarer om fremtiden for arbejdet med at rådgive industrien:

“DTU Vindenergi har mange års erfaring med vindmålingsteknikker fra klassisk vindmåling til jordbaseret og satellitbaseret fjernmåling. Vi bidrager på alle niveauer til udviklingen af måleteknikkerne. DTU Vindenergi udvikler selv nye måleteknologier, men

samarbejder også med en række uafhængige måleteknologiprocenter for at give de mest lovende teknologier den krævede nøjagtighed. Gennem instituttets tætte samarbejde med vindenergibranchen, herunder danske og internationale vindmøllefabrikanter og udviklere af vindmølleparker, har DTU Vindenergi en dyb forståelse for slutbrugernes behov,” siger Rozenn Wagner.

Spinner-vindmåleren er patenteret af DTU Vindenergi og gør det muligt at optimere elproduktionen fra en enkelt vindmølle i meget stor skala. WindScanner-systemet, der kombinerer flere scanning-lidars, er et resultat af det tætte samarbejde med uafhængige lidar-producenter og DTU Fotonik.

Ifølge Rozenn Wagner er nye måleteknikker centrale for at effektivisere udviklingen af nye vindmølleparkprojekter.

“WindScanners gør det muligt at måle flowet omkring vindmøller i fuld skala, og hvordan terrænet i fuld skala, såsom bjerge, skove og træer, påvirker vinden. Disse terrænkaraktistika er en udfordring for numerisk modellering, og detaljerede målinger kan



Vi har opbygget spidskompetence inden for lidar-teknologi ved at samarbejde med lidars-OEM-producenterne fra et meget tidligt udviklingsstadie for 15 år siden

Rozenn Wagner, seniorforsker

forbedre de modeller, der anvendes til at estimere vindressourcerne overalt på jorden.”

Rozenn Wagner har i 12 år været en del af DTU Vindenergi. Hun mener, at DTU Vindenergi er i helt front, hvad angår metoder: “DTU Vindenergi søger en indgående forståelse af målemetoder og har fokus på at uddrage de mest relevante oplysninger af målingerne. Vi har et stærkt fokus på udvikling og publikation af metoder og bedste praksis.

Når nye måleteknikker har nået et udviklingsniveau, der passer til industriens behov, fungerer DTU Vindenergi som måleleverandør og -konsulent, mens erhvervskunder har brug for pilot- eller demonstrationsprojekter for at blive overbevist sig om den nye teknologi og lære at anvende den. Nacellemonterede lidars har f.eks. vist sig at være en driftssikker og smidig teknik, der opfylder behovene for test af en vindmølles effekt.

De første demonstrationer blev gennemført i forsknings- og udviklingsprojekter i samarbejde med DTU Vindenergi og li-

dars-OEM-producenter, mølle-OEM-producenter og udviklere af vindmølleparker. Via disse projekter kunne vi publicere en række tekniske rapporter og tidsskriftsartikler med anbefalinger om brugen af dette instrument til effekt- og belastningsprøvninger af vindmøller.”

Udfordringen ligger i at få ny måleteknologi accepteret af certificeringsorganerne og indført i internationale standarder. DTU Vindenergi har spillet en ledende rolle i udarbejdelsen af en opgave, der er specifik for vind-lidars i det internationale Energy Agency Wind Technology Collaboration Programme (IEA Wind Task 32) og i introduktionen af lidars i Den internationale elektrotekniske kommissionsstandard (IEC 61400-12-1 Ed.2), siger Rozenn Wagner og fortsætter:

“DTU Vindenergi er bindeleddet mellem de nye måleteknologier og slutbrugerne i vindenergiindustrien. Via projektsamarbejde, rådgivning og lederuddannelse underviser vi industrien i de nye måleteknologiers muligheder, men også i deres begrænsninger og

den rigtige måde at bruge dem på til deres behov. Vores formål er at forbedre vindindustrien ved hjælp af korrekt og sikker brug af avancerede måleteknikker. Mens vi arbejder på bedre at forstå lidar-teknologien, forsøger vi også at finde frem de næste måleteknikker, der vil gøre en forskel i vindmølleindustrien. Der vil blive nået en milepæl, når lidars anvendes i stedet for en målemast i alle relevante anvendelser.”

FOTO: BAX LINDHARDT



ROZENN WAGNER

Seniorforsker.

Kandidat i anvendt matematik og maskinteknik fra Bordeaux, Frankrig. Ph.d. fra DTU.

Rozenn har arbejdet hos DTU Vindenergi i 12 år og er i dag leder af forskningsprojekter og standardisering af lidarar til vindenergi.

FAKTA MULTIROTOR

En konceptmølle, bygget og sat op i 2016 i samarbejde med Vestas på DTU Risø Campus.

Konceptmøllen har en højde på 74 meter.

Effekt: 900 kW.

Taget ned december 2018.



ÁSTA HANNESDÓTTIR

Ásta er uddannet atmosfærefysiker fra Københavns Universitet.

Hendes speciale omhandlede bestemmelse af det atmosfæriske grænselags højde. Ásta er netop startet som postdoc i DTU Vindenergi, hvor hun bl.a. skal være med til at udvikle et globalt atlas over såkaldte siting parametre for vindmøllestandarder.

Ásta Hannesdóttir er 36 år, gift med en gymnasielærer i matematik og fysik, og de bor på Frederiksberg med deres tre børn på ti, syv og to år.



Ásta har undersøgt mange års målinger af vindhastigheder

Ásta Hannesdóttir har netop afsluttet sin ph.d. afhandling om ekstreme vejrforhold, især kraftige vindstød, og hvordan de påvirker vindmøller. I afhandlingen har hun undersøgt fluktuationer i vindhastigheder på forskellige skalaer. Fra småskalaturbulens til store såkaldte kohærente fluktuationer.

I forbindelse med sin ph.d. har Ásta undersøgt mange års målinger af vindhastigheder fra forskellige målestationer, hvor fluktuationer identificeres ved hjælp af forskellige detektionsmetoder.

Ásta har udviklet en metode, der kan bruges til at identificere og karakterisere pludselige stigninger i vindhastigheden. Denne metode giver estimer for amplituden og stigningstiden, som efterfølgende beskrives statistisk.

For at kunne bestemme vindforholdenes påvirkning på vindmøller, er der lavet simuleringer af forskellige vindforhold. Disse simuleringer bruges herefter i kombination med en aeroelastisk software, som anvendes til beregninger af vindmøllelaste.

Disse laste sammenlignes med lastmodeller udspecificeret af den førende standard for vindmøllesikkerhed. Denne standard er dog lavet ud fra meget generelle betragtninger om ekstreme vindforhold, og hvilke laste de påfører vindmøllens forskellige dele.

Resultaterne fra Ástas afhandling kan derfor bruges til at udpege forskelle mellem standardens modeller og de faktiske målte vindforhold.

Afhandlingen giver en bedre forståelse af ekstreme vindforhold, og hvordan de påvirker vindturbinerne, og det kan gøre os i stand til at lave forbedrede sikkerhedsstandarder, så produktionsomkostningerne ikke bliver for høje som følge af overforsigtighed eller uforudsete vejrforhold.

Vindenergi kan på den måde fastholde sin rolle som en velegnet mulighed for at bidrage til verdens energiforsyning.



Min afhandling giver en bedre forståelse af ekstreme vindforhold

Ásta Hannesdóttir



KAPITEL 5 | MENNESKER

“Jeg har arbejdet med vind hele mit liv og har nydt hvert øjeblik”

Nogle mennesker har gjort en særlig forskel for DTU Vindenergi.

Mange forskere på DTU Vindenergi har været med fra de første dage på Prøvestationen på Risø, drevet og fastholdt af et godt arbejdsmiljø, faglige udfordringer og et brændende ønske om at gøre en forskel.

Helge Aagaard Madsen og sønnen Mads Holst Aagaard Madsen har begge valgt at forske på Risø.

Politikere og erhvervsledere har årvågent fulgt udviklingen fra sidelinjen.



Min far arbejder med de hurtige beregningsmodeller, der måske er 95 pct. rigtige og præcise for det, vi laver herude, og jeg arbejder med de sidste fem pct.

Mads Holst Aagaard Madsen, ph.d.-studerende

Forskningsspecialist Helge Aagaard Madsen og hans søn Mads Holst Aagaard Madsen har en fælles passion for vindkraft.

Mads bliver nogle gange spurgt, hvordan det er at arbejde sammen med sin far, og så siger han: “Jamen, ham kan jeg godt lide.” Der kan nu godt gå flere dage, uden at de ser hinanden.

Helge Aagaard Madsen er en af dem, der har arbejdet på DTU Vindenergi i mange år uden at have et afbræk til industrien. Han har nemlig arbejdet på DTU Vindenergi siden 1984.

Han arbejder i dag med ingeniørmodeller, simulerer aerodynamik og aeroelasticitet, alt sammen afgørende elementer for industriens designprogrammer.

“Min far arbejder med de hurtige beregningsmodeller, der måske er 95 pct. rigtige og præcise for det, vi laver herude, og jeg arbejder med de sidste fem pct.,” siger Mads med et stort, drillende smil. Far og søn arbejder i den samme afdeling, og det har de gjort, siden Mads kom til Risø for to år siden.

Helge blev først uddannet som akademiingeniør i 1977, siden

civilingeniør med en ph.d. inden for aerodesign fra Aalborg Universitet.

“Jeg har arbejdet med vind hele livet, og jeg har nydt hvert øjeblik. Jeg havde meget tidligt i min karriere en kort afstikker til Jysk Teknologisk Institut, hvor jeg afprøvede samlinger i fjernvarmerør. Der indså jeg, at jeg skulle arbejde med vindkraft, og siden har jeg ikke set mig tilbage,” siger Helge Aagaard Madsen. Senere havde han en kort afstikker til konsulentvirksomheden Cowi.

“Det var dog kun tre måneder, og nej, udsigten til en markant højere løn lokkede mig ikke tilstrækkeligt, jeg ville hurtigt tilbage til DTU Vindenergi,” siger Helge Aagaard Madsen.

Hans interesse for vind begyndte med et par inspirerende lærere, som åbnede hans øjne for vinden. Senere var han under sit studie på besøg på Tvind, og han husker, at han tænkte: “Hvis de kan, så kan vi også komme langt med teknologien.”

Begge Helge Aagaard Madsens afgangsprojekter handlede om vind. “Jeg må bare konstatere, at mit liv med vind har været super spæn-

dende. Der er sket en enorm udvikling fra den periode, hvor vi var på den allerførste prøvestation herude på en pløjemark og frem til i dag. Jeg havde på ingen måde forstillet mig det omfang af vindkraft, som vi ser i dag. Jeg har fået lov til at arbejde med mange vilde og eksperimentelle projekter, og jeg har aldrig overvejet at skifte fag,” fortæller Helge Aagaard Madsen.

Et perfekt match

Sønnen Mads Holst Aagaard Madsen er uddannet i fysik fra Københavns Universitet.

“En gang ville jeg arbejde med hospitalsfysik, og jeg har også undersøgt mange andre specialer, men jeg har nok hele tiden vidst, at jeg ville ende med at arbejde med fluid dynamik,” siger Mads, der nu i to år har arbejdet på samme arbejdsplads som sin far. Han er kandidat fra sommeren 2016 og blev straks ansat på DTU Vindenergi.

“Det afgørende punkt for mig har helt klart været mit speciale, hvor

jeg simulerede transitionen til turbulens. Herefter stod det klart, at jeg ville fortsætte med at arbejde med fluid dynamik, men gerne i en mere industriel relevant sammenhæng. Derfor blev DTU Vindenergi et perfekt match for mig.”

Helge og Mads er enige om, at kernen i arbejdet på DTU Vindenergi i høj grad handler om samarbejdet med industrien.

“Det er fantastisk at arbejde med tung, vigtig forskning, der fører til noget,” siger de samstemmende og peger på, at det er ånden fra tiden med den allerførste prøvestation, der stadig er forankret et eller andet sted i væggene.

“På DTU Vindenergi er vi stadig præget af pionererne fra dengang. Flere har endnu sin daglige gang herude, og for en ung forsker gør det et stort indtryk at se. Folk er her af lyst og har med tiden opbygget stærke samarbejder på tværs af forskellige specialer,” siger Mads Holst Aagaard Madsen. Han understreger, at det er et fantastisk godt sted at være som ung forsker.

Samarbejdet med industrien virker som en attraktiv gulerod. Alt,



FOTO: DTU VINDENERGI

FOTO: : BAX LINDHARDT



HELGE AAGAARD MADSEN

Forskningsspecialist på DTU Vindenergi.

Civilingeniør fra Aalborg Universitet med en PhD fra 1982 i flowmodellering af vertikalaksemøller.

Ansæt på Risø i 1984 og senere DTU Vindenergi med speciale i aerodynamik, aeroelasticitet og akustik.

hvad der arbejdes med på DTU Vindenergi, er relevant for industrien, og dermed også for de unge forskere. Han er sikker på, at alle de andre unge på Risø er enige med ham i, at det er uhyre vigtigt, at forskningen en dag vil føre til noget meget konkret, der for alvor betyder noget.

“Jeg kan sagtens forestille mig, jeg bliver her længe, måske lige så længe som min far. Det er jo ikke for sjov, at min far er blevet her, og kontinuiteten er væsentlig, og som ph.d. studerende er vi vildt for-kælede. Alt er tilgængeligt hele tiden. Vi nyder stor frihed, har gode vejledere og en direkte adgang til kompetente professorer; de førende forskere og specialister i verden er rundt omkring os, vi har et godt miljø, og der er stor international interesse for de konstant 40-45 ph.d. stillinger, vi har her,” pointerer Mads Holst Aagaard Madsen. En af pionererne, der har været med fra begyndelsen, er viceinstitut-direktør Peter Hjuler Jensen. Han tøver ikke et sekund, da han bliver bedt om at karakterisere sine næsten fire årtier på DTU Vindenergi.



Der er sket en enorm udvikling fra den periode, hvor vi var på den allerførste prøvestation herude på en pløjemark og frem til i dag

Helge Aagaard Madsen, forskningsspecialist

“Jamen, det har været et eventyr. Det har været et privilegium at være med, jeg føler mig heldig,” siger han og spoler tiden tilbage til dengang, påklædningen bestod af overalls, striktrøjer og skulder-langt hår.

Han husker, at han var en del af en gruppe studerende, der hjalp med at få den ikoniske Tvind-mølle på vingerne, og samtidig var han aktiv i OOA, Organisationen til Oplysning om Atomkraft, og i OVE, Organisationen for Vedvarende Energi. Mest det sidste.

“Samtidig arbejdede jeg på Risø, der var blandt landets domi-nerende frontkæmpere for atomkraft på dette tidspunkt, og det betød, at der var mange kritiske øjne rettet mod os. Vi skulle yde meget mere end alle andre for at dæmme op for den skepsis, der var knyttet til, at vi kom fra Risø.” Peter Hjuler Jensen fortæller, at DTU Vindenergi for ham personligt har været et dybt fascinerende sted at arbejde. Han er konstant blevet udfordret, efter han blev akade-miingeniør i 1978 og ansat på Risø i januar 1979.

“Jeg har tænkt, åndet og levet for vindmøller, og jeg kan derfor nu skrive under på, at man ikke kan flytte bjerge, hvis man ikke knok-ler. Jeg har i sandhed oplevet, at engagement skaber mirakler.”

Sublimt samarbejde

Peter Hjuler Jensen husker de mange år med vindmøller fyldt med konflikter og udfordringer, men heldigvis har der været flest gode dage, som han udtrykker det.

Han understreger blandt andet et sublimt samarbejde med vind-mølleejerne og virksomhederne i industrien.

“Mine venner er i dag primært inden for vindmøller, mens mine børn er gået helt andre veje. Min søn Simon læser til socialrådgiver, og Johanne med efternavnet Schmidt Nielsen kender de fleste nok efter hendes mange år i spidsen for Enhedslisten. Jeg har boet 25 år på Christianshavn, renoveret to byhuse, og nu bor jeg i parcelhus i Slangerup med min nye kone.”



Vi i den næste generation er klar til næste fase for DTU Vindenergi, og jeg kan se masser af spændende udfordringer for os i de kommende år

Nikolay Dimitrov, seniorforsker

Institutdirektør Peter Hauge Madsen er en anden af pioniererne fra tiden med den første prøvestation.

Han er uddannet bygningsingeniør i 1979 og begyndte straks på sin ph.d. på Risø samme år.

Den handlede om stokastisk dynamik og pålidelighed, og relationen til Risø var at undersøge jordskælvs betydning i forbindelse med atomkraftværker.

“Efter halvandet år på den front søgte jeg mod vindkraften, og jeg kunne hurtigt se, at jeg kunne anvende min viden om principperne for design af bygninger i arbejdet med vindmøller. Jeg fik tilfredsstillet min store medfødte nysgerrighed og fik nye udfordringer. Det har kendetegnet mit arbejdsliv frem til 2008, hvor jeg som leder igen fik nye udfordringer i at arbejde med mennesker.”

Peter Hauge Madsen er gift og har tre drenge. Henrik (30) bor på Filippinerne og arbejder som it-konsulent. Mikael (27) arbejder som revisor i Deloitte, og Magnus (23) læser datalogi på Københavns Universitet. “Nej, der er ikke nogen af dem, der arbejder med

vind, men jeg kan da huske, at de alle har lavet gymnasierapporter om forskellige dele af den klimagrønne energi.”

Peter Hauge Madsen pointerer, at det har været vigtigt for ham at kunne se et formål, en mission med sit arbejde, og det er en personlig tilfredsstillelse, som han siger, “at vi nu kan se, at det gik, som vi drømte dengang i slutningen af 1970’erne. Vi har haft enorm impact, og det er væsentlig for mig. Vi ville påvirke verden, ja gerne redde den, og jeg kan vel godt sige, at det er lykkedes. På den baggrund vil jeg sige, at jeg har haft et godt og indholdsrigt arbejdsliv.”

Næste generation må fortsætte det gode arbejde

Nikolay Dimitrov (37) er blandt de mange unge talentfulde forskere på DTU Vindenergi. Nikolay tog sin bachelor i Bulgarien og sin kandidatexamen på DTU i 2008. Efter fem år på Siemens, hvor han gennemførte sin erhvervs-ph.d. i pålidelighed og sandsynlighedsteori, kom han i 2013 til DTU Vindenergi.

“Jeg oplever et væld af muligheder, stor læring, og jeg oplever

konstant, at grænserne bliver skubbet med spændende udfordringer. Jeg er glad for samarbejdet med kollegerne, vi har et klart formål, og jeg nyder den store fleksibilitet og de spændende opgaver, som er den direkte årsag til, at jeg i dag er på DTU Vindenergi,” fortæller Nikolay Dimitrov. Han mener, at en stor del af udfordringerne for DTU Vindenergi i fremtiden vil være eksterne, og han er sikker på, at DTU Vindenergi stadig vil have tætte relationer til industrien, men industrien vil vokse længere væk fra Danmark, og derfor vil der være behov for et mere internationalt og globalt scope for forskerne på Risø.

“Samtidig vil vi i fremtiden se et behov for forskning, der vil være attraktiv for ekstern finansiering, og det vil stille nye udfordringer til vores forskning. På den ene side vil vi blive presset af det politiske system og af industrien til at fokusere på kortsigtet og meget resultatorienteret forskning. Det skal gå hurtigt, være bedre og billigere, og på den anden side har vi også brug for langsigtet og mere dybdegående forskning. Denne balancegang vil være en udfordring for ikke bare

FOTO: BAX LINDHARDT



NIKOLAY DIMITROV

Seniorforsker på DTU Vindenergi.

Nikolay er uddannet civilingeniør fra DTU i 2008 med speciale i vindenergi. I 2013 gennemførte han sin erhvervs-Ph.D. i strukturpålidelighed af vindmøllevinger.

I dag forsker han hovedsageligt i anvendt statistik for vindenergi, blandt andet i emner som maskinlæring, pålidelighed, og risikoanalyse.



Den udvikling, vi har set, ville ingen have troet mulig for måske bare 25 år siden, og jeg oplever hele tiden, at det kommer bag på folk

Ida Auken, MF, Radikale Venstre

os her på DTU Vindenergi, men for forskningsmiljøet generelt,” mener Nikolay Dimitrov. Han siger, at DTU Vindenergi skal fortsætte med at levere unikke og brugbare resultater til gavn for alle dele af branchen, “we simply need to keep up the good work.”

“Det vil vi være i stand til. Vi i den næste generation er klar til næste fase for DTU Vindenergi, og jeg kan se masser af spændende udfordringer for os i de kommende år,” siger han. Nikolay regner med at blive i Danmark og arbejde på Risø. “Jeg bor i Virum, er gift, ja hun er også ingeniør, og vi har tre børn på et, fem og syv år.”

Et stort klimamirakel

Hvis der findes en dansk politiker, som sætter miljø højt på dagsordenen, må det være Ida Auken fra Radikale Venstre.

Hun kalder historien om det danske vindmølleeventyr for et stort klimamirakel.

“Jeg kan ikke rose det nok, at vi i dag kan levere de billigste energipriser med bæredygtig energi i forhold til alle andre energikilder.

Den udvikling, vi har set, ville ingen have troet mulig for måske bare 25 år siden, og jeg oplever hele tiden, at det kommer bag på folk. På en konference i Delaware i USA kunne jeg stolt fortælle om de priser på strøm, vi kan se frem til fra 2021 fra den kommende vindmøllepark på Kriegers Flak i Østersøen. De andre deltagere troede ikke på mig, før jeg viste dem dokumentationen. Vi har fat i et mirakel, som slet ikke er kendt nok ude i verden,” siger hun.

Hun mener ikke, at udviklingen havde været mulig uden den enorme forskningsindsats fra DTU Vindenergi.

“De skal have en stor del af æren for den position, som Danmark har inden for vindkraft, og en del af årsagen skal findes i den korte afstand, der er mellem de politiske beslutninger, virksomhederne i vindmølleindustrien og forskningen på DTU Vindenergi. Vi skal alle være med til at sikre, at denne trebenede skammel ikke vælter, alle tre ben er uhyre vigtige, for at vi kan fastholde og udbygge den position, vi besidder herhjemme, og skamlen fungerer kun, hvis alle tre ben fungerer optimalt,” siger hun.

Ida Auken vil gerne rose DTU Vindenergi for at gå forrest inden for såvel hardware- som softwareudviklingen.

Udfordringerne i de kommende år handler i særlig grad om at sikre, at forbrugerne kommer med i den fremtidige udvikling.

“Vi skal alle sammen inddrages i det smarte forbrug, og i den forbindelse skal DTU Vindenergi drive forskningen og tiltrække de bedste kræfter fra hele verden. Det har været en stor udfordring at gå fra 0 til 50 pct. af det samlede elforbrug herhjemme fra vindenergi, og når vi nu skal gå fra 50 til 100 pct., vil det kræve, at vi forbrugere og industrien bliver aktive i den omstilling. Det kræver et avanceret og mangefacetteret system, anvendelse af kunstig intelligens og Internet of Things, når vi skal have alle digitale installationer til at tale sammen for at udnytte strømmen bedst muligt på de rette tidspunkter,” siger Ida Auken.

Hun er overbevist om, at det vil lykkes DTU Vindenergi at fastholde den position, som instituttet i dag besidder på globalt plan. “I fremtiden kommer det til at handle lige så meget om IT som

FOTO: STEEN BROGAARD



IDA AUKEN

Ida Auken er cand.theol. og medlem af Folketinget for Radikale Venstre.

Miljøminister 2011-2014.
Indviede Testcenter Østerild.

Hun blev valgt for første gang for Socialistisk Folkeparti den 13. november 2007. Hun skiftede til Radikale Venstre i 2014 og blev ved valget i 2015 genvalgt i Københavns Storkreds.



DTU Vindenergi skal være aktiv i kampen for at skabe et samlet vidensmiljø i international topklasse

Anders Eldrup, tidl. adm. dir. DONG Energy, tidl. departementschef

teknologi i forbindelse med udnyttelse af de store mængder data, vi råder over,” siger hun.

“Derfor skal DTU Vindenergi være klar til at arbejde sammen med andre dele af DTU, som er langt fremme på IT-området. Jeg tror på, det vil lykkes, for Risø råder over de relevante og nødvendige kompetencer.”

En værdifuld fødselshjælper

Anders Eldrup har fra sine positioner i spidsen for DONG Energy og en række organisationer holdt et vågent øje med DTU Vindenergi.

Fra sine formandsposter i Offshoreenergy.dk og LORC har han et aktuelt og detaljeret kendskab til de udfordringer, der kendetegner instituttet i dag og i de kommende år.

“DTU Vindenergi har været helt afgørende for den udvikling, vi har set inden for vindindustrien herhjemme. Husk på, det hele begyndte med en stribe små smedemestre og Ole Opfinder-typer,

som kun var i stand til at agere på markedet, fordi de kunne trække på det videnscenter, der hurtigt opstod på Risø. Takket være de fremsynede forskere, kunne smedemestrene holde styr på teknologien, og jeg er overbevist om, at uden Risø havde vi ikke set den udvikling, vi har haft i den danske vindmølleindustri,” siger Anders Eldrup.

Han påpeger, at DTU Vindenergi har været en værdifuld fødselshjælper for de små opstartsvirksomheder, der ikke havde egen forsknings- og udviklingsafdeling.

“Risø var en afgørende og vigtig hjælper, så de små virksomheder ikke bare blev kortvarige døgnfluer. Forskerne på Risø kunne hjælpe med afgørende viden om alle vitale dele af en vindmølle,” siger Anders Eldrup.

Han pointerer desuden, at vi aktuelt står i en helt anden situation.

“I dag er markedet præget af markante konsolideringer. Virksomhederne er blevet færre, og de aktører, der er tilbage, er blevet

massivt større. Virksomheder som Vestas og Siemens kan i høj grad selv stå for den nødvendige udvikling, men på trods af dette grundvilkår, så har DTU Vindenergi stadig en vigtig rolle at spille. Trods de konsolideringer, vi har set, er det stadig svært for de store virksomheder at etablere og drive et testcenter, som eksempelvis det, DTU Vindenergi har skabt i Østerild. Et center i den størrelsesorden ville være en umulig opgave for en enkelt virksomhed. Tilsvarende med den imponerende vindtunnel, der netop er blevet indviet på Risø; her byder DTU Vindenergi ind med et setup, som selv de allerstørste virksomheder på markedet ikke er store nok til at stå for.”

Anders Eldrup siger, at det er godt, at DTU Vindenergi i dag med testfaciliteter, demonstrationer og ikke mindst med uddannelsen af de nye, kompetente ingeniører, leverer det, som industrien i den grad har behov for. Fødekæden med en konstant uddannelse af højt kvalificerede ingeniører er et prædikat, som DTU Vindenergi skal værne om.

“Industrien har brug for de bedste folk og det bedste uddannel-



ANDERS ELDRUP

Anders Eldrup er tidligere departementschef i Finansministeriet og tidligere administrerende direktør i olie- og naturgasselskabet DONG, senere DONG Energy, i dag Ørsted A/S.

Han er i dag bestyrelsesformand i LORC (Lindoe Offshore Renewables Center) og Grøn Energi, Rockwool Foundation, Terma A/S, Experimentarium og Danmarks Tekniske Universitet.

DTU WIND FACTS

Skåle til måling af vindens hastighed, de såkaldte kopanemometre, er udbredte over det meste af kloden, og de er udviklet på DTU Vindenergi.

sesmiljø. DTU Vindenergi skal være aktiv i kampen for at skabe et samlet vidensmiljø i international topklasse,” siger Anders Eldrup og slår fast, at fremtiden i høj grad handler om de nye udfordringer, der vil komme til at påvirke DTU Vindenergi.

“Virksomhederne vil blive endnu større i fremtiden. Vi har allerede set Vestas slå sig sammen med deres japanske kolleger, vi har set Siemens teame op med deres spanske konkurrent; fremtiden vil blive domineret af få og endnu større aktører, og i den konstellation skal DTU Vindenergi finde sin nye rolle. Samtidig flytter de største markeder for både landmøller og havvindmøller rundt på hele kloden, fjernt fra Danmark. Vi ser lige nu udviklinger i blandt andet USA, Indien og Sydøstasien. Tidligere var der en videnskerne samlet omkring Danmark, i fremtiden kommer DTU Vindenergi til at kæmpe meget mere for at fastholde den nuværende position. Jeg er dog sikker på, at DTU Vindenergi nok skal finde den nye rolle at spille,” siger Anders Eldrup.



FOTO: MATTIAS ANDERSSON

Han gør opmærksom på, at det i fremtiden desuden vil være en udfordring, at DTU Vindenergi som et universitetsinstitut repræsenterer hele samfundets viden, som naturligt bør stilles til rådighed for alle.

Skal finde en ny balance

De største virksomheder, og de bliver som sagt kun større i årene fremover, har ikke den samme interesse i åbenhed. De vil opfatte det som yderst farligt at dele ny og afgørende viden med eventuelle konkurrenter, og i dette dilemma skal DTU Vindenergi ifølge Anders Eldrup finde en ny metode, en ny balance, så det bliver muligt som et universitetsinstitut at fastholde en åbenhed, samtidig med at man samarbejder med industrien.

“En stigende grad af ekstern finansiering af specifikke institutter sker via projekter, der er koblet sammen med kommercielle aktører. Også her vil der i fremtiden være tale om en ny rolle for et centralt

placeret DTU Vindenergi. Jeg kan se, der vil være behov for tunge, store innovationsprojekter med fokus på det, industrien skal anvende i overmorgen, ikke i morgen, for det kan se godt selv klare. Dette skifte vil være en udfordring for den måde, midlerne i dag bliver bevilget på, for her er der desværre ofte fokus på den korte sigt,” siger Anders Eldrup.

Han pointerer, at det vil være en generel udfordring for DTU Vindenergi at udvikle de projekter, som industrien ikke selv kan magte. Eksempelvis den udfordring, som hele branchen kæmper med for tiden, nemlig fundamenterne til de flydende havvindmøller. Det kunne ifølge Eldrup være en oplagt opgave for forskerne på DTU, en opgave, der formentlig kommer til at vare adskillige år, før de nødvendige løsninger er fundet og testet. En opgave, der strider imod de bevillingssystemer, der for tiden styrer universitetsverdenen.

“Dertil kommer, at forskerne på Risø efter mine oplysninger for

tiden ikke er fokuseret tilstrækkeligt på forskning omkring disse flydende fundamenter. Det er et problem, et dilemma, som DTU Vindenergi skal finde en løsning på. DTU Vindenergi skal finde en ny plads i forhold til de voksende industrivirksomheder og finde ud af, hvad man i fremtiden skal tilføre industrien.”

Behov for ny kurs og ny dynamik

Christina Aabo har fra sin position som forskningschef for Offshore i Ørsted fulgt DTU Vindenergi gennem mange år.

Hun fremhæver en række fine kompetencer og flotte resultater fra forskerne på Risø og i Lyngby.

Hun svinger også krabasken over et lettere støvet, gammeldags og noget anekdote-orienteret institut, som skal vågne op, hvis fremtidens globale udfordringer skal tackles effektivt.

Undervisningsformen trænger måske også til et eftersyn, og ledelsen skal turde udstikke en ny kurs for det 40 år gamle institut.



Andre universiteter presser sig på, og DTU Vindenergi skal værne om sin position på nøgleområder på markedet

Christina Aabo, forskningschef, Ørsted

Christina Aabo anerkender fuldt og helt de historiske bedrifter, der kendetegner DTU Vindenergi.

Hun roser instituttets præstationer og forskning inden for de klassiske nøgleområder i vindenergien, vindmøllerne, teknologien, modeller for møllernes effekt og møllernes aerodynamiske design.

“Her besidder DTU Vindenergi unikke, globale kompetencer. De har desuden opbygget en stor viden om vindmølleparker, her er de meget stærke, takket været et stort antal dygtige forskere og mange års indsats,” siger hun.

Christina Aabo fremhæver desuden DTU Vindenergis evne til at koble uddannelse sammen med forskning inden for vindenergi.

“De var tidligt ude med en masteruddannelse, som unge studerende fra hele verden søger efter deres bacheloruddannelse. En masteruddannelse, hvor de er absolut førende i verden.”

Men så holder rosen op.

Christina Aabo påpeger, at instituttet efter hendes mening i for høj grad hænger fast ved tidligere tiders resultater.

Stedet emmer i dag af de gode gamle dage og fortidens bedrifter.

“Jeg har hørt de samme anekdoter et antal gange. Mange af de ansatte har været med helt fra den første prøvestation på Risø, og de fokuserer stadig ofte på de samme forskningsområder. De er gået lidt i stå, og det er et problem.”

En tidslomme

“Hvordan kan det være, at der er så få, som har søgt over i et udfordrende job i industrien? Og gerne er kommet fra industrien efter nogle års karriere der? Mange har aldrig arbejdet andre steder, de har aldrig lavet andet.” Christina Aabo føler, at hun af og til går ind i en tidslomme, når hun bevæger sig ind på DTU Vindenergi. Forskningschefen fra Ørsted savner mere dynamik og en mere moderne tilpasning til den hastigt voksende globale industri, der for tiden udvikler sig med stormskridt på alle fronter.

“DTU Vindenergi er ikke helt oppe på den samme klinge,” mener hun.

Christina Aabo pointerer, at DTU Vindenergi måske trænger til et gearskifte, og hun hæfter sig ved, at instituttet ofte fremhæver et fint samarbejde med industrien.

“Jeg må sige, at det især hviler på fortiden. I dag er der behov for en bedre forståelse af vindenergimarkedet, og at samspillet med os og andre virksomheder er en pæn udfordring, som de skal tage fat i nu. Andre universiteter presser sig på, og DTU Vindenergi skal værne om sin position på nøgleområder på markedet.”

Polyteknisk læreanstalt

Christina Aabo noterer, at DTU Vindenergis undervisningsform med klassisk holdundervisning med en forelæser, der skriver noget på en tavle, som flittige studerende skriver af, virker noget gammeldags.

Det ånder stadig af “de gode gamle dage på polyteknisk læreanstalt”, og hun peger på, at man måske skal prøve at udvikle sig på undervisningsformene.

“Ingeniørfaglig dybde er godt, men de studerende lærer rigtig meget ved at arbejde projektorienteret i grupper. En større orientering af de studerende i forhold til at løse problemer sammen med en ekstern virksomhed ville også være en mulighed. Det giver studerende og senere kandidater, som er unikke på, hvordan man arbejder og omsætter sin viden efter universitet. Dermed ved de også noget om økonomi, businesscases og projektledelse, og det er præcis, hvad vi efterspørger i industrien,” påpeger hun.

Forskningschefen roser DTU Vindenergi meget for den nye online masteruddannelse, som efter hendes mening flot flugter fremtidens behov for modulopbygget videre- og efteruddannelse.

“Det er tydeligt, at de satser massivt på nye, digitale uddannelser, og det er godt set,” siger Christina Aabo.

“Det kan være med til at sætte DTU Vindenergi på verdenskor-

tet i forhold til at være stedet for distance-opgradering af ingeniører fra andre industrier og ind i vindenergibranchen. Virkelig godt tænkt,” tilføjer hun.

Hun håber, at det kan være med til at vise dem vejen fremad og væk fra de klassiske og ofte noget manuelle ingeniørdiscipliner. Der skal være fokus på en dybt specialiseret viden, som kan anvendes i praksis.

“I dag handler det både om at mestre den dybe tekniske viden og om at samarbejde på tværs. Det er den tværgående viden og evnen til at se de store sammenhænge, vi efterspørger i industrien,” siger Christina Aabo.

Forskerne på DTU Vindenergi skal også blive bedre til at samarbejde med andre relevante institutter på DTU, for det fungerer efter hendes mening ikke helt godt nok i dag, set fra en industri som spænder over mange discipliner og dermed institutter.

“Det er vanskeligt at få de forskellige institutter til at tale sammen, og set udefra kan de ikke finde ud af arbejde sammen på tværs. Det er en udfordring i dag, og ikke mindst i fremtiden, hvis DTU gerne vil være en samarbejdspartner på mange aspekter af vindenergi.”

Tung konkurrence på vej

En anden massiv udfordring i fremtiden vil være, at DTU Vindenergi vil blive udsat for tung international konkurrence inden for både forskning og uddannelse.

“Allerede nu oplever vi en voldsom stigende interesse for vindenergi over alt i Europa og ikke mindst på store markeder som Taiwan og USA. Alle vil gerne vise flaget inden for forskning og uddannelse, og når vi i dag tegner lokale kontrakter med eksempelvis en amerikansk stat på østkysten, så bliver der presset på, for at vi også engagerer os med lokale universiteter der. Det er en forudsæt-

FOTO: ØRSTED



CHRISTINA AABO

Head of R&D, Wind Power, Ørsted.

20 års erfaring fra vindenergibranchen.

Bestyrelsesmedlem Hydratech Industries.

Medlem af InnoBooster, Innovationsfonden, Danmark.

Uddannet ingeniør i 1997 fra Aalborg Universitet.

MED TILLADELSE FRA BRISTOL UNIVERSITY



ANDREW GARRAD

Doctor of Engineering,
Bristol University.

“Risø har udgjort et stærkt fundament i vores branche”

Af Andrew Garrad, Doctor of Engineering, Bristol University

Risø Prøvestation for *mindre vindmøller* er blevet voksen. Det er mere end bare en prøvestation, og den er bestemt heller til små vindmøller mere. Jeg har oplevet denne transformation som en mere kommerciel, men ikke desto mindre videnskabeligt drevet udlænding.

Risø – jeg kalder det stadig Risø, uanset hvad det hedder nu – har været min ven, samarbejdspartner og undertiden også min konkurrent gennem flere årtier.

Jeg har stadig meget stor respekt for institutionen. I begyndelsen udgjorde Risø et solidt grundlag for branchen.

Dengang overlevelse blev anset som en succes, var Risøs ”Designretningslinjer for vindmøller” med til at holde vindmøllerne kørende. Prøvestationen har været en trofast støtte for dansk industri og spillet en aktiv rolle i teknologiens udvikling globalt.

Risøs aktiviteter har dækket hele spektret fra sensorer til tenso-rer! For os ikke-danskere stod det klart, at Risø tog sine nationale opgaver lige så alvorligt som institutionens videnskabelige interesse, hvilket er et meget dansk karaktertræk. Heldigvis for mig har kom-mercialiseringen af aktiviteterne været institutionens stærke side.

Risøs enestående fokus på videnskab har været forfriskende i en stadigt mere kommerciel verden. Dets korte flirt med certifice-ringens verden skyldtes måske, at denne aktivitet ikke er banebry-dende forskning, men snarere anvendelse af eksisterende viden. Mine særinteresser for aerodynamik, dynamik og aeroelasticitet har

været en vigtig del af Risøs aktiviteter, og vores fælles indsats kan ses i en lang række standarder og ”regler”.

Er det et særtræk ved et lille land, at en enkelt institution kan vælges som det eneste nationale ”depot” for en bestemt teknologi eller industri?

Med denne pragmatiske og fornuftige tilgang har Risø kunnet udvikle sig og vokse og dermed skabt et sted, hvor hele verden kan finde ekspertviden. Min virksomhed havde en lignende rolle i Storbritannien, men uden den offentlige støtte, som Risø har, så jeg sku-et misundeligt over Nordsøen. Græsset er altid grønnere på den anden side! Risø er et eksempel på et vigtigt element i branchen i almindelighed: Man bliver hurtigt afhængig af vindenergi

Mange af industriens pionerer fra starten på Risø blev der hele deres arbejdsliv. Nogle få er der stadig! En sådan videreførelse af viden har enorm værdi i en branche i rivende udvikling. Risø har udgjort et stærkt fundament i vores branche og spillet en vigtig og meget dansk rolle i branchens vækst og succes. Risø længe leve – uanset hvad det nu hedder.



Risø er et eksempel på et vigtigt kendetegn for branchen generelt: Man bliver hurtigt afhængig af vindenergi

Andrew Garrad, Bristol University

MICHAEL MCWILLIAM

Michael McWilliam (37) er uddannet i Victoria, tæt på Vancouver i Canada.

Kom til Risø for tre år siden efter sin ph.d.

Michael begyndte at læse om vindenergi i 2003, og der stødte han på Risø.



Canadier ville tættere på vindindustrien

Michael McWilliam ville gerne tættere på industrien, og han er meget begejstret for Risø, som efter hans mening rummer alle tænkelige aspekter af vindenergi

Jeg arbejder inden for området med to navne: “Systemteknik” og/eller “Tværfaglig designoptimering”.

Disse områder blev primært udviklet til luftfarten, hvor man ønsker maksimal ydelse i en kompleks maskine med mange samvirkende dele.

Jeg har derfor forsket inden for luftfarten. Den konventionelle tekniske tilgang er at opdele en konstruktion i komponenter, såsom aerodynamik, strukturel dynamik osv.

Derefter ser eksperter nærmere på netop disse aspekter, ét ad gangen. Men i virkeligheden arbejder disse forskellige dele i høj grad sammen. Når man fokuserer på kun én komponent ad gangen, går man således glip af mange muligheder i samspillet. Min forskning er derfor baseret på en systemtilgang, hvor man

integrerer alle vindmøllens forskellige dele i én enkelt arbejdsgang. Derefter anvendes tværfaglige designoptimeringsteknikker (MDO) til at udvikle bedre vindmøller for fremtiden.

MDO anvender numeriske algoritmer såsom optimering og usikkerhedskvantificering i disse systemtekniske arbejdsprocesser. Optimering hjælper med at forstå problemer såsom at finde det bedste design, der maksimerer effekten uden at overskride belastningerne.

Min forskning angår anvendelsen og udviklingen af tværfaglige designanalyse- og optimeringsteknikker (MDAO) for at forbedre vindmøllevinger.

Andre resultater: Anvendelse af numerisk designoptimering for at evaluere intelligent vingeteknologi. Undersøgelse af samdesign af vindmøller med aktive klapper. Udvikling af flere rotoror med forskellig passiv belastningsdæmpning.



Jeg regner helt sikkert med at blive her sammen med min danske kæreste, der er uddannet antropolog

Michael McWilliam

Fremtiden

En særlig skare af pionerer og nytænkere har nu i 40 år forsket, undervist og samarbejdet med industri og myndigheder.

Fremtiden stiller nye krav til DTU Vindenergi.

Vindenergisektoren har i løbet af de sidste 40 år udviklet sig fra at være en relativ lavteknologisk nichebranche til i dag at fremstå som en global højteknologisk industri og en markant driver på teknologiske områder som vindkraft-meteorologi, aerodynamik og kompositmaterialer.

Alene i Europa beskæftiger sektoren mere en kvart million mennesker og har en omsætning på mere end 60 mia. euro, og europæiske virksomheder forsyner 40 pct. af verdensmarkedet.

I 2017 var 55 pct. af al ny elproduktionskapacitet i Europa vindenergi, og ifølge IEA 2018 World Energy Outlook vil vindenergi være EUs største kilde til elproduktion før 2030.

Møllerne er blevet større, indpasningen i el-systemet er bedre end forventet, og nye forskningsgennembrud har muliggjort konkurrencedygtig vindenergi langt ud over, hvad branchen forventede for bare ti år siden. Ved gode vindforhold er vindenergi den billigste leverandør af elektricitet, og om ganske få år vil der ikke længere være behov for støtte til sektoren.

Succesen er stor, men det er udfordringerne også. Elektricitet er kun en mindre del, 24 pct. i Europa, af klodens energiforbrug, der i løbet af de næste 30 år skal gøres klimaneutral. Vindenergiens succes betyder, at andre lande nu investerer kraftigt i forskning, udvikling og produktion inden for sektoren, og konkurrencen har aldrig været større.

Konkurrence sker ikke kun inden for vindenergisektoren, for omstillingen til et grønt energisystem betyder, at vindenergi indgår i et

komplekst samspil og konkurrence med andre vedvarende energikilder.

For at holde en plads forrest i feltet skal vi i fremtiden i endnu højere grad udnytte vores evne til at omsætte forskning til nye produkter og services inden for design, produktion, transport, opstilling og drift af vindkraftværker. En succesfuld vindenergisektor skal forstå at levere energisystemvenlige løsninger, som kan indgå i en cirkulær økonomi med fokus på miljørigtig produktion, drift og genanvendelse.

DTU Vindenergi har været en af de største og vigtigste forskningsaktører globalt, og DTU har alle muligheder for fortsat at være værdifuld i den fortsatte udvikling af teknologier til vindenergi og gennem globalt udsyn og engagement tiltrække de bedste forskere i verden. DTU Vindenergi skal fortsat være en ledende og attraktiv

global aktør inden for uddannelse, såvel traditionel uddannelse som E-learning.

Fremover får vindenergi i energisystemet øget forskningsmæssig betydning i en globaliseret verden med accelereret digitalisering. Det betyder fokus på viden, kompetencer og teknologisk formåen inden for eksempelvis digitalisering, kunstig intelligens og sensor-systemer. Ligeledes vil det være afgørende, at instituttet forstår at tilpasse sig og videreudvikle evnen til at udvikle og implementere ny viden sammen med industrien.

DTU Vindenergi skal fortsat være en markant global aktør inden for forskning og udvikling af vindenergi. Derved skal vi i et tæt samarbejde med industri, politikere og forskningsinstitutioner øge den grønne omstilling for at imødegå klimaforandringerne og bidrage til at opfylde FNs verdensmål for en bæredygtig udvikling.

VIND

Med denne bog ønsker vi af fortælle historien om os og 40 år med forskning og udvikling af vindenergi.

Historierne fortælles, fordi vi gerne vil dokumentere, hvordan viden sættes i spil og får betydning for udvikling af en industri, en verdensomspændende eksport og for teknologiens betydning for samfundet.

DTU Vindenergi er fra den spæde start i 1978 med en prøvestation for mindre vindmøller på Risø og frem til nutidens institut vokset op sammen med den danske vindmølleindustri og de danske vindmølleildsjæle. Det er en del af instituttets og den danske vindenergisektors DNA, at udviklingen er sket i tæt samarbejde og fællesskab.

Sammen har vi flyttet og udviklet teknologien fra en simpel teknologi, som hentede sin forskningsviden fra andre sektorer til at være en sofistikeret teknologi, der i dag driver udviklingen i andre sektorer. Vi er gået fra lokal lowtech til global hightech.

Vi fortæller, hvordan forskning i meteorologi og materialer på Risø og Fluid Dynamik forskning på det gamle DTU og de nationale testcentre nu er samlet i det nye institut for Vindenergi på DTU.

Forskning og udvikling har i 40 år sat viden i spil. En udvikling som medarbejdere og samarbejdspartnere har haft det privilegium at være vidner til, mens teknologien buldrede fremad.

Visionerne blev til virkelighed, og virkeligheden overgik visionerne.

