

Fremtidens vindmøller støjer mindre

Af Oliver Lylloff

Jeg står på en mark i Roskilde og kigger op på en vindmølle. Jeg kan høre det karakteristiske *swoosh* hver gang en vindmøllevinge passerer forbi over mit hoved. Det er DTUs forskningsvindmølle V52 som jeg lytter til. Jeg er fascineret af lyd og er særligt optaget af hvordan vi indfanger, måler og visualiserer dette usynlige fænomen. Derfor tager jeg af og til den korte gåtur fra mit kontor på DTU Vindenergi ned til marken og vindmøllen for at lytte. Her kan jeg tage et skridt tilbage fra hverdagens fokus på de små detaljer og se det store perspektiv. Og med denne tekst håber jeg på at give læseren det store perspektiv på mit ph.d.-projekt:

Det handler om lyd der bliver skabt af vindmøllevingernes bevægelse igennem luften. Men hvordan opstår lyden egentlig - og kan vi gøre noget for at mindske den?

Jeg er ikke alene om at stille disse spørgsmål, for støj er i høj grad i fokus globalt. WHO har f.eks. placeret støj på en 2. plads over de største udfordringer for den globale sundhed (lige efter luftforurening). Vindmøllestøj kan være et problem for dem der bor tæt på og holdningerne i den offentlige debat er skarpt trukket op - man er for eller imod - og I sidste ende er *det* afgørende for den grønne omstilling. Det øgede fokus på støj fra vindmøller driver forskning og

innovation og selv små forbedringer er mange penge værd. Så hvordan kan vi afprøve nye ideer uden at bygge en helt ny vindmølle? For at svare på det, skal vi tilbage til marken i Roskilde og ind i DTUs **vindtunnel** som var omdrejningspunktet for mit ph.d. projekt.

En vindtunnel er groft sagt en kæmpe stor hårtørrer: en stor blæser (knap 5m i diameter) skaber en meget kraftig luftstrøm, som føres rundt i en lang skakt. I et udvalgt udsnit af skakten placeres en model af en vindmøllevinge samt en masse måleudstyr. Modellens møde med luftstrømmen afslører en række af dens egenskaber, som kan oversættes til om designet er værd at bygge en ny vindmølle efter. Designet af modellen kommer fra en computersimulering, men det er dyrt og tidskrævende at lave beregninger med høj præcision, så målinger i en vindtunnel er ofte en nødvendighed for at være sikker på, at man får et godt design.

Det var med denne begrundelse, at byggeriet af DTUs vindtunnel blev sat i gang i 2016. Et halvt år senere startede jeg mit ph.d.-projekt og en stor del af mit arbejde bestod derfor i at forberede de målemetoder, der skulle bruges når byggeriet var færdig. Jeg startede med motivationen: Hvordan opstår lyden? Svaret skal findes i 1970'erne med *teorien om bagkantsstøj*: Et tværsnit af en vinge er groft sagt formet som en dråbe (se

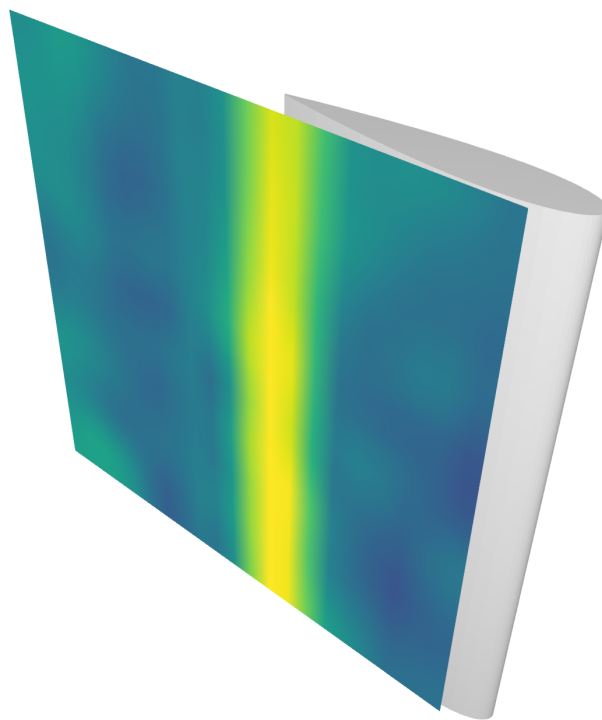


Tværsnit af vindmøllevinge. Luftstrømmen går fra venstre mod højre (Brooks et al., 1989).

figur). Når luftstrømmen møder vingen, så deler strømmen sig og følger langs med oversiden eller undersiden. Luftens bevægelse langs med vingen skaber gnidninger, og et tyndt lag luft af små lufthvirvler opbygges på begge sider af vingen. Lagene bliver tykkere indtil de når bagkanten (den spidse ende). Her møder luftstrømmen sig selv igen og de to lag luft støder sammen i et stort kaos, som resulterer i udsendelsen af trykbølger - altså lyd. Lyd som jeg gerne skulle indfange i mit ph.d.-projekt. Men var det mon muligt at måle det som teorien om bagkantsstøj forudså?

Lyden lader sig ikke nemt indfange og det skyldes den baggrundsstøj, der er i vindtunnelen. Der er altså den *gode* støj som vi gerne vil måle (vingemodellen) og så er der den *dårlige* støj vi ikke vil måle (baggrundsstøj). For at skelne mellem de to slags støj brugte jeg 84 mikrofoner til at lave et **lydbillede** af modellen (se figur). Billedet viser hvor lyden kommer fra og ved at lave et udtræk af det, kan den gode støj isoleres. Det var et ægte *eureka*-moment, da det første lydbillede tonede frem på min computerskærm. Efter to års forberedelser og udvikling, så kom de første målinger i hus og det så godt ud.

Fremtidens vindmøller bliver højere og vingerne bliver længere og det har betydning for den støj, der kan høres hos naboerne. Ude på spidsen af en 100 m lang vindmøllevinge - så lange forventes de nemlig at blive - kan vindhastigheden nemt snige sig over 300 km/t, og i DTUs vindtunnel kan hastigheden nå helt op til 320 km/t. Derfor er det muligt at teste fremtidens vindmøllevinger under *ideelle* forhold. Men hastigheden udgør også et problem for de mikrofoner der skal



Et lydbillede vist sammen med en vingemodel. Den lyse streg viser hvor lyden opstår - her ved bagkanten af modellen.

indfange lyden, og for at løse det problem skal vi bruge **Kevlar**.

Kevlar er et utrolig stærkt og let materiale (og bruges derfor også til skudsikre veste), og så har det den pudsige egenskab, at lyd kan bevæge sig (næsten) uhindret igennem det. Derfor er DTUs vindtunnel udstyret med en væg lavet af et stort stykke stof vævet af Kevlar. Kevlarvæggen er kun 0.1 mm tyk, men er så stærk, at den kan holde den kraftige luftstrøm inde i vindtunnelskakten. Og det er en kæmpe fordel, når der skal måles støj, fordi mikrofonerne kan placeres tæt på uden at blive forstyrret af de ekstreme vindhastigheder. I mit ph.d.-projekt undersøgte jeg, hvordan lyden bevæger sig igennem Kevlarvæggen og udledte en metode til at måle det (ret lille) tab af energi som lyden, trods alt, oplever på sin vej fra vingemodellen inde i luftstrømmen

og ud til mikrofonerne på den anden side af Kevlarvæggen.

På marken i Roskilde, her et års tid efter afslutningen af mit ph.d.-projekt, snurrer vindmøllen stadig og jeg kan træde et skridt tilbage og se på mit ph.d.-projekt i det store perspektiv: DTUs vindtunnel blev bygget færdig og mit bidrag blev en præcis og troværdig metode til at vurdere støjen af fremtidens vindmøller. Men jeg er slet ikke færdig med at undersøge støj, for nye designs og teknologier bliver konstant udviklet og vi skal være klar til at afprøve og udvælge de bedste designs, der mindsker støjen, inden det bliver et problem. Og derfor tør jeg godt spå og sige at *fremtidens vindmøller støjer mindre*.