

Kraftigere orkaner med global oppvarming

Høyere sjøtemperaturer og mer fuktighet i atmosfæren i et varmere klima vil sannsynligvis gi mer intense tropiske orkaner, men ikke nødvendigvis flere.

Sigbjørn Grønås, **Regclim**
og Jens Rytter

Tropiske orkaners herjinger har i høst ofte vært i nyhetsbildet, spesielt de mange orkanene over De karibiske hav. Dette er sykloner som beveger seg fra øst og ofte kommer inn mot sørkysten av USA. Flest orkaner er det likevel i Stillehavet. Overalt hvor orkanene oppstår gir de uhyggelig sterk vind, enorme nedbørsmengder og stormflo (se boks).

Tydeligvis har det vært spesielt mange orkaner over Karibia i år. Klimaforskere blir derfor spurt om økningen skyldes global oppvarming. Standardsvaret er, at det er ventet at global oppvarming vil gi høyere sjøtemperaturer i tropene, hvor disse syklonene oppstår, og at dette øker sjansene for sterke tropiske orkaner. Så legges det til at hyppigheten av slike hendelser har betydelige naturlige variasjoner fra tiår til tiår, og at det er vanskelig å skille naturlige variasjoner fra eventuelle effekter av global oppvarming. Derfor vet vi ennå ikke om noe av de store ødelegelsene i orkanenes kjølvann kan tilskrives global oppvarming.

Global oppvarming og tropiske stormer

Det er ventet at global oppvarming vil gi høyere sjøtemperaturer i tropene. På den måten vil en av betingelsene for dannelse av tropiske sykloner, sjøtemperaturer



Et satellittbilde av orkanen Ivan fra NOAA. Områdene i sør er Venezuela. I nord sees Florida.

høyere enn 26,5 °C, være oppfylt over større områder og over lengre tid av året. Det er nærliggende å tenke at da må antall

tropiske sykloner øke. Men forskning viser at syklonutvikling i et varmere klima vil finne sted ved høyere terskler i sjøtem-

Tropiske sykkloner

Tropiske sykkloner er blant de naturkatastrofer som krever flest menneskeliv og som forårsaker de største materielle ødeleggelsene. I USA tilsvarende tapene i gjennomsnitt 5 milliarder US dollar i året. På Filippinene utgjør ødeleggelsene omkring 5 prosent av nasjonalinntektene (Bengtsson 2001). I 1998 tok orkanen Mitch livet av minst 10 000 mennesker i Mellom-Amerika.

Når vindstyrkene er over 33 m/s, kalles sykklonene *orkaner* i Nord-Atlanteren og nordøst i Stillehavet, *tyfoner* nordvest i Stillehavet og *farlige tropiske sykkloner* i Det indiske hav og sørvest i Stillehavet.

Orkaner er delt inn i 5 klasser etter styrken på vinden. Klassifiseringen beskriver også typiske ødeleggelser (se <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshs.shtml>). Hos oss brukes gjennomsnittet av vindstyrken over 10 minutter for å angi vinder i Beaufortskalaen (sustained wind speed). I USA brukes et gjennomsnitt over ett minutt (sustained wind speed), som gir betydelig sterkere styrker. Med slik vind blir klassene som følger:

- Klasse 1:** vindstyrker 32 – 41 m/s eller 119–153 km i timen
- Klasse 2:** 42 – 47 m/s eller 154–177 km i timen
- Klasse 3:** 48 – 56 m/s eller 178 – 209 km i timen
- Klasse 4:** 57 – 67 m/s eller 210 – 249 km i timen
- Klasse 5:** mer enn 67 m/s eller 249 km i timen

Orkan Mitch i 1998 var av klasse 5, mens orkanen Ivan i år var av klasse 4 da den kom inn over kysten av USA.

peraturen, særlig når det gjelder intense forstyrrelser. Grunnen til dette er at også temperaturen i de øvre lag av troposfæren vil øke. En finner at denne økningen i en viss grad vil kompensere for effekten av et økt energipotensial på grunn av et varmere hav (Holland 1997). En venter derfor ikke nødvendigvis flere tropiske sykkloner i et varmere klima. De geografiske områdene som utsettes for tropiske sykkloner ventes heller ikke å endre seg noe særlig. Men selv om antall sykkloner kanskje ikke vil øke, er det tenkelig at styrken på de mest farlige sykklonene kan øke. Dersom en har optimale forhold for utvikling av tropiske sykkloner i en varmere atmosfære, som potensielt kan inneholde betydelig mer latent kondensasjonsvarme enn i dagens klima, er det sannsynlig at det kan utvikles kraftigere sykkloner enn dem vi kjenner i dag. Denne alvorlige konklusjonen er

støttet av resultater med simuleringer i værvarslingsmodeller (Knutson m fl 1998) og av IPCC (2001). Sterkere tropiske orkaner står på den måten som et spøkelse knyttet til global oppvarming. Sikrere kunnskap om dette krever intens, vedvarende forskning.

Sterke stormer i våre områder

Nyttårsorkanen på Nordvestlandet i 1992 (Bruaset 1992; Grønås 1995 a) er det nærmeste vi i vårt land kommer vindstyrker og ødeleggelser som minner om tropiske orkaner. De høyeste vindkastene som ble målt i dette lavtrykket var 62 m/s (223 km i timen). Bruker vi disse tallene, var orkanen tilsvarende en tropisk orkan av klasse 4 (se boks), det vil si samme klasse som årets orkan Ivan hadde da den nådde kysten av USA. Klasseinndelingen forutsetter vindstyrker midlet over ett minutt (se boks). Slik vind er svakere enn vindkast over sekunder. Kastene i Nyttårsorkanen ble målt på øyer på kysten. Det er grunn til å mene at topografien innenfor noen steder forårsaket sterkere vindkast enn på kysten. Derfor er det ikke usannsynlig at Nyttårsorkanen kan sammenlignes med en tropisk orkan av klasse 4.

I orkaner på våre breddegrader er latent varme i fuktigheten energikilden for den intense fase av intensiveringen. Slik står frigjøring av latent varme for minst 50 prosent av utviklingen. Spesielt er frigjøring av latent varme årsaken til de sterke vindene (Grønås 1995 b). Vi kan ikke utelukke at et varmere klima, med potensielt mer fuktighet i lufta, kan gi flere orkaner som Nyttårsorkanen.

Polare lavtrykk er en spesiell type lavtrykk med liten horisontal utstrekning, som oppstår i Barentshavet og Norskehavet. Noen ganger regnes de som en lillebror til tropiske sykkloner, fordi det blir hevdet at mekanismen WISHE (se under) kan være aktiv i dannelsen (Rasmussen & Turner 2003). Som tropiske sykkloner mister de intensiteten når de kommer inn over land. Transport av kalde luftmasser fra havisen i Arktis over varmt hav er viktig for dannelsen av polare lavtrykk (Grønås & Kvamstø 1995). Om isen trekker seg tilbake ved en global oppvarming, kan en vente at dannelsesområdene for polare lavtrykk følger etter. Trolig vil antall polare lavtrykk som når kysten av Norge da avta, men dette er ennå ikke undersøkt.

Det er også kjent at det kan oppstå enkelte intense lavtrykk sent om sommeren over Nordsjøen og Østersjøen, lavtrykk som knyttes til høye sjøtemperaturer på denne årstiden. Tor Bergeron kalte dem *utenomtropiske sommerorkaner* (Bergeron 1949). Vindstyrkene er gjerne full storm eller mer, og nedbørsmengdene er store. De synes ikke å opptre mer enn noen få ganger hvert tiår. Et eksempel er fra 1989 (Grønås m fl 1994). Frigjøring av latent varme er igjen årsaken til den sterke

vinden. Det er mulig at slike sommerlavtrykk vil kunne bli mer vanlige og bli enda mer intense i framtiden, men dette er ikke undersøkt.

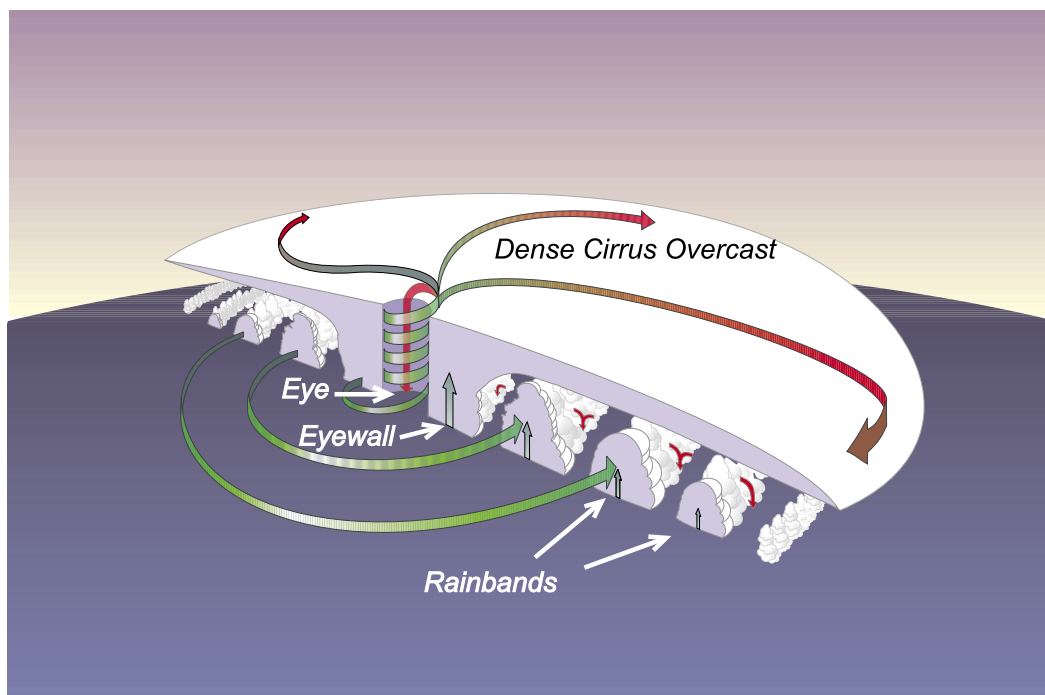
Hvordan oppstår tropiske sykkloner?

Tropiske sykkloner er lavtrykk som dannes over hav i tropene, mens lavtrykk på våre bredder betegnes som *utenomtropiske sykkloner* (ekstratropiske). Mekanismene for dannelsen av de to typene er forskjellige. Tropiske sykkloner starter gjerne ut fra et svakt eksisterende lavtrykk, eller en annen forstyrrelse som gir sterkere vind over et begrenset område ved havoverflaten. Luftmassene er fuktige og har svak statisk stabilitet for vertikale forstyrrelser, noe som favoriserer bygedannelse (konveksjon). Den sterke vinden gir store overføringer (flukser; Watt per kvadratmeter) av varme fra havet – følbare varme og latent varme ved fordampning. Dette resulterer i en oppvarming av atmosfærens grenselag som destabiliserer lagene over. Slik blir det dannet byger. Frigjøring av latent varme ved kondensasjon av vanndamp i bygeskyene gir varmere luft enn i omgivelsene i dype lag av troposfæren. Dette gir lavere trykk og økt kinetisk energi, det vil si økt vind ved overflaten. Ved økt vind øker fluksene av varme fra havet ytterligere. Dette intensiverer bygedannelsen og kondensasjonen. Dermed blir lavtrykket enda kraftigere ved at mer latent varme frigjøres. Lavtrykket forsterkes inntil friksjonen mot overflaten balanserer utviklingen.

Primært tar altså tropiske sykkloner energien fra varmeklukker fra et hav som er varmere enn atmosfæren. Den latente varmen som frigjøres i bygeskyene, spinner opp lavtrykkene (sykklonene) og gir på den måten økt kinetisk energi. En velutviklet syklon omdanner således varme fra havet til kinetisk energi, som i en varmemaskin (Carnotmaskin; Emanuel 1987). I utenomtropiske sykkloner derimot, dannes kinetisk energi primært ved omfordeling av energien i luftmasser med ulike temperaturer. Når slike lavtrykk på høyere bredder først er dannet, vil kondensasjon av vanndamp i vertikalbevegelser også virke forsterkende på dem.

Betingelser for dannelse

Tropiske sykkloner kan ikke eksistere uten jordens avbøyende kraft på bevegelser – Corioliskraften, som står vinkelrett på vindvektor og forsvinner ved ekvator. Derfor oppstår lavtrykkene bare i en viss avstand nord eller sør for ekvator. Erfaring med observasjoner av tropiske sykkloner, og numeriske eksperimenter i værvarslingsmodeller med god oppløsning, tilsier at følgende tre betingelser må være tilstede for at tropiske sykkloner skal oppstå: Sjøtemperaturen må være over 26,5 °C, fordi det kreves et minimum av fordampingsenergi fra havet. Det er her viktig å huske at



Figur 1. Skjematisk framstilling av strukturen i en velutviklet tropisk syklon. Pilene er baner for luftpartikler, grønne baner er luft som stiger opp og røde baner luft som synker ned. Flere sirkulære eller spiralformede bånd med bygeskyer er markert. Vinden i lavere lag er syklonisk (mot urviseren), mens vinden over skyene er antisyklonisk (med urviseren). Vinden er kraftigst litt over overflaten der friksjonen er mindre. Figuren er fra NOAA JetStream online Weather School (http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/tropics/tc_structure.htm) og skaffet til veie av Dennis Cain, National Weather Service, Texas, USA.

latent varme i vanddamp i luft øker mer enn lineært (eksponentielt) med økende temperatur. Den andre betingelsen er at vinden ikke må variere mye med høyden i det sjiktet der syklonen dannes. Dette skyldes at konvekktive skyer (bygeskyer), som gir energi til syklonen, trenger å opprettholde sin vertikale struktur, noe som motvirkes om vinden varierer mye. Den tredje betingelsen er en fuktig, svakt stabil eller ustabil vertikalsjiktning gjennom det meste av troposfæren, slik at konveksjon kan finne sted.

Meteorologer kaller mekanismene som gir vekst til sykloner for instabiliteter, det vil si prosesser som vokser av seg selv når de først er satt i gang. Instabiliteten som er virksom i tropiske sykloner kalles *Wind Induced Surface Heat Exchange* (WISHE; Yanai & Emanuel 1991). Som nevnt starter tropiske sykloner fra en eksisterende forstyrrelse. Bare noen slike forstyrrelser vokser til en syklon. Slik er det noe tilfeldig om WISHE settes i gang eller ikke. Av de lavtrykkene som utvikler seg, er det bare noen som vokser

til maksimal intensitet. Innblanding av tørr luft fra omgivelsene kan svekke utviklingen. Derfor kan ulik intensitet skyldes ulik inntrengning av tørr luft (Emanuel 1987). Det er de kraftigste syklonene, som når vindstyrker mer enn 50 m/s, som forårsaker 80 til 90 prosent av skadene, selv om de bare står for 20 prosent av syklonene som når kyster der folk bor (Bengtsson 2001).

Variasjoner i hyppigheten

I tropiske orkaner er vindstyrken ved overflaten 33 m/s eller mer. I gjennomsnitt dannes det 45 slike orkaner hvert år (Bengtsson 2001). Goldberg m fl (2001) mener det er bevis for at det har funnet sted tiårsvariasjoner i antall orkaner over De karibiske hav. Et høyt nivå fra 1920 til 1960 ble etterfulgt av en periode med mindre aktivitet fram til begynnelsen av 1990-åra. Siden da har vi igjen hatt en mer aktiv periode. Det kan også være store variasjoner i aktiviteten fra år til år. Noe av denne variasjonen styres av endringer i El Niño, som påvirker hvordan vindene endrer seg med høyden i de

aktuelle syklonområdene. Slik får en økt vindvariasjon med høyden over De karibiske hav i år med en varm fase av El Niño. Dette demper utvikling av tropiske sykloner (Goldberg m fl 2001).

Referanser

- Bengtsson, L. 2001. Hurricane Threats. *Science* **293**, 440.
- Bergeron, T. 1949. De tropiske orkanernas problem. Svenska Fysikersamfundets publikasjon *Kosmos*, band **27**, 123-160.
- Bruaset O. 1992. *Orkanen*. Det norske samlaget, 191 sider.
- Emanuel, K.A. 1987. *Nature* **326**, 483.
- Goldberg, S.B. med flere 2001. *Science* **293**, 474.
- Grønås, S. med flere 1994, *Tellus* **46A**, 635.
- Grønås, S. 1995. Nyttårsorkanen. *Vær og Klima*, hefte 4, 159. Meteorologisk institutt
- Grønås, S. 1995. *Tellus* **47A**, 733.

- Grønås, S., N.G. Kvamstø 1995. *Tellus* **47A**, 797.
- Holland, G. 1997. *J. Atmos. Sci.* **54**, 2519.
- IPCC 2001. *Climate Change 2000. Third Assessment Report, The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 881 s.
- Knutson, T.R. med flere 1998. *Science* **279**, 1018.
- Rasmussen, E.A., J. Turner 2003. *Polar Lows*. Cambridge University Press, 612 sider.
- Yanai, J.-I., K. A. Emanuel 1991. *J. Atmos. Sci.*, **48**, 377.

Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB og med i ledergruppen for RegClim.

Jens Rytter

(jens.rytter@gfi.uib.no) er cand. scient. i meteorologi og har undervisningsoppgaver ved Geofysisk institutt, UiB.