



Fra amerikanske orkaner

Danske parcelhuse tager tilsyneladende mere skade, når en storm raser end tilsvarende huse i vore nabolande. Med erfaringer fra amerikanske orkaner vil forskere måle vindbelastningerne på danske parcelhuse for at blive klogere på, hvordan vi kan minimere stormskader.

Forfatteren



Jens Johansson er adjunkt Institut for Teknologi og Innovation Syddansk Universitet jensj@iti.sdu.dk

Florida 2. juli 2014: klokken er 18, og telefonen ringer. Det er min kollega Forrest. Adrenalinet løber ud i kroppen. Det er det her, vi har ventet på. Den amerikanske vejrtjeneste NOAA har ændret deres forudsigtelse af kursen for Hurricane Arthur. Man mener nu, at den vil ramme den amerikanske østkyst på independence day (4. juli) om cirka to døgn. Vi kører fra laboratoriet om 4 timer. Vi skal ud for at pakke bilerne og udstyret. Det er nu!

Jeg har orlov fra mine forpligtigelser på Institut for Teknologi og Innovation på Syddansk Universitet og er gæsteforsker på University of Florida. Gruppen, jeg besøger, er en del af et samarbejde mellem flere universiteter kaldet *Florida Coastal Monitoring*

Program. Forskerne i denne gruppe tager som nogle af de eneste i verden ud for at måle vindhastigheder og vindtryk på bygninger, når orkaner rammer. Jeg er med for at lære, hvordan nogle af verdens førende forskere foretager sådanne målinger. Vi skal bruge målingerne til at forbedre vores estimater af vindbelastninger på bygninger. På den måde får vi en bedre forståelse for, hvornår der sker stormskader, og hvad der skal til for at minimere dem. Mit ophold i Florida er et led i forberedelsen til at foretage lignende målinger på dansk jord.

På jagt efter Arthur

Grundlæggende sker en stormskade, fordi en bygning, eller dele af en bygning, udsættes for en vind-



← Udstyret monteres, inden masten rejses.

Det primære måleudstyr er fem Ultra-Soniske Anemometre, der monteres med stor forsigtighed. Måleskabet indeholder forskelligt datalogger-udstyr samt en bærbar pc, der er forbundet til et batteri og en generator, der også er bygget på traileren. Th.: Masten er rejst ved Billy Mitchel airport. Mastens solide konstruktion samt fire støtteben er tilstrækkelig til, at den er stabil selv under en orkan.

Fotos: Jens Johansson

til danske stormskader

belastning, der er større end bæreevnen. Hvis man vil se nærmere på årsagen til stormskader, må man altså blive klogere på enten belastningen eller bæreevnen. Vores arbejde er koncentreret omkring belastningen, da jeg tilbage i sommeren 2014 befandt mig på bagsædet af en af to trucks på jagt efter hurricane Arthur.

Vi forventer, at kunne få målinger fra Arthur på Cape Hatteras Island i North Carolina, og forude venter en lang køretur. Vi sidder hele natten i bilerne og holder øje med orkanens bevægelser og meteorologernes forudsigelser. Målingerne, vi skal foretage, udføres normalt med to typer udstyr: dels nogle mobile meteorologiske master, og dels nogle

trykmålere, der kan monteres på huse, der er forberedt til det. De mobile master kan foldes sammen, og vi medbringer dem på en trailer – en efter hver af de to trucks. Forskerne har aftaler med en hel række husejere langs kysten i Florida, og hvis en storm skulle ramme, kan de køre ud til de huse, der er nærmest det sted, hvor stormen forventes at “gå i land”. På denne tur har vi ikke trykmålerne med, da vi er fokuserede på at måle de faktiske vindhastigheder, der opstår på land.

Cape Hatteras ligger på “Outer banks” og det er, som navnet antyder, vitterligt ikke meget andet end nogle meget lange sandbanker. Vi kører altså fra Florida i syd mod North Carolina i nord, mens



Foto: NASA

↑ Hurricane Arthur den 3. juli 2014 på vej mod North Carolina.

→ Oversvømmelser ved Rodanthe Pier på Hatteras Island efter passagen af Hurricane Arthur.

Foto: U.S. Coast Guard Mid-Atlantic

→ På vejen tilbage efter at have opsat masterne er lange strækninger dækket med vand. Vandet holder sig heldigvis netop under døren, så vi undgår vand i bilerne.

Foto: Jens Johansson



Væltede "mobile homes" (store campingvogne) i North Carolina – ødelæggelser skabt af Arthur's stærke vinde.

Foto: U.S. Coast Guard Mid-Atlantic

stormen – ud for kysten også langsomt bevæger sig dels mod nord og dels mod kysten.

Man kører ud på sandbanken i den Nordlige ende – vi rammer broen dertil inden middag og skal 37 km mod syd – altså mod stormen – inden vi er fremme. Vi drøfter gentagne gange, hvorvidt vi kan nå ned og sætte udstyr op – og komme tilbage på fastlandet, inden stormen rammer. Forudsigelserne varierer, men vi beslutter at fortsætte og beslutter, at vi skal køre derfra senest kl 18.

Op med masten

Det er på mange måder surrealistisk at sidde i en bil, der helt bevidst er på vej mod en orkan. På vores vej møder vi overvældende mange biler på vej væk

fra det ellers noget tyndt befolkede område. Der er flere vejspærringer, og "state troopers" har også lukket broerne. Men med en kort forklaring af vores formål og en forsikring om, at det er vores intention at skynde os ud af området igen, inden orkanen for alvor rammer, får vi lov at køre videre.

Vores første destination er en lille lufthavn, hvor underlaget vil sikre, at masten står rigtig godt. Der er livlig aktivitet omkring de små fly, der er ved at blive spændt fast til landingsbanen, så de ikke bliver beskadiget. Udstyret til masterne, der bliver færdig monteret på stedet, er både kostbart og sårbart – til trods for, at det kan holde til en orkan. Derfor foregår monteringen med stor forsigtighed. Efter vi er kommet frem, føler vi os ikke længere

Nye tryksensorer

Trykmåler-systemet fra SDU er baseret på trådløse enheder, der måler trykket 43 gange i sekundet samt temperaturen en enkelt gang. Målingerne sendes på skift til en central enhed, der er tilkoblet en computer. Man skal forestille sig, at vi monterer 40-50 af disse sensorer på taget af et parcelhus samtidig med, at vi nøje måler vinden fra en meteorologisk mast så nær ved huset som muligt.

Tv: Billedet viser tre forskellige prototyper samt elektronikken til de første 20 enheder.

Th: Billedet viser et eksempel på en af de prototyper, der er blevet udviklet sammen med den elektronik, som skal monteres indeni.



så presede – i hvert fald ikke før det elektriske spil, der skal rejse masten, pludselig ikke virker. En noget febrilsk fejlsøgning viser, at en samling på forsyningen til spillet angiveligt ikke kunne overføre nok strøm. Det lykkedes endelig, batteriet i traileren er opladet, generatoren kører og computeren modtager målinger! Men klokken har passeret 17, og vores plan om at forlade området i tide forekommer håbløs.

I sikkerhed

Den anden mast vil vi sætte op i en park, og ironisk nok er de Park Rangers, vi skulle passere, noget mere skeptiske – men ind kom vi. Masten skal sættes op på et areal med græs, og vi frygter, at området vil blive oversvømmet – hvilket unægtelig vil give nogle kedelige udfordringer dagen efter. Men vi er ved at løbe tør for tid – hvis masten skal op, skal det være nu. Pludselig forekommer det ellers hastig sammensatte hold som et team, der aldrig har lavet andet, og mast nummer to er rejst på mindre end en time. Orkanens væg (eyewall) er ca. 48 km ude, og den bevæger sig mod os med 19 km/t. På vej mod vores hotel står det klart, at vi når frem, inden stormen rammer. De fleste af os har ikke lukket et øje det seneste halvandet døgn, og efterhånden som adrenalinen forlader kroppen, er det i den grad tid til hvile. Faktisk er vi så trætte, at kun en af os vågner ved lyden af orkanen, der – ironisk nok – passerer lige hen over hotellet.

Dagen efter vågner vi til nyheden om, at husene er sluppet billigt, og at det primært er vandmasserne, der gør det svært at komme tilbage til masterne. En enkelt midlertidig bro forekommer at være delvist undermineret af vand, og enkelte steder er vejen skyllet væk, men vi ser kun huse med mindre skader. Vi kører store dele af strækningen gennem vandmasser, men kan heldigvis komme frem til begge master, og bare fem timer efter vi forlod

hotellet, kan vi sætte kursen mod Florida. Vi har sikret målinger, der på sigt kan være med til at gøre os klogere på disse storme – turen i bilen hjem går naturligvis med at begynde analysen!

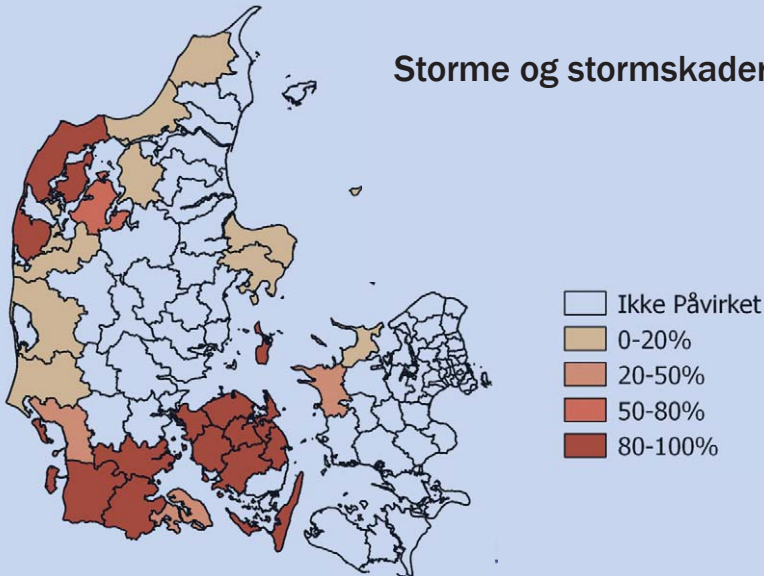
Fra vindtunnel til virkelighed

Når en bygningsingeniør skal designe en bygning, har han behov for at estimere, hvor stor belastningen fra vinden vil være på den pågældende bygning. I Europa laver man dette estimat ud fra forskrifterne i en fælleseuropæisk norm. Ingeniøren skal således tage hensyn til, hvor bygningen ligger – dvs. i hvilket land og hvor i landet. Det gør det muligt at sige noget om, hvor voldsomme storme man må forvente der, hvor bygningen er placeret. Man skal tage hensyn til, om bygningen ligger på en åben mark eller midt inde i byen, det kalder man terrænkategorien, og endelige skal man tage hensyn til huset udformning. Der er eksempelvis meget forskel på et hus med fladt tag og et hus med et sadeltag.

Normen indeholder estimater af vindbelastningen på bygninger med en *typisk* udformning. I praksis vil man for næsten alle parcelhuse kunne estimere vindbelastninger på denne måde. Når man bygger større bygninger, typisk høje eller meget specielle bygninger, kan disse estimater dog være så meget på den sikre side, at det vil være en god investering af få undersøgt vindbelastningerne nærmere gennem vindtunnelforsøg.

Sådanne forsøg går i alt sin enkelthed ud på, at man laver en skalamodel af en bygning, fx i skala 1:100. Modellen kan eksempelvis laves af gennemsigtige plastplader, og man borer derefter en masse små huller i modellen og fører nogle små trykslanger fra modellen ud til en trykmåler. I vindtunnelen efterligner man vindens variation med højden over jorden. Man måler den faktiske vindhastighed

Storme og stormskader



Kommuner påvirket af vinde > 25 m/s (storm) i 2013. Estimeret andel af kommunen i %

Der er naturligvis store forskelle på de vinde, der rammer USA og Nordeuropa, men for en vindingeniør er problematikken nøjagtig den samme. Vi skal blive bedre til at forstå, hvor store tryk en storm giver anledning til på en bygning. Når vi siger *vindtryk*, er det i ingeniørmæssige forstand både tryk og sug – dvs. henholdsvis positivt og negativt tryk. Faktisk er det sug, der er skyld i en stor del af skaderne: Gavle bliver suget ud, tagsten bliver suget op, osv.

De største sug opstår naturligvis under de stærkeste storme. I USA er de stærkeste storme typisk orkaner eller tornadoer. En orkan (i Amerika: Hurricane) er et meget stort roterende vejrssystem, hvis størrelse typisk måles i hundredevis af kilometer. Vejrsystemet udvikler sig over længere tid, og man kan, ofte flere dage i forvejen, forudsige, hvor en orkan forventes at ramme og med hvilken vindhastighed. Orkanen må ikke forveksles med en tornado. Tornadoer er meget små i

sammenligning – fra få meter i diameter op til måske et par kilometer. De opstår meget pludseligt, normalt i forbindelse med tordenvejr, og deres varighed skal typisk måles i minutter. Begge fænomener kan forårsage massive skader på bygninger. Faktisk kan man også opleve tornadoer i Danmark, men det er yderst sjældent. Den seneste, som jeg kender til, ramte Holstebro i februar 1962 og ødelagde et bælte af bygninger – mirakuløst uden at nogen omkom. Så sent som i maj ramte en tornado byen Bützow i Nordtyskland.

Når Danmark rammes hårdest, er det af orkanlignende vinde. Da vores huse overordnet set er solidt byggede, er der sjældent menneskeliv på spil – i hvert fald ikke på grund af den måde, vi bygger på. Så det interessante ingeniør-perspektiv i en dansk sammenhæng er primært, hvor store skader, vi kan og vil acceptere på vores bygninger under en storm.

Den kraftigste og dyreste orkan, der har ramt Danmark, hærgede flere lande i Nordeuropa den 3. december 1999 og kostede dengang de danske forsikringsselskaber 13,1 mia. kr. Forsikringsselskabernes brancheorganisation vurderer, at stormskader på parcelhuse samlet har kostet ca. 1,4 mia. kr. i bygningsskader de seneste 9 år. En stor del af dette skal tilskrives, at Danmark i 2013 blev ramt af to storme, Allan og Bodil, der tilsammen kostede ca. 907 mio. kroner i bygnings-skader på de danske parcelhuse alene fordelt på 106.000 bygningsskader. Det svarer til, at ca. 7 % af alle parcelhuse fik en skade. Hvis man ved hjælp af vindkort fra DMI estimerer, hvor vinden ramte hårdest, og hvor mange huse der faktisk findes i disse områder, peger det på, at op mod 36 % af parcelhusene har haft en skade. Den rigtige procentdel vil derfor være et sted mellem 7 og 36 %.

i en kendt højde et sted i tunnelen, samtidig med at man måler, hvilke tryk der kommer på bygningen, når den er orienteret med forskellige vinkler mod vinden. På den måde kan man altså begynde at oversætte en vindhastighed til vindtryk på bygningen.

Forskrifterne for parcelhuse er også baseret på historiske vindtunnelforsøg, og netop her opstår kimen til mit arbejde med vindbelastninger. Vindtunnelmålingerne er nemlig aldrig blevet kontrolleret med målinger fra den virkelige verden. Netop derfor er forskerne fra Florida ude at måle faktiske vindbelastninger på virkelige huse.

Det betyder ikke, at der ikke er andre, der har foretaget målinger på virkelige bygninger. Det meste af min tid i Florida er brugt på at gennemgå tidligere projekter sammen med mine kolleger. Det arbejde forventer vi at udmønte i en såkaldt review-artikel, som vi stadig arbejder på.

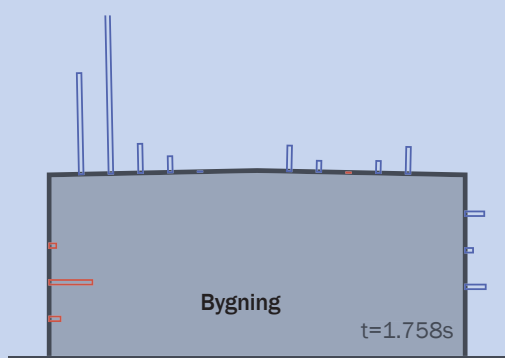
Forfatterens ophold på University of Florida blev støttet af Ulla og Mogens Folmer Andersens Fond, Reinholdt W. Jorck og Hustrus Fond, samt Ingeniør Alexandre Haynman og Hustru Nina Haynmans Fond.

På vej mod danske målinger

Med den baggrund forbereder jeg sammen med studerende, samarbejdspartnere og kolleger næste generations fuldskala-observationer. Det indebærer bl.a. indkøb og forberedelse af udstyr til meteorologiske master samt udviklingen af helt nye sensorer til at måle tryk på bygningerne. Udviklingen af disse trykmålere er en tværfaglig indsats, der involverer viden om bygninger, om vinden og de tidligere arbejder med fuldskala-målinger, men også om elektronik, mikroprocessor-programmering og design. Senest har vi i foråret fået uvurderlig hjælp af fem designingeniørstuderende, der har udformet "huset" til vores trykmålere og printet prototyperne på en 3D-printer. I sensommeren har vi overkommet en barriere med datatransporten mellem en central modtagerenhed og den computer, der skal tage imod målingerne. I skrivende stund står vi foran at skulle samle de første prototyper, og forude venter så afprøvninger hos Velux i Danmark og i en af verdens største vindtunneller i South Carolina, USA.

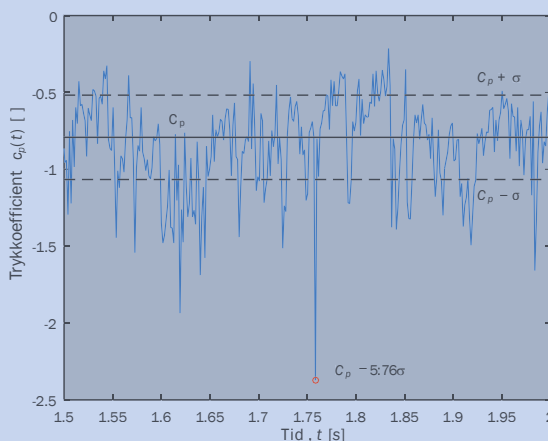
Vindtunnelforsøg

Figurene viser resultater fra et vindtunnelforsøg på University of Florida med simulering af strømmingen omkring "Wind Engineering Research Field Laboratory (WERFL)" bygningen på Texas Tech University, Lubock, Texas. Det er netop den bygning – netop den fysiske model – som tre af mine studerende skal teste i to forskellige vindtunneler i 2016. Ved at foretage observationer i fuldskala kan man vurdere, om målingerne fra



Figuren viser et tværsnit midt på bygningen, hvor der er angivet et øjebliks billede af trykkene på overfladen. På Figuren kommer vinden ind fra venstre, og de røde bjælker indikerer et tryk på bygningen, mens de blå indikerer et sug. Under dette forsøg er trykkene målt i 216 punkter 625 gange i sekundet over en periode på 16 s. For hvert målepunkt er der således 10.000 målte værdier.

vindtunnelforsøgene er retvisende. En af de ting netop WERFL har været med til at vise er, at fuldskala-observationerne kan opleve tryk, der afviger væsentligt mere fra middelværdien end vindtunnelerne gør. Der er stadig uenighed om, hvor store disse afvigelser er og, hvorvidt det har praktisk betydning, men nogle forskere har rapporteret værdier, der meget lokalt afviger med en faktor 2-3.



Figuren viser et udsnit af tidsserien fra målepunktet med det højeste sug. For overskuelighedens skyld er der kun vist data for et halvt sekund. Trykket er angivet ved en trykkoefficient $c_p(t)$, der bruges som en dimensionsløs angivelse af tryk ved dimensionering af konstruktioner. Figuren viser også middelværdien og standardafvigelsen (sigma) af signalet. Det ses, at den maksimale værdi i dette tidsrum er 5,76 standardafvigelser væk fra middelværdien.

Den næste tid skal bruges på at søge midler til arbejdet, mens vi dels arbejder videre med vores trykmålere og dels tager hul på nogle af udfordringerne. En udfordring er fx at få vindretningen til at ændre sig lige så meget i en vindtunnel, som den gør i virkeligheden – og det giver naturligvis problemer, når man vil sammenligne resultaterne fra modelskala og fuldskala med hinanden.

Meningsfyldt arbejde

En af udfordringerne indebærer også, at man skal kunne sammenligne målinger foretaget i forskellige tunneller. Hvis man har foretaget målinger på en virkelig bygning, som man gerne vil efterligne i en vindtunnel, må man have tillid til, eller sikre sig, at to forskellige tunneller giver samme resultat. Netop med den baggrund er tre af mine studerende ved at forberede sig til arbejdet med deres speciale på deres toårige overbygning *civilingeniør i konstruktionsteknik*.

Næste sommer er det planen, at de skal udføre målinger på en skalamodel af en bygning, hvorpå der tidligere er foretaget fuldskala-målinger. Vi forventer, at de skal udføre forsøg dels i København, og dels i Vermont, USA. Deres arbejde vil med stor sandsynlighed kunne publiceres, vores samarbejdspartner får en gensidig validering af deres tunneller, og de studerende står med en meningsfyldt problemstilling. På samme måde har vi aktuelt to studerende på et lignende ophold hos Statens Vegvesen i Norge, hvor de arbejder med at håndtere de vindtekniske problemer, der er relateret til designet af meget lange hængebroer – men det anden historie.

Når de er færdige, står de studerende altså dels med de kompetencer, vi giver dem papir på, men også med erfaringer, der rækker langt ud over det faglige. På den måde bliver arbejdet med storme og stormskader endnu mere meningsfyldt for mig. Pludselig er forbindelsen mellem de amerikanske orkaner og de danske stormskader så meget andet og mere end bare luft. ■

Videre læsning

Principperne for estimering af vindlast på små huse: Cook NJ. 1990. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2, Static structures: Building Research Establishment.

En sammenfatning: Balderama JA, Masters FJ, Gurley KR, Prevatt DO, Aponte-Bermúdez LD, Reinhold TA et al. (2011): The Florida Coastal Monitoring Program (FCMP): A review. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 99:979-95.

Introduktion til et fuldskalamálingsprojekt: Levitan ML, Mehta KC. (1992): Texas Tech field experiments for wind loads part 1: building and pressure measuring system. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.43:1565-76.