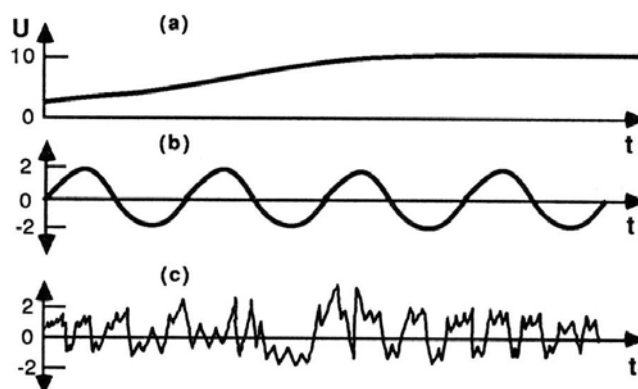


Turbulensmålinger i atmosfæren

Hva er turbulens?

De aller fleste av oss har opplevd turbulens mens vi satt på flyet. Uten forvarsel begynner flyet å riste, enten i forbindelse med landingen eller høyt opp i luften. Men hva er egentlig turbulens? I meteorologien deles vindhastigheten inn i en middelvind og et tilfeldig opptreende avvik fra denne middelvinden. Et typisk eksempel fra meteorologien er et lavtrykk som kommer inn fra Nordsjøen. Når lavtrykket nærmer seg, merker vi at middelvinden øker, dette til tross for variasjoner der vinden noen ganger er sterkere eller svakere. Men det som forårsaker skade på husene våre når et stormsenter passerer er ikke denne middelvinden, men vindkastene som lavtrykket fører med seg. Nettopp disse vindkastene er de tilfeldige opptreende avvik fra middelvinden og er det som vi også opplever som turbulens mens vi sitter på flyet.



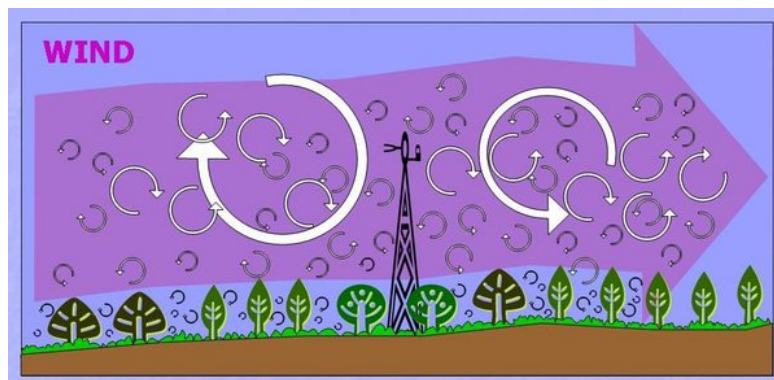
Idealisering av (a) middelvinden alene, (b) bølger alene, (c) turbulens alene. I realiteten er bølgene og turbulensen lagt oppå middelvinden. Kilde: Stull, 1997.

Hva er forbindelsen mellom vindenergi og turbulens?

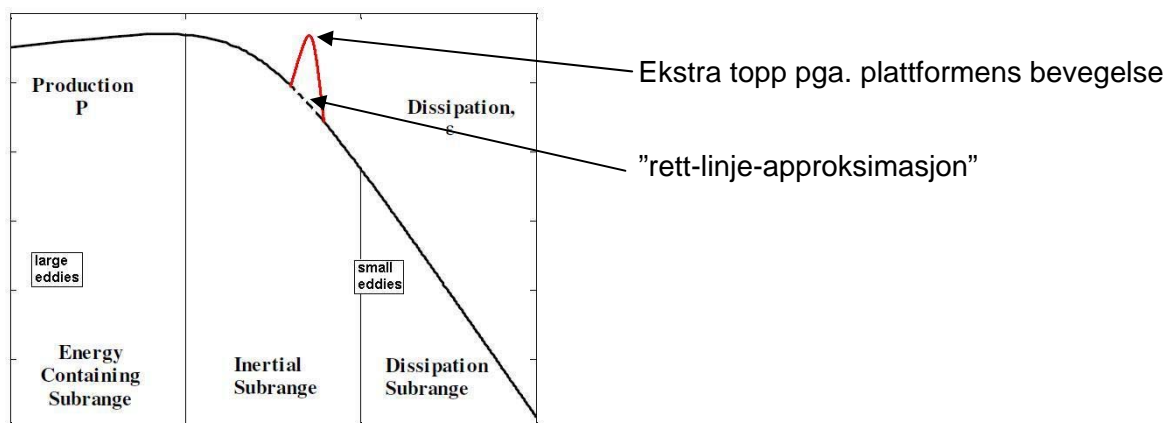
I de siste årene har Europa hatt en økende satsing på fornybar energi og som følge av dette ble vindparker bygget nær kysten. Men satsingen stoppet ikke der. På grunn av det økende behovet for fornybar energi, begynte utviklingen av vindparker som kan plasseres langt ut på havet. Planen er at disse vindparker skal plasseres lengre ute og i områder med større vanddybde enn dagens offshore vindparker. Hovedproblemet med utviklingen av de nye vindparkene er at bare få og sporadiske meteorologiske målinger er tilgjengelig som trenges for å karakterisere det marin-atmosfæriske-grenselaget. Fram til i dag er utvekslingsprosessene mellom hav og atmosfære lite forstått og de få målinger som hittil er foretatt er gjenstand for dyptgående diskusjoner blant forskerne. Direkte turbulensmålinger i det marin-atmosfæriske-grenselaget vil tydelig forbedre vår forståelse av turbulensstrukturen og de korresponderende utvekslingsprosesser med havoverflaten. Det er disse utvekslingsprosesser som er essensielt for å prognostisere offshore vindhastighet og vindretning i den nedre delen av atmosfæren. I tillegg er kunnskap om vindhastighet og turbulensstruktur i det marin-atmosfæriske-grenselaget svært viktig med omsyn til akseptable strukturelle laster og potensiell skade på vindturbinene.

Hvordan måles turbulens ute på havet?

For å måle turbulens på land brukes i hovedsak eddy-korrelasjonsmetoden. Denne metoden bruker det faktum at en luftstrøm nær bakken kan anses å bestå av tallrike små og store virvler som beveger seg på tvers gjennom luften. Ofte oppleves nettopp vinden som en luftstrøm med varierende styrke og opphavet til den varierende vindstyrken er nettopp de mange luftvirvlene som følger med middelvinden. Disse virvlene, som er avviket fra middelvinden, er nettopp den turbulensen som meteorologene ønsker å måle. For selve turbulensmålingen brukes det et sonisk anemometer som måler vindhastigheten og temperaturen med en frekvens mellom 20 Hz og 100 Hz. Forutsatt at de observerte virvlene ikke endrer seg mens de beveger seg langs målemasten, er det mulig å beregne for eksempel temperaturfluksen over tid ut ifra målingene. Anvendelsen av eddy-korrelasjons-metoden gir dermed en mulighet til å måle turbulente flukser direkte. Når det gjelder offshore turbulensmålinger som blir foretatt fra et skip eller en bøye, er det ikke uten videre mulig å bruke eddy-korrelasjons-metoden. For å kunne bruke denne metoden i det marin-atmosfæriske-grenselaget trenges det en treghetsmåler (IMU) som måler måleplattformens bevegelse i henhold til et fast referansekoordinatsystem og det stilles høye krav til instrumenteringen. I tillegg må alle målinger korrigeres for skipets eller bøyens bevegelse. Fram til midten av 1990-tallet var bruken av eddy-korrelasjons-metoden så kostnadsintensiv at flere indirekte målemetoder ble brukt. Ulempen med de indirekte metodene er at de bare gir et estimat av de turbulente fluksene, noe som kan være utilfredsstillende for forskningsprosjekter (Edson, 1998). I tillegg avhenger de indirekte metodene av unøyaktige parameteriseringer av bølgefórhóld, vindstress og sensibel- og latent varme transport når turbulensmålingen blir foretatt over havet (Fairall et al, 1990). I begynnelsen av 1990-tallet var dissipasjons-metoden en av de mest lovende indirekte metodene for turbulensmålinger på havet. Ingen form for kostnadskrevenne bevegelseskorreksjon er nødvendig ved bruk av denne metoden. Ulempen med denne metoden er at den, i tillegg til feilene i parameteriseringen, fjerner også reelle atmosfæriske bevegelser som ble forårsaket av bølgefóltet i samme frekvensområde. Dette er en av årsakene til at noen forskere stiller seg kritisk overfor bruken av dissipasjons-metoden. For å få nøyaktige turbulensmålinger i det marin-atmosfæriske-grenselaget er det derfor ónskelig å bruke eddy-korrelasjons-metoden.



En horisontal luftstróm nær bakken kan anses å bestå av tallrike virvler med varierende størrelse. Disse virvlene har både horisontale og vertikale komponenter. Kilde: Wikipedia.



Skisse av det turbulente energispektrum med (rød) ekstra topp som oppstår på grunn av plattform bevegelser og (stiplet) "rett-linje-approksimasjonen" som brukes for å fjerne plattformbevegelser fra datasettet. Merk at denne metoden også fjerner reelle atmosfæriske bevegelser som ble forsakket av bølgefeltet i same frekvensområde.

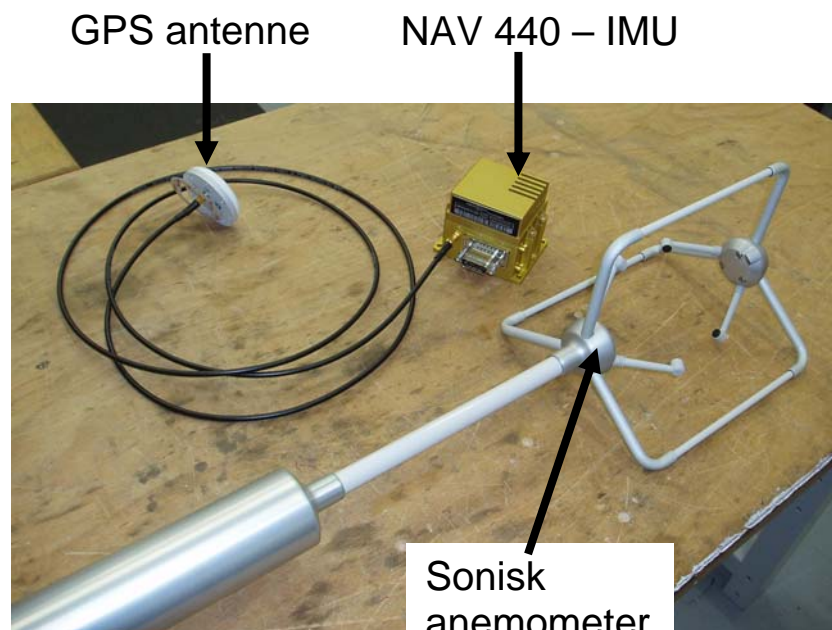
NORCOWE sitt eddy-korrelasjons-system

I de siste to tiår har den teknologiske utviklingen gjort store fremskritt og kostnadene for et marin basert eddy-korrelasjons-system har gått betydelig ned. Siden siste halvdel av 1990-tallet ble såkalte "strapped down" eddy-korrelasjons-systemer brukt for direkte offshore turbulensmålinger.

For å utføre offshore turbulensmålinger langs Norskekysten ble to identiske eddy-korrelasjons systemer kjøpt via NORCOWE. Systemet ble ferdigstilt i Irland i samarbeid med turbulensgruppen fra National University of Ireland og framstår som "state-of-the-art". Systemets sensorhode består av et sonisk anemometer og en elektronisk treghetsmåleenhet (IMU)¹ med GPS. I tillegg har systemet en industriell LINUX basert PC med WLAN for databehandlingen som er, sammen med strømforsyningen, montert i en vanntett kiste. Hele systemet er mobilt og drives med 230 Volt AC eller 15 Volt DC.

I motsetning til et "strapped down" system hvor plattformens bevegelse blir målt ved hjelp av akselerometerer som henger i et gyroskop, bruker NORCOWE sitt system en elektronisk treghetsmåleenhet (IMU). Dette instrumentet registrerer alle av plattformens bevegelser og bevegelsestidspunkt med en mye større nøyaktighet enn akselerometerne i et "strapped down" system. Dette muliggjør offshore turbulensmålinger med en større nøyaktighet enn hittil mulig. I tillegg fjerner eddy-korrelasjons-metoden ikke reelle atmosfæriske bevegelser, noe som er tilfelle når indirekte målemetoder brukes.

¹ IMU – Inertial Measurement Unit



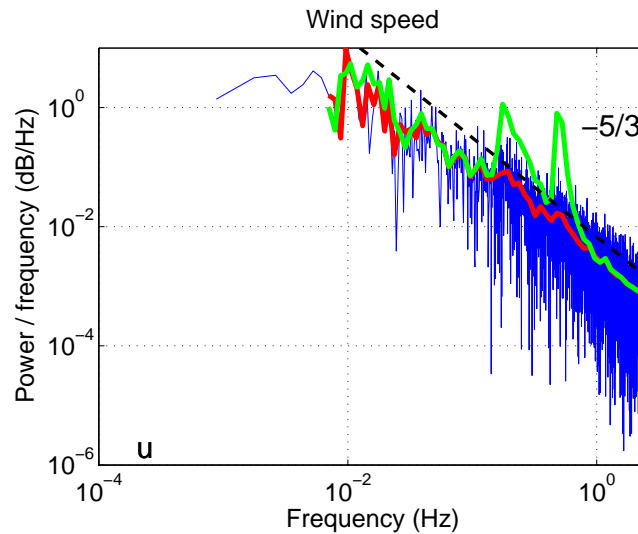
Sensorhodet til NORCOWE sitt eddy-korrelasjons-system består av et sonisk anemometer, en GPS antenne og en treghetsmåleenhet – IMU (Inertial Measurement Unit).



Databehandlingen blir gjennomført ved hjelp av den industrielle datamaskinen MOXA UC-7420, som er plassert i en vanntett boks sammen med strømforsyningen.

Muligheter med NORCOWE eddy-korrelasjons-systemet

NORCOWE sitt nye eddy-korrelasjons-system gir oss mulighet til å foreta presise turbulensmålinger av vind og temperatur i alle tre dimensjoner. Dette er noe som ikke hadde vært mulig uten denne type instrumentering. Turbulensmålinger utført med NORCOWE sitt nye system vil dermed bidra til økt forståelse av de turbulente utvekslingsprosesser mellom atmosfære og hav. Dette er essensielt for å prognostisere offshore vindhastighet og vindretning i den nedre delen av atmosfæren og vil bidra til et mer nøyaktig værvarsel, noe som kommer offshore vindenergi, oljesektoren og samfunnet til gode!



Turbulent energispektra av ukorrigert (grønn) og korrigerert (rød) horisontal vindhastighet målt fra en bølge utenfor Martha's Vineyard, Massachusetts. Turbulensen ble målt et "strapped-down" system. Dette systemet fjerner ikke reelle atmosfæriske bevegelser. Målinger foretatt med NORCOWE sitt nye system vil være mer presise enn målinger foretatt med et "strapped down" system.

Referanser:

- Edson, J. B., A. A. Hinton, K. E. Prada, J. E. Hare and C. W. Fairall, 1998: Direct covariance flux estimates from mobile platforms at sea. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology*, **15**(2), 547-562
- Fairall, C. W., J. B. Edson, S. E. Larson and P. G. Mestayer, 1990: Inertial-Dissipation Air-Sea Flux Measurements: A prototype System Using Realtime Spectral Computations. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology*, **7**(3), 425-453
- Reuder, J., 2008: GEO310 Turbulence in the atmospheric and oceanic boundary layer, *Lecture notes GFI - University of Bergen*.
- Stull, R. B., *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, 1997