

Om lyn og torden:

- sejltur over Kattegat tværs gennem en gevaldig tordenbyge sommer 2009

Af Ole Plett

I artiklen fortælles om en tur til den dejlige Mariager Fjord og om turen hjemad over Kattegat, hvor vi sejlede gennem en kraftig tordenbyge med adskillige lynnedslag i nærheden. Her lovede jeg mig selv at undersøge risikoen for at blive ramt af lyn.

Det er blevet til en artikel, hvor der samtidig berettes om tordenskyers opståen, de mest almindelige typer lyn og udladningerne gennem atmosfæren, forklaringer på de høje spændinger, der opstår, og den årlige hyppighed af lynnedslag i Danmark og lande tættere på ækvator. Der er også noget om strømstyrker, tidsforløb og spændinger i metallerne i båden, om hvad vi kan gøre for at beskytte båden og mandskabet, om lynafledere bliver varme ved et nedslag og om risikoen ved andre af dagligdagens gøremål...

I forsommeren 2009 besluttede familien at sejle til Mariager Fjord, forudsat at vejr og vind var gunstige. Det var en beslutning ud over det sædvanlige, for vi ynder at sejle uden aftaler og noget mål, og først tage beslutning, når vi er ude af hjemhavnen. Én

beslutning står dog fast. Vi vil overnatte for anker, hvis det er muligt, og vejret er til det. Gerne i flere dage. Man ligger i sit eget univers, oftest uforstyrret af andre, og kan nyde naturen om dagen og stjernehimlen om natten. Vores nabogalakse Andromeda kan man mageligt se med en almindelig kikkert som vi alle anvender til søs. Med det blotte øje kan den vanskeligt ses, og man skal vide hvor den er i forhold til stjernerne. Andromeda er en "jævntus" lidt større end Mælkevejen. Den er ca. 2,5 millioner lysår væk. På nattehimlen fylder den 2,5 grader, den lysstærke del dog en smule mindre end Månen, men på grund af den store afstand og dermed beskedne lysstyrke er den upåagtet af de fleste.

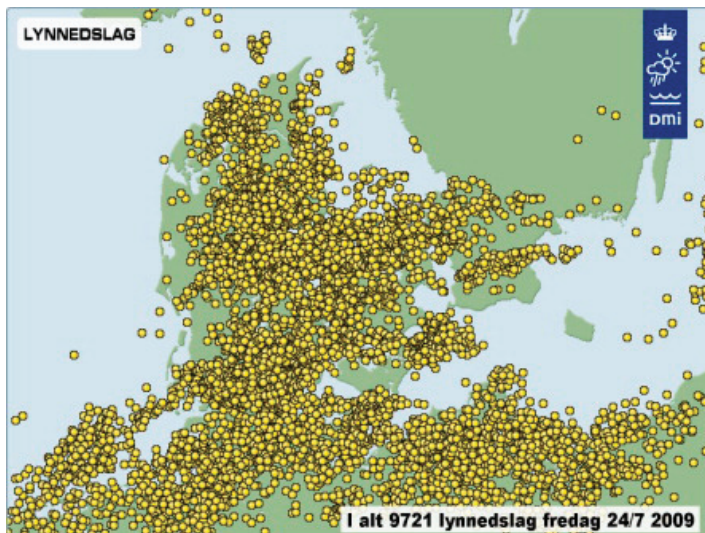
Mariager Fjord er speciel ved den ret stærke strøm, der løber i sejlrønderne i fjordens østlige halvdel. Med 6 timer og 12 minutters mellemrum skifter strømmen retning. Det har lidt betydning for fremkommeligheden at man sejler i medstrøm.

Med en oplysning om højvande fra en turistbrochure lykkedes det undervejs at lave en tidevandstabel. Vi var dog ikke lige opmærksomme på, at oplysningen for højvande skyldtes lodserne ved en gammel lodsstation i fjordens munding. Overraskende nok var der stor forskel på strømmen i fjordmunden og længere inde. Den kunne faktisk løbe hver sin vej, og så bliver det svært. Det lykkedes at nå frem til Hadsund uden for meget besvær ved at gå i kanten af strømmen på



Figur 1. Ustabil luft over Bønnerup.
Foto O.Plett.

Figur 2. I alt 9.721 lynnedslag blev registreret i Danmark og nabolandene fredag 24. juli 2009. Bønnerup og Gilleleje gemmer sig under de gule cirkler, som hver markerer et lynnedslag. Kilde DMI.



lavere vand. Den teknik kender vi jo fra kapsejladserne Sjælland Rundt og Møn Rundt, og mange års sejladis i Bøgestrømmen.

En lille begivenhed fra Hadsund skal med her, selv om skipperen ikke er så stolt af den. Den får betydning for hjemturen over Kattegat. Ved afsejlingen fra Lystbådehavnen bakkede vi ud fra en plads mellem pæle, og for at få stævnen op mod vinden måtte vi have lidt styrefart på. Det blev lidt for meget, så vi ramte en badestige på en overfor liggende motorbåd. Vi skyndte os selvfølgelig at se efter, om der var sket noget med ham. Det var der tilsyneladende ikke, men vi opgav navn og telefonnummer til nogle klubkammerater, der kendte ejeren. I farten glemte vi at se efter, om der var sket noget med os selv, men på vej mod Mariager kiggede medskipperen efter. Hun kunne rapportere at vi havde et ordentligt hul i bådens hæk, begyndende 25 cm over vandlinjen. Så vi listede forsigtigt videre.

Planen var ellers at ligge for anker i den skønne bugt øst for Kielstrup sø. Det blev der ikke noget af nu, for vi måtte lave en midlertidig reparation af hækken i Mariager. Gummibåden blev søsat i havnen, og med saks klippede vi et stykke voksdug til så det rigeligt dækkede hullet som var omkring 25 cm langt og 5 cm bredt. Voksdugen blev fastgjort udefra med Sikaflex på bagsiden og klar transport tape i flere lag

på ydersiden. Transport tape kan tåle vand og erstærkt, men kunne det også klare turen hjem, hvor søen skyller op over den nederste tredjedel af reparationen? Som ekstra sikkerhed fik vi i sidste øjeblik fat i et stykke vandfast finer som kunne skrues på indefra og tætnes med Sikaflex, hvis reparationen ikke holdt.

Med en beskadiget båd besluttede vi at sejle hjemad, så næste dag begav vi os mod Kattegat, og nu havde vi styr på, hvornår der var medstrøm. Vi valgte at sejle til Bønnerup, som er havnen på nordsiden af Djursland med vindmøller på begge sider af havneindsejlingen. Vel fortøjet kunne vi godt se at der var "arktiske cumulus skyer" i højden mod vest. Det er et sikkert tegn på ustabil luft.

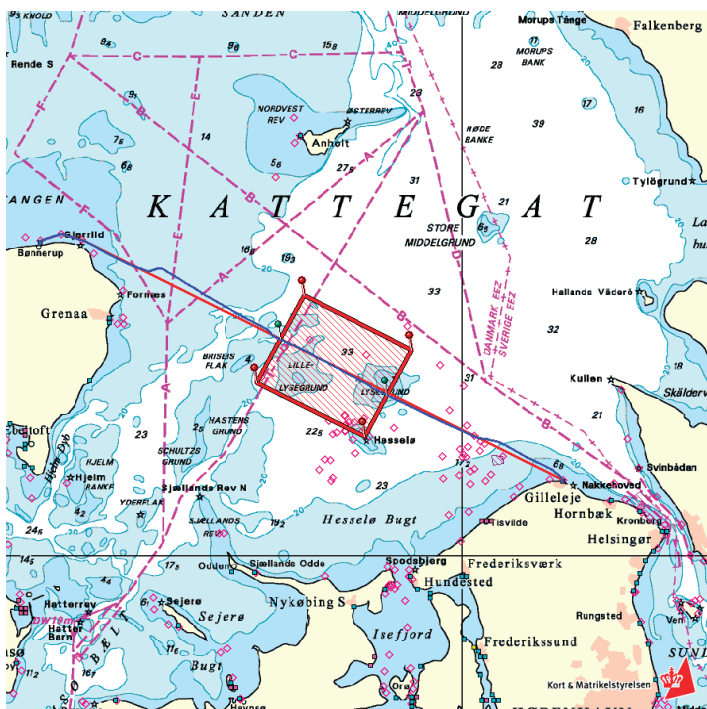
Næste morgen sejlede vi mod Gilleleje lidt over kl. 9. Det er en distance på 61 sømil, så det kan vel tage omkring 10 timer. Kursen var 117 grader. Vejrudsigten sagde svag til frisk vind fra vest til sydvest og byger med mulighed for torden. Vejret var flot med

skyfri himmel og svag vind de første sømil, så vi gik for motor for at nå Gilleleje inden det blev alt for sent.

Klokken 13 checkede vi reparationen af hækken. Saltvandet stod 1/3 op om voksdugen, men tapen holdt, og der kom ikke en dråbe ind i agter kahytten.

Kort efter trak en sort byge op fra sydvest. Der var rullenskyer på forkanten, og der hang en 20-30 mammatus (bryst) skyer ned i den sydlige side. Det var ikke gode tegn, og kl. 13:50 havde vi kraftig regn med hagl. Vi lukkede nedgangen til kahytten for slagregnen. Vinden drejede i syd, så vi rullede genuaen ind til en lille trekant, og lod motoren klare resten. Startkablerne blev sat i vant og agterstag. Forstaget er i sig selv en lynafleder, fordi båden har bovspryd med et vaterstag, der næsten når vandet. Vinden var taget til, og søen blev på ingen tid omkring to meter høj.

Lynene lyste, når de udløstes i skyerne. Andre ramte vandet omkring os, men lidt væk, heldigvis. Et lyn imponerede os. Det



Figur 3. Bønnerup til Gilleleje. Lynnedslag i nærheden fra kl.13:50 til 15:50, markeret med små røde firkanter. Vi befandt os midt i den røde skraverede firkant som markerer området for beregning af nedslagshyppighed pr. kvadratkilometer i de to timer tordenbygen passerede. Kilde: Det Levende Søkort.

Lynets fysik

Først noget om tordenskyers opståen. Tordenskyer er kilden til lyn og kan opstå på flere måder, men har altid noget med opstigende luft at gøre. De kan opstå over land eller vand. Hyppigst om sommeren. Når solen varmer jorden op, kan en boble af overliggende fugtig luft blive så varm at den begynder at stige til vejrs. Luftrykket falder opefter, og luftboblen udvider sig. Det fører til at den afkøles (modsat effekt af en cykelpumpe, hvor luften bliver presset sammen, og den bliver varm i den nederste del). Er den overliggende luft varmere end luftboblen, sker der ikke mere, og boblen falder ned igen.

Ofte er luften ovenover koldere end luftboblen (også selv om den afkøles). Så fortsætter opstigningen, og det kan gå rigtig stærkt. På et vist tidspunkt bliver luftboblen synlig, fordi fugten fortættes til damp. Det sker tit i omkring 1000 meters højde, og skyen ser flad ud i bunden, men blomkålsagtig i toppen. Den er blevet til en cumulus sky. Ved fortætningen afgives der varme, og temperaturfaldet i boblen bliver mindre end ellers. Det hjælper til, så opstigningen fortsætter hurtigere, hyppigt til 10 km højde, hvor skyens top flader ud. På det tidspunkt er temperaturen i skyens øvre dele faldet til under frysepunktet, og vandet i skyen bliver afkølet til minusgrader.

kom fra syd på styrbord side i en vinkel på vel 20 grader med skyernes underside, krydsede vores kurs, og slog ned i vandet et stykke væk.

Et hurtigt kig på vindmåleren viste 17 meter pr. sekund. Søen slikkede på reparationen højere oppe. Ville det holde?

Efter et par timer var det overstået. Vinden løjede. Søen tog langsomt af. Reparationen holdt til Gilleleje og endda helt hjem.

Lyn er spektakulære, men også skræmmende til havs. Med en aluminiumsmast, der stikker ca. 13-14 meter op over havoverfladen, føler man at den ligefrem kalder på lynene. Heldigvis viser undersøgelser og rapporter, at metalmaster ikke tiltrækker mere end andre materialer, som ikke leder nær så godt. Rammes en metalmast dog alligevel, så slukker lynets lysbue resten af vejen ned til vandet, og man undgår

formentlig at få trykbølgen fra opvarmet luft lige i hovedet.

Hvor skal man gemme sig? Der er ingen velegnede steder, og hvad hvis båden bliver ramt? 12 volt systemet kan næppe tåle det, og ferskvandskølingen af motoren bruger en elektrisk pumpe. Ok, så sejler vi videre for sejl som så ofte før, hvis motoren stopper, men i snævre danske havne er det ikke bekvemt at tumle rundt med tunge damer på 6 tons eller mere. Slet ikke i 17 m/s! Navigationen er også afhængig af strøm, men det er ikke så kritisk, for vi har da papirkort, lineal og kompas. Vi har oplevet torden og lyn til søs før, men denne gang lovede jeg mig selv at finde ud af hvilken risiko man egentlig løber, mens tordenbygen passerer. Inden jeg kaster mig ud i risikoberegninger er det dog nødvendigt at vide noget mere om lyn og deres opførsel.

Støv og voldsomme bevægelser fører til isdannelse, og når det sker, har vi en fuldt udviklet tordensky med en ambolt, som er meget karakteristisk – en cumulonimbus. Er skyen mindre kraftig dannes ambolten ikke, og så bliver den blot til en 'bygesky uden ambolt'. Det er en hårfin balance, der afgør om skyen kan blive til en tordensky.

Torden, der opstår på grund af opvarmning af enkelte luftbobler om sommeren, kaldes varmetorden. En anden (og hyppigere) form for torden kan opstå, når en koldfront passerer ind over landet. En koldfront er blot koldere (og dermed tungere) luft, der trænger frem mod varmere og lettere luft. Herved løfter den kolde luft den varme til vejrs, og så har vi den samme situation som med luftboblen. En koldfront kan sagtens række fra Ska-gen til Gedser eller længere, og

så kan vi få fronttorden i landet.

Dernæst noget om de høje spændinger i skyen. Når tordenskyen er blevet fuldt udviklet, og ambolten med iskrytaller har dannet sig, er der voldsomme op- og nedadgående bevægelser i luften derinde, og regnen er begyndt at falde i forkanten. Tordenskyer er noget piloterne har respekt for på grund af de voldsomme luftbevægelser, og de flyver udenom de værste celler, som de holder øje med på vejradaren eller lyndetektoren.

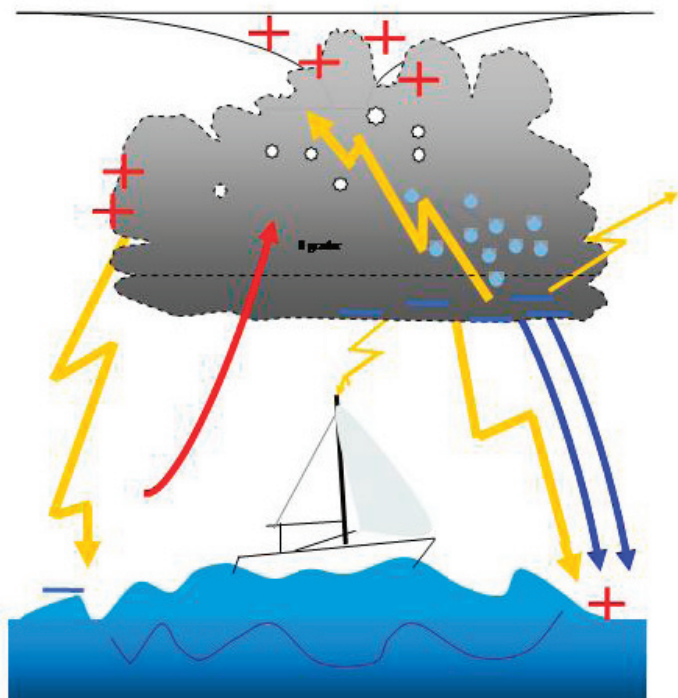
Der er ikke enighed hos fagkunds-kaben om, hvordan de høje spændinger opstår, men gnidning er et godt bud, for gnidning skaber statisk elektricitet. Det kender vi fra frisering af tørt hår, eller hvis vi tager en "nylontrøje" af i tør luft. (Prøv i mørke, det er rigtig flot, når gnisterne springer, men gør det ikke, hvis en åben acetoneflaske

eller brandbare væsker og luftarter er i nærheden). De voldsomme bevægelser i luften river iskrytaller og vanddråber fra hinanden. Ved gnidningen bliver krystallerne positive og dråberne negative. Krystallerne føres til vejrs og dråberne samles i bunden af skyen. Der opbygges store ladningsforskelle mellem skyens bund og top.

Der er tale om millioner af volt spændingsforskelle mellem bund og top, eller mellem bund og havoverfladen. Sidstnævnte bliver positivt ladet, selv om den til daglig er negativ. Det kaldes en skyggladning og er ikke så mystisk, da ens ladninger frastøder hinanden, så de negative i havoverfladen bliver skubbet væk, og tilbage er positiv ladning. Lyn er "blot" store gnister, der springer mellem negative og positive ladninger.

Der er forskellige slags lyn: udladning mellem bund og top i skyen eller på tværs inde i skyen, mellem to skyer. Lynnedslag foregår mellem skybund og hav eller mellem skytop og hav. Lynene, som rammer havet, kan enten være positive eller negative og starte enten nedefra eller oppefra.

Omkring 90% af lynene, som rammer havet, er negative og starter fra skybunden. De er svagere i strømstyrke end de resterende 10%, som er positive lyn. Strømstyrkerne kan være alt mellem nogle få tusinde til to-hundred tusinde ampere.

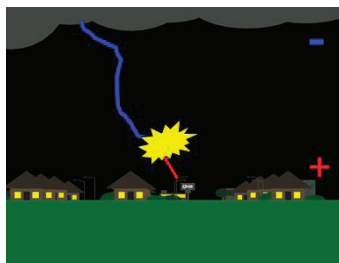


Figur 4. Forskellige typer lyn kan springe mellem sky og hav, mellem to skyer og inde i skyen. Tillige vises opadgående varme vinde og nedadgående kolde vinde. Kilde Ole Plett.

Hvad får lyn til at slå ned, og hvornår rammer det os?

Når spændingsforskellen mellem skyens bund og havet er stor nok bryder luftens isolerende evne sammen. Det foregår ikke på en gang, men ved at de elektriske ladninger "hakker" sig nedad i skridt på 50m eller deromkring og gør luften ledende ved ionisering, holder en meget kort pause på omkring 50 mikrosekunder og søger videre nedad, samtidig med at der hældes negativ ladning ned ovenfra i den kanal, der nu er dannet.

Man kan næsten forestille sig, at lynet så lige orienterer sig, mens det holder pause for at finde ud af hvor det er lettest at fortsætte nedad. Efterhånden når det ned til 50-100m over havoverfladen, og så begynder det at betyde noget, om der er høje genstande i nærheden, som er lettere at ramme end den korteste afstand lige ned. Det elektriske felt, som skyldes ladningerne, bliver stærkere og mere koncentreret fra spidsen af lynkanalen og nedad mod havet eller jorden. På toppen af en mast i nærheden kan feltet være så stærkt, at luften ioniserer opad (Sct. Elms ild). Man kan også opleve, at hår på hovedet rejser sig.



Figur 6. Lynet skal netop til at springe, når nedadgående og opadgående lynkanaler mødes. Kilde: Wikipedia modificeret af O.Plett.

Nu er det ved at blive kritisk, hvis man er indenfor en vis afstand fra lynkanalen. Den afstand kaldes naturligt nok den kritiske radius. Er man indenfor den er man i et risikoareal, og så kan der godt være højere genstande udenfor, som ikke bliver ramt. Når den ioniserede luft fra mastetoppen opad mødes med lynkanalen ovenfra, kortsluttes det hele, og "gnisten" springer. Selve gnisten varer kun omkring 20-50 mikrosekunder og klinger ud i løbet af 600 mikrosekunder. Strømforløbet er typisk en hurtigt opstigning til maksimumværdien og efterfølgende et langsommere henfald som vist i figur 7.

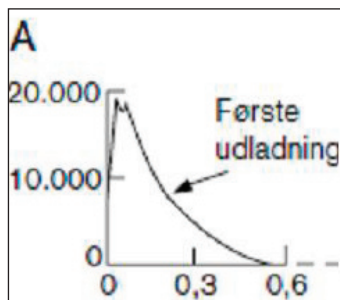
Målinger har vist, at der efter den første udladning går omkring 50 millisekunder, hvor lynet samler sig sammen og gentages med en lavere strømstyrke, typisk 3-5 gange, men i sjældne tilfælde op til 20 gange. Det kaldes deludladninger, og antallet af deludladninger kaldes lynets multiplicitet.

Det er den kritiske radius og risikoarealet, ikke bare for masten alene, men for båden og masten tilsammen, man skal have fat i for at få begreb om risikoen for at blive ramt, mens det lynet omkring en. Den kritiske radius er tillige afhængig af lynets strømstyrke, men for en båd af vores størrelse, 10,3m lang, 3,2m bred og 13m høj ligger den i størrelsesordenen 25 til 75 m (afhængig af strømstyrker mellem 6.000 og 12.000 ampere). Det er en anden måde at udtrykke, at lynet er rimeligt (men ikke helt) uinteressert i os, hvis vi er udenfor risikoarealet og dermed den vandrette afstand til lynkanalens spids er større end 75m.



Figur 5. Figuren viser hvordan lynet hakker sig nedad og mødes med en opadgående kanal. Billederne er optaget med et hurtigt kamera. Tidsaksen er i mikrosekunder. Kilde Desitek A/S.

Man kan komme tættere på en forudsigtelse af sandsynligheden for at blive ramt indenfor de to timer uvejret varede, ved at tage udgangspunkt i de metoder, der benyttes af professionelle for at beregne nedslagsrisiko for bygninger. Man får brug for hyppigheden af nedslag pr. kvadratkilometer i det område man er i, indenfor de to timer uvejret varede. Det kan synes uoverkommeligt, men Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) holder regnskab med lynene i Danmark. På DMI's hjemmeside kan man se hvor lynnedslagene har været indenfor de seneste 3 timer eller et helt døgn (figur 2). For mere præcise beregninger har DMI velvilligt støttet med oplysninger om lynnedslagenes position, tidspunkt, og en estimering af



Figur 7. Eksempel på første lynudladningsstrømforløb. Hurtig opvoksen til ca. 20.000 Ampere (A) og langsommere henfald til 0 A. Tid i millisekunder. Kilde: John Cappelen, DMI.

strømstyrken.

Vi gennemsejlede et område hvor nedslagshyppigheden var 0,0256 nedslag pr. kvadratkilometer pr. 2 timer.

Det resulterer i, at sandsynligheden for at blive ramt er af størrelsesordenen 0,00016 eller ca. 1 gang ud af 6.500 gennemsejlinger af et lignende tordenvejr. Resultatet er ikke særligt skræmmende, og harmonerer ganske godt med den oplevelse de fleste har - at det er sjældent man hører, at nogen bliver ramt.

Jeg kan i øvrigt kun erindre fem gange i en 38 års sejlerkarriere, hvor vi var udsat for lignende tordenvejr til søs, så der er langt til de 6.500, men tag ikke fejl. Et nedslag kan ske næste gang, vi passerer en tordenbyge, for statistikken fortæller ikke hvornår det sker.

Resultatet er en tilnærmelse og giver en ide om risikoens omfang, men skal ikke tages som en sandhed mejslet i sten. Når man regner på lyn, som er underlagt tilfældighedernes spil, og man bruger spinkel statistik, er der mange ting der har betydning. Nedslagshyppigheden pr. kvadratkilometer er et godt eksempel. Den afhænger helt af, hvor mange lyn der slår ned indenfor det areal, man har valgt.

Familien, der beretter her, var godt nok på det forkerte sted, men på det rigtige tidspunkt. Vi blev ikke ramt, men det kan ske, og risikoen er større end de årsgennemsnit man normalt ser i statistikkerne. Under hele tordenbygen var der lynnedslag omkring os, og havde vi valgt en kurs tættere på Hesselø, var sandsynligheden formentlig blevet større.

I dagligdagen udsætter vi os for andre risici, så man kan spørge om resultatet kan sammenlignes med noget vi kender?

Man anvender af og til begrebet timerisiko. I begyndelsen af 80'erne skrev chefredaktøren for ugeavisen "Ingeniøren", T. Mor-

sing, en bog om risiko for at omkomme:

*En Formel-1 racerfører havde dengang en timerisiko for at omkomme på 0,00023, eller 1 til 4.350

*En præsident havde en timerisiko for at blive myrdet på

Beregning af nedslagsrisiko

Der anvendes i dag mindst to måder at beregne lynnedslags risikoen på. Den ene er udviklet i USA, den anden formentlig i Europa. Begge metoder anvendes ofte på bygninger på landjorden, men kan uden videre anvendes på et sejlskib til søs, som jo også er en slags bygning. Heldigvis fører de begge til resultater, der er næsten ens.

I USA beregner man for 10 forskellige lynstrømstyrker (også kaldet average peak return stroke currents) (Ipk; 6 kA til 112 kA), sandsynligheden for nedslag Po, og adderer disse sandsynligheder til sidst.

Input værdierne er:

h= mastens højde (13m)

L= skibets længde (10,3m)

B= skibets bredde (3,2m)

Fg= nedslagshyppigheden (antal lyn pr. kvadratkilometer pr. år eller som her pr. 2 timer i Kattegat), også betegnet ground flash density. I vort eksempel 11 nedslag/429 kvadratkilometer = 0,025641.

Først udregnes Ds som er lynets nedslagsafstand (Lightning striking distance): $Ds=10 \times (Ipk)^{0,65}$ meter.

Så udregnes r som er mastens kritiske radius (risiko radius eller radius of pole attractive area): $r=(2 \times Ds \times h - h^2)^{0,5}$ meter

Herefter udregnes AA som er bådens risikoareal (attractive area):

$AA=(L+2r) \times (B+2r) - 10 \times (4-\pi)/4 \times r^2$ kvadratmeter

Til sidst udregnes sandsynligheden for nedslag Po:

$Po=AA \times (0,1 \times Fg) \times 10^{-6}$ pr. strømstyrke

Summerer man disse sandsynligheder for de 10 lyn strømstyrker, finder man at sandsynligheden er 0,000157 eller 1 til 6.359.

Den europæiske metode, som Desitek bruger, fører til stort set det samme resultat.

Risikoarealet $\text{Ae} = L \times B + 6h \times (L+B) + 9 \pi \times h^2$ kvadratmeter

Sandsynligheden for nedslag $Nd = Fg \times \text{Ae} \times 10^{-6}$

Indsætter man input værdierne som ovenfor finder man $Nd=0,000150$ eller 1 til 6.650.

To vidt forskellige måder fører altså til samme resultat.

Startkabels opvarmning ved lynnedslag

Til beregning af et startkabels opvarmning har man brug for at kende den afsatte energi i kablet. Det forudsættes at lynstrømmen når op på 100.000 A.

Den afsatte øjeblikseffekt i watt (Joule/sekund) er $P(t)=i^2 \times R$ hvor i er strømstyrken og R er startkablets modstand.

Den samlede afsatte energi i Joule fra den første strømpuls (se figur 7 og tilnærmet figur 9) er: $J= R \times \int i^2 dt$ Joule.

Kan man finde en funktion $f(t)$ der beskriver strømpulsen godt og lader sig integrere er det en nem måde. Alternativt kan man tegne lypulsen i et matematikprogram (fx MATLAB) og lade det beregne integralet. Her er valgt at foretage en manuel integration i et regneark af en tilnærmet strømpuls fra $t=0$ til $t=400 \mu s$ og tidsintervaller på $25 \mu s$.

Med følgende input:

Kabeldiameter på 5,5mm

Længde på 4m

Massefylde 8,96 kg/L

Varmefylde 400 Joule/grad/kilogram

Specifik modstand for Cu v. 100 grader $2,24 \times 10^{-8}$ ohm x meter

Samlet kabelmodstand R ved dc = 0,0038 ohm

finder man at den afsatte energi $J= 2770$ Joule. Flere integrationspunkter og en bedre tilnærmet strømpuls vil give et mere nøjagtigt resultat. Sammenhængen med temperaturstigningen er:

$c=J/(Ro \times M)$ hvor M er Cu kablets masse og Ro er varmfyllden.

Med ovennævnte input bliver $c= 8,1$ grad.

0,000012 eller ca. 1 til 83.000

*Timerisikoen for dødeligt uheld ved bilkørsel var 0,00000046 eller 1 til ca. 2,2 millioner

I dag er det nok blevet mere risikabelt at være Formel-1 racerfører, præsident eller at køre i bil.

Til sammenligning var vores timerisiko ca. 1 til 13.000. Måske lovlig tæt på Formel-1 racerføreren, men fordi en sejlbåd rammes af lynet er det ikke sikkert, at man omkommer. Mange andre faktorer spiller ind. Forskrækket eller bevidstløs, ja, men mast og rig virker i nogen grad som et såkaldt Faraday bur som beskytter. Især hvis man husker at forbinde vant

og stag til vandet med startkabler inden tordenvejret begynder. Man kunne dog godt have ønsket et mere finmasket bur.

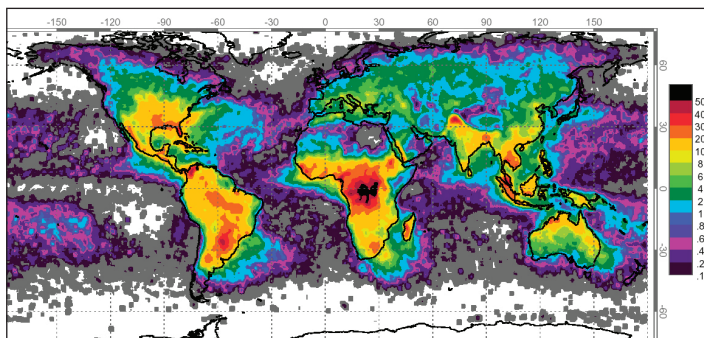
Kan man beskytte sig bedre?

I dele af verden, tættere på ækvator, forekommer torden og lyn langt hyppigere end i Danmark, så her er problemet endnu alvorligere. På figur 8 ser man, at Danmark ligger øverst i det blå område med få lynnedslag pr. kvadratkilometer pr. år. Landene i nærheden af ækvator er hårdere ramt.

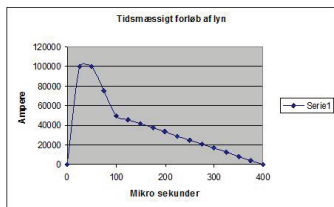
Nedslagshyppigheden i Danmark er registeret til omkring 0,25 lyn pr. kvadratkilometer pr. år. Den afhænger af geografiske/geologiske forhold og er lavest på havet. Sejlsporten rådgives i højrisikolande til at undgå spidse genstande i toppen af masten. Det er der en vis fornuft i, fordi det elektriske felt (v/m) fra en spids genstand er kraftigere end fra en pænt afrundet genstand.

Et stærkt felt kan være med til at bane vej for ionisering af luften op mod en lynkanal, og dermed starte selve kortslutningen af lynet. (Se fig. 5 og 6).

Mastetoppen bør derfor være rund som en kugleskal. Det kan opnås med ledende pinde i vifteform, som til sammen danner noget der ligner en kugleskal. Ved samme lejlighed kan man



Figur 8. Gennemsnitligt årligt antal lynnedslag pr. km² over hele kloden. Kilde: NASA MSFC.



Figur 9. Tilnærmet lynimpuls.

flytte VHF-antennen fra toppen ned på salingen, så den samtidig er beskyttet af vantene. Måske opnår man tillige, at de svagere signaler forsvinder, som den opsamlede oppe fra toppen, og som slipper igennem squelch'en, men er aldeles uforståelige.

Hvis 10.000 til 100.000 ampere brager ned gennem mast, vant og stag, så opstår der et magnetfelt, som ved induction kan danne spændinger og strømme i andre ledende dele i båden. Ydermere vil strømmen i sig selv gennem en leder bevirke spændingsforskelle mellem de to ender - for startkablets vedkommende i nærheden af 8.000 volt i den korte tid lynet passerer. Derfor skal man ikke røre ved metaldele.

Inducerede spændinger kan også forårsage gnister mellem metaldele i båden. I værste fald tværs gennem cockpittet. Det er ikke rart at stå i vejen for, så derfor foreslås alle metaldele i båden bundet sammen med kabler og ført til motorblokken (stel). 16 mm² (4,5 mm diameter) er standard i den professionelle verden, som kalder det potentialudledning.

Permanente kobberkabler fra røstjernene til motorblokken eller jernkølen er heller ikke en dum ide, *men man skal være opmærksom på muligheden for vagabonderende strømme, som*

Strømførtængning (skin effects)

I fagkredse er opfattelsen at strømførtængning har en underordnet betydning. Det er der nogen fornuft i, for et kabel har også en reaktiv impedans (selvinduktion) som modvirker de voldsomme strømme, så praktisk erfaring viser at de 8 grader ikke er helt ved siden af.

Gennemfører man alligevel en tilnærmet beregning, får man følgende: Den tilnærmede strømpuls har en hurtig vækst til 100.000 A, er konstant i 50µs hvorefter den falder langsommere til 0. Skønsmæssigt indeholder strømpulsen frekvenser fra 20kHz til 100kHz, måske højere. En diskret Fourier transformation fra tids- til frekvensdomæne kan afsløre dette. (Også her kan MATLAB være en hjælper).

Elektriske kabler leder strømmen bedst ved jævnstrøm, fordi hele tværsnitsarealet kan føre strømmen. Ved højere frekvenser løber strømmen mest på ydersiden af kablet og aftager indefter.

Man kan vise, at ved 10kHz er strømmen faldet til $1/e=0,4$ af den samlede strøm, ved en indtrængningsdybde på 2,1 mm. Resten løber mellem overfladen og 2,1 mm inde. Ved 100kHz er indtrængningsdybden 0,2 mm og ved 1 MHz er den 0,07 mm

Strømførtængningen fører til, at kablets modstand stiger og den afsatte energi E (joule) stiger, hvorfor også temperaturen i kablets overflade stiger. Man kan vise at, ved 10 kHz er modstanden 2,1R og ved 100kHz er modstanden 6,6R.

Tages der højde for dette får man ved 100 kHz en temperaturstigning på ca. 54 grader, og det er jo ikke nogen katastrofe.

kan forårsage tæring.

Endelig findes der firmaer, f.eks. Desitek, som leverer moduler til overspændingsbeskyttelse af elektrisk udstyr, og lynafledere til den kommercielle søfart.

Kan et startkabel så holde til de voldsomme strømme i et nedslag?

Hvis man forudsætter at startkablet er 5,5mm i diameter (som mit eget), 4m langt, af kobber og kun yder ohmsk modstand, så kan man ret simpelt få en ide om opvarmningen. Med et strømforløb nogenlunde som figur 7 får man en temperaturstigning på

omkring 8 grader. Selv med 4-5 efterfølgende deludladninger af lavere strømstyrke sker der intet dramatisk.

Samme lynstrøm kan opløses i en sum af strømme med forskellige frekvenser, faser og amplituder. Ud fra stigetider og pulsvarighed viser en foreløbig analyse dominerende frekvenser fra 20 til 100 kHz, måske lidt højere. Højfrekvente strømme har det med kun at ville løbe på lederens overflade. Det kaldes strømførtængning og betyder en højere modstand i startkablet, fordi strømmen ikke flyder inde i kablet. Så øges varmeudviklin-

gen. Med den forudsætning bliver temperaturstigningen op til 54 grader i lederens overflade, *men noget taler for at strømforøgningen ikke har nogen stor indflydelse på temperaturen. Se rammen om kabelopvarmning.*

Det vigtige er at kablet *ikke smelter*, hvilket nok overrasker nogen, men kobbers smeltepunkt er 1084 grader celsius. Et startkabel er derfor *måske* lige tyndt nok til de kraftigste af lynnedslagene. Isolationen omkring kablet kan måske blive lidt lun. Lynbeskyttelsesnormer foreskriver 58 mm² (diameter 8 mm) til direkte lynstrømme.

Langt de fleste lyn har strømstyrker under 100.000 ampere, *så det er grænsen hvor man taler om et sjældent tilfælde, men der er set strømstyrker helt op til 250.000 Ampere som ydermere varer længere.* Til professionel lynbeskyttelse ynder man at dimensionere for 98% af lynnedslagene.

Lynnedslagene i vores nærhed på turen var mellem 2.000 og 30.000 ampere. 80 % var negative.

Konklusion

Selv om startkabler ikke er *helt* ideelle, så er de meget bedre end ingenting, og de er billige, så nogle stykker i båden har de fleste råd til. *Det er vigtigt at de er solidt fastgjorte til vant og stag.*

Det anbefales at man går "indendørs" indtil det værste er overstået. Dvs. forlader cockpit eller dæk og søger til kahytten, hvor man ikke skal røre ved metal. Sluk og frakobl forbindelser til vigtig elektronik, eller sørg for at overspændingsbeskyttelse er installeret.

Det rejser straks spørgsmålet om hvem der så skal styre sejlbåden, men her må selvstyret tage over (hvis der er en) så mandskabet kan beskytte sig. Det forudsætter selvfølgelig hyp-pige udgik.

Hvis Danmarks Meteorologiske Institut varskoer om **mulighed** for torden skal det tages alvorligt. Vi tog ikke synderlig notits af formuleringen, og har efterfølgende lært, at det er umuligt at sige om der kommer torden. Den hårfine balance mellem en cumulus sky med nedbør og

en med nedbør og torden er ikke til at forudse. Det har bl.a. noget med luftens fugtighed at gøre. Vi har derfor vænnet os til, at når der meldes "mulighed for torden" så bliver vi i havnen. Jamen, her kan man også blive ramt. Javist, men man er ikke mutters alene på havet, for her er der mange master at dele risikoen med. Sker nedslaget alligevel så er hjælp lettere at skaffe.

Litteratur

www.wikipedia.org

www.lightningsafety.com

www.desitek.dk

www.dmi.dk

Jesper Theilgaard. Det Danske Vejr.

T.Morsing. Døden skal have en årsag,

J. Cappelen. Bag om lyn og torden.

<http://www.dmi.dk/dmi/bagomlyngtorden.pdf>

Boganmeldelse:

Vejret gennem 5000 år

Vejret gennem 5000 år
- Meteorologiens historie
Erik A. Rasmussen
Aarhus Universitetsforlag
ISBN 9788779343009

Format 19x26 cm
ca. 400 sider, rigt illustreret

Bogen er omtalt første gang i *Vejret* nr. 125. En anmeldelse er foretaget af Niels Hansen, Pressechef ved DMI.

Anmeldelsen blev bragt på [dmi.dk](http://www.dmi.dk) og kan læses her: http://www.dmi.dk/dmi/anmeldelse_vejret_gennem_5000_aar

