



Statistisk analys av blixtdata för Danmark 2002-2010

Kandidatarbete i meteorologi

Sandra Andersson
Nadine Damsberg

Köpenhamns universitet
Lunds universitet

7 juni 2011

Intern handledare: Aksel Walløe Hansen
Extern handledare: Søren Overgaard, DMI



Abstract

Thunderstorms are one of the most dangerous phenomena in our atmosphere. Mankind has always been interested in observing thunderstorms. It is only recently that we have begun to understand the physics behind this phenomenon. However, there are still many gaps in the knowledge.

Since 2000, Denmark has been using the lightning locating system IMPACT which registers strike point, average amperage and polarity, among others. The system is especially good at localizing cloud-to-ground flashes.

During the period 2002-2010 data from the system has been compiled. The distribution of the number of strokes during the year and day has been studied. Also, the average amperage has been studied. The result indicates that thunderstorms most frequently occur in June, July and August. Thunderstorms can take place during any time of the day, but in summer it is more prone to occur in the afternoon. Average amperage is generally greater in the period of September to May. The geographical difference in the number of flashes has also been studied. The result indicates that such a distribution does not exist, except for smaller variations. Other studies have shown that the percentage of positive flashes decreases during the summer months, but such a correlation could not be seen in this study.

In addition, two case studies have been carried out.

Sammanfattning

Åska hör till ett av de farligaste fenomenen som finns i vår atmosfär. Intresset av att observera åska har alltid funnits hos människan. Först på senare tid har man börjat förstå fysiken bakom fenomenet, även om det fortfarande finns många luckor i kunskapen.

Sedan 2000 använder Danmarks Meteorologiska Institut blixlokaliseringssystemet IMPACT, som bland annat registrerar nedslagspunkt, strömstyrka och polaritet. Systemet är bättre på att lokalisera markblixtar än de blixtar som sker uppe bland molnen.

För perioden 2002-2010 har data från IMPACT behandlats och sammanställts i grafer och histogram. Fördelningen av antalet urladdningar under olika tid på året och dygnet har studerats och likaså medelströmstyrkans variation över året. Resultatet visar på att flest urladdningar sker under juni, juli och augusti månad. Åska förekommer under alla tider på dygnet men under sommaren vanligast på eftermiddagen. Medelströmstyrkan är generellt högre under perioden september till maj. Vidare har den geografiska skillnaden i antalet blixtar studerats. Resultatet pekar på att en sådan fördelning inte föreligger. Andra studier har visat att andelen positiva blixtar minskar under sommarmånaderna. I denna studie har ett sådant samband inte kunnat urskiljas.

Två fallstudier av dagar med åskväder har även gjorts.

Innehåll

| | |
|--|----|
| 1 Inledning..... | 7 |
| 2 Teori | 8 |
| 2.1 Historia | 8 |
| 2.2 Cumulonimbus | 8 |
| 2.2.1 Meteorologiska betingelser | 8 |
| 2.2.2 Olika typer av åska..... | 9 |
| 2.2.3 Livscykel | 10 |
| 2.2.4 Elektrisk uppladdning | 11 |
| 2.3 Blixten | 11 |
| 2.3.1 Urladdningsprocessen | 12 |
| 2.3.2 Polaritet | 13 |
| 2.3.3 Heta och kalla blixtar | 14 |
| 2.3.4 Skillnader i åska över världen | 14 |
| 2.3.5 Klimat..... | 14 |
| 2.4 Den elektriska fördelningen | 15 |
| 3 Blixtlokalisering..... | 16 |
| 4 Metod | 19 |
| 4.1 Databehandling..... | 19 |
| 4.2 Fallstudie | 19 |
| 5 Resultat..... | 20 |
| 5.1 Fördelning av antalet urladdningar och medelströmstyrkan över året | 20 |
| 5.2 Dygnsfördelning..... | 22 |
| 5.3 Geografisk fördelning | 23 |
| 5.4 Andel positiva urladdningar | 24 |
| 5.5 Fallstudie | 25 |
| 5.5.1 18 juni 2002..... | 25 |
| 5.5.2 14 augusti 2010 | 26 |
| 6 Diskussion | 28 |
| 7 Slutsatser | 30 |
| Tack..... | 31 |
| Litteraturförteckning | 32 |
| Bilagor..... | 33 |
| Bilaga 1 | 33 |

| | |
|----------------|----|
| Bilaga 2 | 35 |
| Bilaga 3 | 38 |

1 Inledning

I vår omgivning hör åska till ett av de mest spektakulära och farliga väderfenomenen. Intresset av att observera åska har alltid funnits hos människan, men i dagens moderna samhälle är det ett väderfenomen som kanske påverkar oss mer än någonsin.

Även om åska främst förekommer i tropikerna, där förutsättningarna för uppkomsten av åskmoln är mest gynnsamma, kan den uppträda i nästan alla delar av världen, året runt. Åska är dock ett småskaligt fenomen med relativt kort varaktighet vilket gör att den är svår att förutsäga. Man kan i regel tala om sannolikheten för utvecklandet av moln som skulle kunna generera blixtrar, men om en urladdning fås eller inte handlar ofta om en hårfin balans.

I följande studie har fördelningen av registrerade blixurladdningar över året och dygnet studerats och likaså den geografiska fördelningen. Syftet är att se när och var man kan förvänta sig att förekomsten av blixaktivitet är som störst. Även parametrar som medelströmstyrka och polaritet har studerats.

2 Teori

2.1 Historia

Åska och blixnar tros ha funnits ända sedan jorden bildades och kan ha haft en roll i skapandet av livet. Det är ett fenomen som människan länge funderat över och förklaringarna har således blivit många. I Skandinavien trodde man att det var asaguden Tor som skapade blixnarna med sin hammare Mjölner. När man insåg faran med blixnar började man leta efter sätt att skydda sig mot den. Ett av de mindre lyckade försöken var att låta klockringarna ringa i kyrkklockorna när åskan gick. Detta resulterade i att många klockringare miste livet. (1)

Under 1700-talet utförde Benjamin Franklin sin forskning kring blixnar. År 1752 uppfann han den första fungerande åskledaren. Han noterade också under sin forskning att byggnader som har bly över taket och som har metalldelar som går ner i marken aldrig skadas av blixtnedslag. Förklaringen till detta är att när blixten träffar en sådan byggnad leds strömmen ner i marken och gör därmed inte någon skada på byggnaden. (1)

2.2 Cumulonimbus

Åska är ett väderfenomen som potentiellt kan vara farligt eftersom det alstrar elektriska spänningar som ger upphov till blixnar. För att blixurladdningar ska kunna ske krävs moln med stor vertikal utsträckning som innehåller både vattendroppar och iskristaller. Moln av detta slag kallas cumulonimbus och kan bara bildas under vissa förhållanden.

2.2.1 Meteorologiska betingelser

I troposfären kan vertikala rörelser förekomma i alla nivåer. Luft kan stiga i en viss nivå samtidigt som det kan sjunka i en annan. Dessutom kan det finnas luftlager där vertikala rörelser är hämmade. Vilken typ av moln som utvecklas beror i hög grad av i vilken del av troposfären som luft stiger. Kraftig konvektion i en atmosfär som är labilt eller villkorligt labilt skiktad i alla nivåer skapar goda förutsättningar för bildandet av moln som skulle kunna generera åska.

Atmosfärens stabilitet är ett mått på luftens förmåga att röra sig vertikalt. En instabil skiktning innebär att temperaturavtagandet med höjden är sådan att vertikala rörelser underlättas. Temperaturen i luften som omger ett stigande luftpaket avtar då snabbare mot höjden i atmosfären än vad temperaturen i luftpaketet gör. En uppåtriktad kraft påverkar luftpaketet och ger den en accelererande rörelse som är större ju mer instabil atmosfären är. När skiktningen är stabil avtar temperaturen mot höjden istället långsammare än temperaturen i ett stigande luftpaket varvid de vertikala rörelserna bromsas. Kall, torr luft i övre troposfären och varm, fuktig luft i botten är exempel på en situation som ger goda förutsättningar för kraftig konvektion. Under sommarmånaderna då solen har stort inflytande kan uppvärmning av markytan bidra till ökad instabilitet. Advektion av kall luft över ett relativt varmt underlag är också gynnsamt för uppkomst av instabil skiktning. Vidare spelar lufttemperatur och fuktighet en nyckelroll i sammanhanget. Varm luft har förmågan att kunna bära mer vattenånga än kallare luft. Hävning av luft med högre absolut fuktighet resulterar således i frigörelse av en större mängd latent värme än vad hävning av mindre fuktig luft gör. Latent värme är den energi som finns bunden i vattenånga och som frigörs i atmosfären då vattenångan kondenserar till moln och regndroppar och håller luften varmare än omgivningen så att den fortsätter att stiga. Denna energi är bränslet i

åskmolnet. En stor vertikal temperaturgradient sätter igång processer i atmosfären som försöker återställa en balans. Är fukttinnehållet i det planetära gränsskiktet högt kommer frigörelse av latent värme leda till att temperaturgradienten kan upprätthållas en längre tid vilket leder till kraftigare molnbildning. Frigörandet av latent värme bidrar således till instabilitet, vilket främjar konvektion och på så vis molntillväxt i höjden.

Hög fuktighet i det planetära gränsskiktet i kombination med atmosfärisk instabilitet utgör huvudingredienserna för åska. Men för att ett cumulonimbus ska bildas krävs dessutom mekanismer som initierar en stigande rörelse hos luften närmast marken. Hävning av luft kan åstadkommas av termiska uppvindar som bildas över soluppvärmd mark eller när luft strömmar mot en höjd, men även längs gränsen mellan två luftmassor med olika temperatur och fuktighet. Kallfronter har en kraftigare vertikal lutning än varmfronter, något som gynnar uppkomsten av moln med stor vertikal utbredning. Andra processer som tvingar luft att stiga är konvergens i lägre troposfären och divergens i övre troposfären. PDVA (positive differential vorticity advection) är associerad med regioner nedströms för tråg i höjden som kan resultera i att luften vid marken börjar stiga. Vidare kan processer som bidrar till ett ökat vertikalt temperaturavtagande tvinga luft att stiga. Sådana processer kan vara advektion av kall luft i höjden och varm luft i botten. Det finns en rad mekanismer som tvingar luft att stiga och ju fler som samverkar desto bättre är förutsättningarna för utvecklingen av ett cumulonimbus.

Cumulonimbus förekommer året runt. Det faktum att temperaturen är lägre under vintermånaderna gör dock åska till ett mer sällsynt väderfenomen denna årstid eftersom luftens förmåga att innehålla fukt minskar med temperaturen. Luftens absoluta fuktighet är mindre och i torrare och kallare luft finns inte lika mycket energi att hämta. Den negativa strålningsbalansen leder vidare till att luften närmast jordytan kyls av och det vertikala temperaturavtagandet blir följaktligen mindre. Havets stora värmekapacitet gör att havet under vintern är relativt varmt jämfört med ovanliggande luft. Denna skiktning gynnar konvektionen, som därför är mer aktiv över havet än över jordytan under denna del av året. Åskväder om vintern förekommer också i samband med fronter, i regel i samband med att en kallfront sveper över ett varmt underlag och orsakar instabilitet nödvändig för åska. I allmänhet är det under vintern svårare att få en gynnsam kombination av de tre nödvändiga villkoren för åska. (1)

2.2.2 Olika typer av åska

Generellt skiljer man på två typer av åskväder, luftmasseåskväder och frontåskväder.

Luftmasseåskväder uppstår av uppvindar orsakade av kraftig soluppvärmning av markytan eller av orografi. Faktumet att uppvärmningen av jordytan är ojämn gör att värmeåskväder är mycket lokal och kortvarig. Vidare utvecklas den i regel på sena eftermiddagen då solen haft hela dagen på sig att värma upp jordytan. (2)

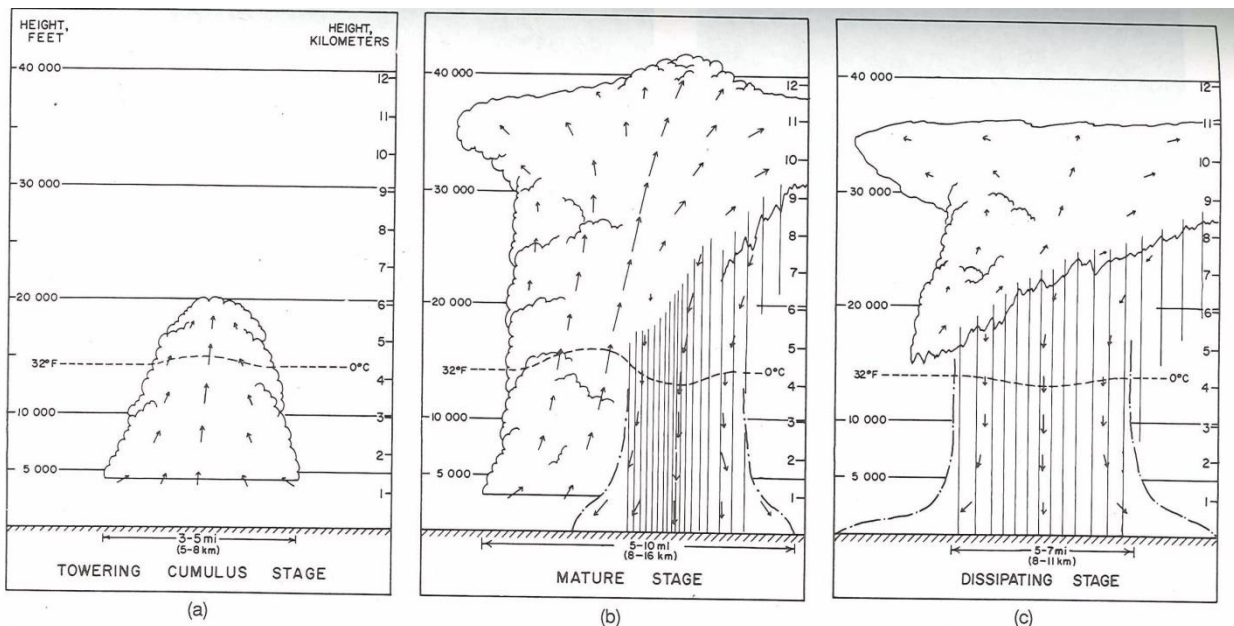
Den andra typen av åskväder är den associerad till fronter, oftast kallfronter. Frontåskväder bildas då en kallfront tränger fram och pressar undan varm luft. Denna undanpressning tvingar luften att stiga och är hävningen tillräckligt stark och luften tillräckligt fuktig, finns potential för åska. Karakteristiskt för frontåskväder är att de har stor horisontell utbredning och kan vara långvariga. Ju större skillnad det är på temperatur och fuktighet mellan de två luftmassorna, desto högre instabilitet i atmosfären och ju större chans för mer intensiva åskväder. Intensiteten manifesteras i form av en större mängd blixurladdningar. (2)

Vidare kan åska förekomma i samband med vulkanutbrott. Blixtrar från denna typ av åskväder har observerats komma ur det material som vulkanen ”spyr ut” och sker både i åskmolnet och mellan molnet och marken. Blixtrar kan även förekomma i samband med sandstormar och vid detonering av termonukleära bomber. (1)

2.2.3 Livscykel

Ett cumulonimbus består av uppvindar och fallvindar som bildar par med varandra. Varje par kallas för en cell. En cell har i regel en horisontell utbredning på 10 km och en livstid av storleksordningen en timme. (3)

Under förhållanden med kraftig vindskjuvning av den horisontella vinden finns potential för att kraftigare och mer långvariga åskmoln som exempelvis multiceller eller superceller ska utvecklas. Gemensamt för alla typer av åskmoln är dock att varje cell genomgår en livscykel som består av tre stadier: cumulus-, mättnads- och upplösningsstadiet, se figur 1. (1; 3; 4)



Figur 1: Åskcellens olika stadier. (4)

Det första stadiet av ett åskmoln karaktäriseras av konvektiva uppvindar som tenderar att vara vertikala. Den nivå vid vilken molndroppar börjar bildas kallas för LCL (Lifting Condensation Level). Denna nivå kan ligga ovanför, på samma höjd eller under den nivå där luftpaketet blir varmare än sin omgivning och därmed börjar stiga av sig själv. Nivån där detta sker kallas LFC (Level of Free Convection). Under tiden som det mättade luftpaketet stiger minskar temperaturen fuktadiabatiskt och cumulusmolnet övergår till att bli ett cumulonimbusmoln. (3)

När temperaturen i luftpaketet understiger 0 °C fryser en del av vattendropparna till is och bildar iskristaller. De droppar som inte fryser till is trots att temperaturen ligger under fryspunkten kallas underkylda vattendroppar. När dessa kolliderar med iskristallerna fryser de fast och bildar så kallade graupelpartiklar. Så småningom har graupelpartiklarna vuxit sig så stora att uppvindarna inte förmår att hålla kvar dem i luften längre. De fallande partiklarna initierar då en nedåtriktad dragkraft. Åskmolnet befinner sig i mättnadsstadiet. (2)

Under förutsättning att konvektionen är tillräckligt kraftig kan molnet ha vuxit så pass mycket i höjddled att den når tropopausen, som i tempererade områden ligger på en höjd på ungefär 10-12 km. Tropopausen markerar gränsen mellan troposfären och stratosfären, där temperaturen istället för att avta med höjden ökar. Vid denna gränsszon brer molnet ut sig horisontellt och får formen av ett städ. De suddiga konturerna vittnar om att alla vattendroppar frusit till is. (2)

Utmärkande för mättnadstadiet är samexistensen av uppvindar och fallvindar inom molnet. När de fallande graupelpartiklarna når varmare luftlager smälter de till vattendroppar. På vägen ner till marken avdunstar en del av nederbörden, luften kyls av och fortsatt konvektion hämmas. I takt med att nederbörden ökar tilltar fallvindarna. När fallvindarna helt tagit över uppvindarna har molnet nått upplösningsstadiet. Det finns inte längre någon energi som kan driva utvecklingen av molnet. Om det däremot existerat kraftig vindskjuvning hade upp- och fallvinden inte längre haft en vertikal orientering och molnet hade fått en längre levnadslängd. (2)

2.2.4 Elektrisk uppladdning

Man vet vilka förutsättningar som är gynnsamma för uppkomsten av åska. På vilket sätt den elektriska laddningsfördelningen i åskmolnet uppstår råder det däremot fortfarande en debatt kring.

I samband med att ett cumulonimbus bildas sker en separation av elektriska laddningar så att nedre delen av molnet får ett överskott på elektroner medan den övre delen får ett underskott på elektroner. En populär teori som förklarar på vilket sätt detta sker menar att de elektriska laddningarna uppkommer när graupelpartiklarna kolliderar med iskristaller i närvaro av underkylda vattendroppar. Laboratorieexperiment har visat att närvaron av dessa vattendroppar är nödvändig för att en signifikant laddningsöverföring ska kunna ske. Vid kollisionerna blir graupelpartiklarna negativt laddade och iskristallerna positivt laddade. Iskristallerna, som är lättare, transporteras med uppvindarna till molnets topp medan de större graupelpartiklarna faller neråt i molnet. I takt med att områdena med positiv och negativ laddning växer sig mer distinkt uppstår ett elektriskt fält mellan molnets bas och topp. Ju längre ifrån varandra dessa områden är desto starkare fält. Luften är dock en god isolator, vilket hämmar elektriskt flöde. Det betyder att det hinner byggas upp ett starkt elektriskt fält innan en urladdning sker. (1; 2)

När laddningen i molnet ökar kommer elektroner i markområdet under molnet att repelleras. Träd, hus och buskar blir positivt laddade varvid ett elektriskt fält mellan molnets bas och markområdet uppstår. Detta elektriska fält är inte lika starkt som det inuti molnet, varför markblixtar inte är lika vanliga som molnblixtar. (2)

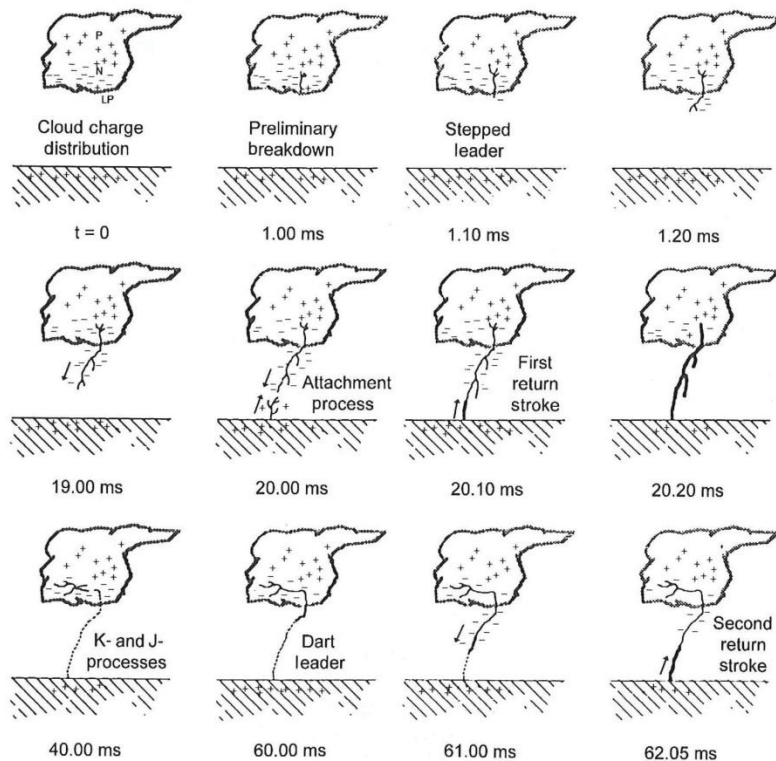
Luftatomer som kolliderar med de positivt laddade kropparna i markområdet blir till positiva joner. Dessa joner transporteras med uppvindar mot molnets bas där de binds till vatten- och isdroppar. Det bildas en liten ficka som blir positivt laddad. (2)

2.3 Blixten

Generellt skiljer man på två typer av blixtar, markblixtar och de som sker moln emellan eller mellan moln och luft. Av markblixtar finns det vidare fyra typer av blixtar, nedåtgående negativ blyxt, uppåtgående negativ blyxt, nedåtgående positiv blyxt och uppåtgående positiv blyxt. Ungefär 90 % av alla blixtar är nedåtgående negativa. De övriga 10 % utgörs av främst nedåtgående positiva blixtar. (1)

2.3.1 Urladdningsprocessen

Blixurladdning är en komplicerad process som består av flera steg. Följande beskrivning av den process som genererar en blixurladdning gäller för nedåtgående negativa blixtrar. I figur 2 är de olika stegen illustrerade.



Figur 2: De olika stegen i formandet av en nedåtgående negativblixtr och den ungefärliga tiden för när de olika stegen sker. (1)

Det förberedande sammanbrottet (preliminary breakdown på engelska) kallas det första steget i blixurladdningsprocessen. Detta sammanbrott går till genom att den negativa laddningen i molnet skapar en kanal genom molnet ner till den undre delen som innehåller en ficka med positiv laddning. De negativt laddade elektronerna kommer att neutralisera den positivt laddade fickan och allt fler elektroner kommer att flöda genom kanalen ner till den undre delen av molnet. Till slut kommer det ha samlats en stor mängd av elektroner varvid ett överflöde av elektroner fås i den nedre delen av molnet. Eftersom marken är positivt laddad kommer den att attrahera elektronerna i molnet. Luften är dock en god isolator, vilket hindrar elektronerna från att förflytta sig ner mot marken. (2)

När elektronerna har nått en viss koncentration kommer de att påverka elektroner som finns fritt i luften, dessa kallas då slaveelektroner. Elektroner i molnet får slaveelektroner att bygga en ledande kanal ner mot marken. När slaveelektronerna har skapat en bit av kanalen så flödar elektronerna till änden av kanalen och slaveelektronerna kommer att fortsätta att röra sig nedåt. Denna process kallas för en stegurladdning (stepped leader på engelska) då processen sker i steg. Varje steg tar omkring 1 μ s, är omkring 50 m lång och intervallet mellan varje steg, det vill säga den tid det tar för slaveelektronerna att bygga en ny del av kanalen, är mellan 20-50 μ s. Under

stegurladdningsprocessen är ofta inte varje del av kanalen i linje med de tidigare delarna, vilket resulterar i en krokig blixtkanal. Det händer ibland att fler än en grupp av slavelektroner påverkas av elektronerna i molnet. Detta resulterar i att två kanaler bildas och elektronerna, som fördelas mellan de två kanalerna, ger upphov till en förgrenad blixtkanal. (1; 2)

När stegurladdningen är omkring 100-200 meter över marken genereras en fångurladdning med positiv laddning från marken. Det är inte bara en fångurladdning som genereras när stegurladdningen närmar sig marken utan alla upphöjda objekt kommer att ge ifrån sig en fångurladdning. Det som bestämmer om ett objekt kommer att generera en fångurladdning är dess höjd och dess förmåga att leda elektricitet. Eftersom högre objekt är närmare stegurladdningen är sannolikheten större att fångurladdningen från något av dessa objekt kommer att sammankopplas med stegurladdningen, varför höga objekt oftare påverkas av nedslag. (2)

När det tillslut har bestämts vilken fångurladdning som stegurladdningen ska sammankopplas med så accelereras de mot varandra och ger en koppling mellan molnet och marken. Så fort de har kopplats samman börjar elektronerna röra sig i kanalen ner mot marken. Denna rörelse genererar en stor ström i kanalen vilket resulterar i att kanalen blir mycket varm och börjar lysa. Kanalen uppnår en temperatur på omkring 30 000 °C. Denna process kallar man för huvudurladdningen (return stroke på engelska). På grund av den snabba uppvärmningen genereras en tryckvåg, som uppfattas som ett muller. (2)

Efter huvudurladdningen kan processen vara avslutad. Dock är det vanligare att blixten inte avslutas här utan att fler urladdningar följer. Den första urladdningen tömmer enbart ett litet område i molnet på negativ laddning. Detta område har nu ett överflöde av positiv laddning och en urladdning mellan denna del och ett negativt laddat område i molnet kan ske. Urladdning kallas då för en K-puls eller J-puls och resulterar i att negativ laddning börjar flöda ner i den kanal som huvudurladdningen skedde i och processen kallas för en pilurladdning (dart leader på engelska). Kanalen har nu en temperatur som endast är omkring 3 000 °C, något som leder till att pilurladdningen kan röra sig kontinuerligt i kanalen istället för i steg som stegurladdningen. Ibland händer det dock att kanalens ledningsförmåga avtar och pilurladdningen övergår då till en stegurladdning och urladdningen kallas för en pil-stegurladdning. Pilurladdningen sammankopplas med en fångurladdning på samma sätt som för stegurladdningen och när detta sker så fås en ny huvudurladdning. Processen med att en pilurladdning fås i kanalen kan ske mer än bara en gång och en blixtn kan därför bestå av många fler urladdningar än bara en. Generellt består blixten av ungefär tre till fyra huvudurladdningar. Den huvudurladdning som erhölls efter stegurladdningen brukar kallas för den första huvudurladdningen medan de andra kallas för efterföljande huvudurladdningar. (1; 2)

2.3.2 Polaritet

När en urladdning sker strömmar negativ eller positiv laddning genom kanalen. Om urladdningen sker mellan moln och mark kan laddningen strömma antingen från molnet eller från marken. Ungefär 90 % av alla markblixtnar överför negativ laddning medan resterande överför positiv laddning. Även om människan inte med blotta ögat kan skilja en positiv blixtn från en negativ vet man idag att de har olika egenskaper.

En egenskap som skiljer positiva blixtnar från negativa är multipliciteten. Negativa blixtnar har ofta två eller fler urladdningar till skillnad från positiva blixtnar, som i regel består av en urladdning. Det är vidare vanligt att en positiv blixtn efterföljs av en negativ blixtn. Studier har också visat att

positiva blixtar tenderar att ske i upplösningsstadiet av ett åskmoln, men svaret på varför det är så vet man ännu inte. (1)

Det är främst under sommarmånaderna som andelen negativa blixtar är särskilt hög. Under vintermånaderna ökar medelströmstyrkan på huvudurladdningen kraftigt för både de negativa och positiva blixterna. Däremot har de positiva blixterna generellt en högre strömstyrka än de negativa. Anledningen till detta tros vara att de positiva blixterna har en mycket längre varaktighet än de negativa varvid mer laddning kan överföras. (1)

Ytterligare en skillnad mellan den negativa och den positiva urladdningen är hur de formas. Nedåtgående negativa urladdningar rör sig alltid med stegurladdningar ner mot marken till skillnad från de nedåtgående positiva urladdningarna som också kan röra sig genom en kontinuerlig urladdning, alltså utan steg. (1)

2.3.3 Heta och kalla blixtar

När en urladdning mellan moln och mark sker är det störst chans att blixten slår ner i ett högt objekt, exempelvis ett träd eller en hög byggnad. Då en blixtn slår ner i ett eller flera träd är chansen för att en skogsbrand ska bryta ut stor. Varför det inte alltid sker har med blixterns varaktighet att göra. I en typisk blixtn uppgår strömmen i 30 000 A inom loppet av ungefär 5 μ s och är noll efter ungefär 100 μ s. För vissa blixtn avtar strömstyrkan dock inte lika snabbt. Blixtn med en längre varaktighet kallas heta blixtn, övriga kalla blixtn. För blixtn med en kortare varaktighet avtar strömmen, och därmed temperaturen, snabbare. Detta resulterar i att de kalla blixtna inte hinner antända ett träd och starta en brand. (2)

2.3.4 Skillnader i åska över världen

Antalet blixtn i ett åskmoln påverkas av säsongen, platsen och vilken typ av åskmoln det är. I närheten av ekvatorn är molnen betydligt kraftigare och blixtna fler än på något annat ställe på jorden. Landmassans inverkan är vidare mycket stor. Det sker i genomsnitt 1,4 gånger fler blixtn under sommaren på norra halvklotet än på södra halvklotets. Under sommarmånaderna sker fler blixtn över land, vintertid ökar antalet blixtn över havet och minskar över land. (1)

2.3.5 Klimat

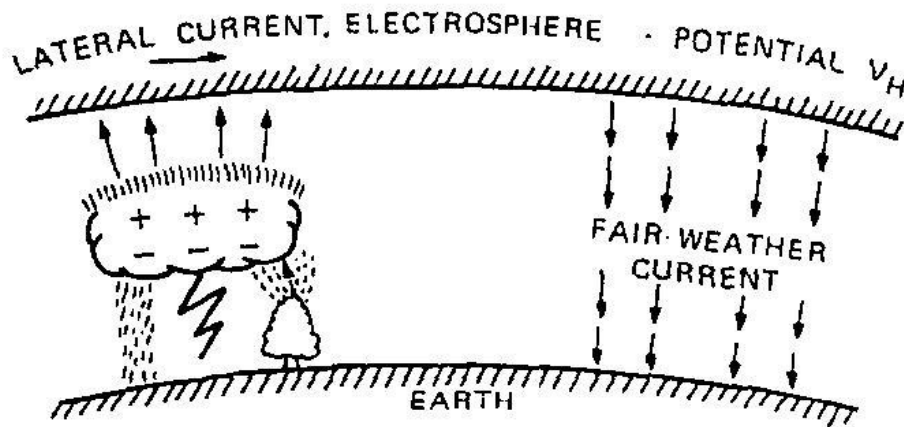
Modeller indikerar på att den högsta uppvärmningen, till följd av förhöjda halter av växthusgaser i atmosfären, kommer att ske i den övre troposfären kring ekvatorn medan en avkylning kommer ske i stratosfären. Anledningen till detta är att konvektionen i tropikerna förväntas förstärkas varvid mängden vattenånga i den övre troposfären ökar. Vattenånga är en stark växthusgas som absorberar infraröd strålning vilket leder till en avkylning av stratosfären. Men medan en uppvärmning sker i troposfären, relativt ytan sett, kommer det vertikala temperaturavtagandet bli mindre, något som hämmar konvektionen. Detta skulle kunna betyda att ett varmare klimat skulle ge sämre förutsättningar för bildandet av åskmoln. Dock visar modellerna att samtidigt som troposfären blir fuktigare så blir ytan torrare. Genom att studera ENSO så har forskare funnit att under El Niño år, som är varmare och torrare, så har blixtnaktiviteten ökat. Det verkar som att antalet stormar kommer att minska men att de kommer att vara mer intensiva i ett varmare klimat. Modellerna idag säger att en ökning av den globala medeltemperaturen på 1 °C skulle ge en ökning i blixtnaktiviteten omkring 10 %. (5)

2.4 Den elektriska fördelningen

I atmosfären finns hela tiden ett elektriskt fält som varierar som 100 V/m. Faktumet att luften inte är en perfekt isolator gör att det kontinuerligt går en ström mellan luften och marken.

Atmosfärens ledande förmåga kommer av att det mellan luftmolekylerna finns joner. Dessa joner har skapats dels av kosmisk strålning, dels av den naturliga radioaktiviteten. Andra joner som också finns i atmosfären är små smutspartiklar, som exempelvis sand och salt. Dessa joner är större och rör sig långsammare och bidrar istället till att reducera atmosfärens konduktivitet. (6)

I ”vackert väder” är luften positivt laddad och marken negativt laddad. Eftersom UV-strålning och kosmisk strålning och ger upphov till joner i atmosfären, ökar ledningsförmågan med höjden. På ungefär 50 km höjd blir luften praktiskt sett en perfekt ledande yta, från vilken de strömmar som hela tiden existerar i atmosfären har sitt ursprung. Eftersom dessa små strömmar hela tiden finns borde atmosfären och marken snabbt neutraliseras, men så är inte fallet. Det som bibehåller laddningsfördelningen har föreslagits vara blixten, som till störst del överför negativ laddning till marken. (6) I figur 3 visas en schematisk bild över hur denna cykel kan se ut.



Figur 3: Illustration av den globala elektriska kretsen. (7)

Laddningsfördelningen i atmosfären är global, vilket kan förklaras med att medan en plats har ”vackert väder”, som pumpar positiv laddning ner till marken, så har en annan plats ett åskväder med blixtar som istället pumpar negativ laddning ner till marken. Mätningar har gjorts för strömmar över havet och dessa visar att det förekommer en dygnsvariation av strömmarna. Det intressanta i sammanhanget är att var än mätningen utförs visar den alltid att det maximala värdet sker vid 19.00 GMT och det minimala vid 04.00 GMT. Många menar att förklaringen till detta kan ligga i faktumet att blixaktiviteten är som högst vid 19.00 GMT. (6)

3 Blixtlokalisering

I Danmark började blixtdata att samlas in under 1960-talet, efter krav från elverken vars kraftledningarna var hårt drabbade. Problemet är inte lika stort idag då man som standard gräver ner ledningarna i marken. Man började sedan manuellt att markera om åska och blixtar hade observerats. Under 90-talet fick Danmark sitt första online system, Global Atmospheric, Inc. (GAI), med tre sensorer utplacerade. Systemet som används idag, IMPACT, installerades under 2000 och har sex sensorer.

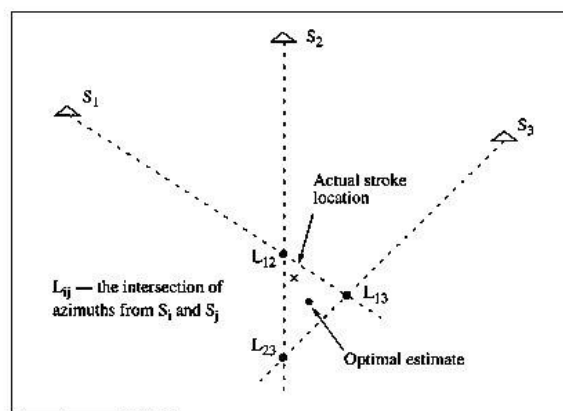
Det finns en rad olika system som kan användas för att lokalisera blixtar. Samtliga baseras på metoder som beräknas riktningen (direction finding på engelska) eller ankomsttiden (time-of-arrival på engelska), eller en kombination av dessa.

System som bygger på att finna riktningen använder två eller fler sensorer som mäter azimuthen mellan sensorn och blixten. Om två sensorer är delaktiga i lokaliseringen fås en nedslagspunkt som innehåller fel eftersom varje sensor har ett visst inre fel, som slumpvisa vinkelfel. Om tre eller fler sensorer istället är delaktiga fås en bättre position. Detta beror på att man kan använda en minimeringsteknik som kallas chi-kvadrat, χ^2 . Den reducerade chi-kvadraten beräknas med nedanstående ekvation.

$$RCK = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\frac{(m_j - m_j^*)^2}{e_j^2} \right]}{x}$$

där n är antalet mätningar, j är mättingsindex, m_j och m_j^* är det uppmätta värdet respektive det beräknade baserat på den optimala positionen, e_j är standardavvikelsen och x är frihetsgraden. Bra värden för chi-kvadrat ligger mellan 0,0 till 3,0 och acceptabla värden mellan 3,0 till 10,0. (8)

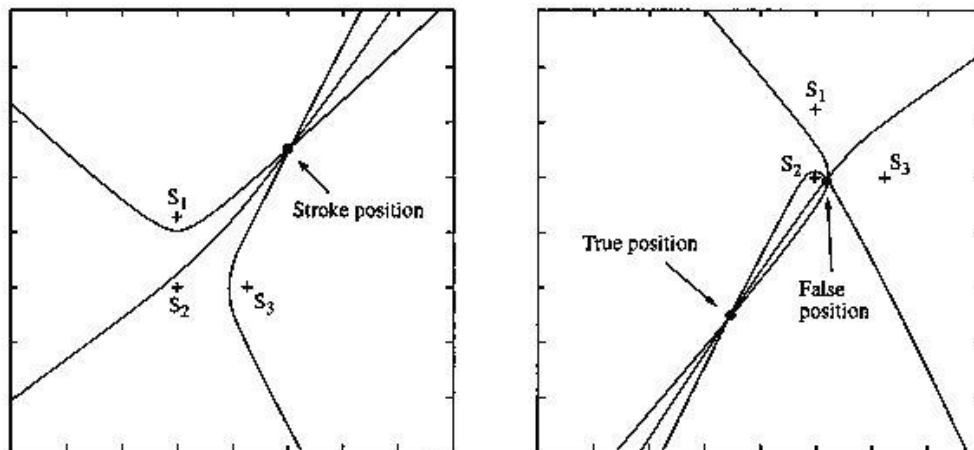
Metoden med tre sensorer kallas för en trianguleringsmetod, se figur 4. Felvärden kan fås när urladdningen sker längs en linje mellan två sensorer eller då en skärningspunkt inte kan erhållas. Det är dock sällan man får falsklarm eftersom sannolikheten att två eller fler sensorer ska uppmäta en händelse som inte är en blixt är liten. (1; 8)



Figur 4: Hur nedslagspunkten bestäms med tre stycken sensorer för system som använder riktningsmetoden. (8)

System som bygger på metoder som mäter ankomsttiden har tre eller fler sensorer. Dessa sensorer mäter tiden för när urladdningen sker, det vill säga när de känner av blixrens elektromagnetiska fält. Men eftersom de är placerade på olika avstånd från urladdningen kommer de att ge olika tider för urladdningen, en tidsdifferens fås. Genom att använda en metod som mäter den relativa tidsdifferensen erhålls för varje par av sensorer en hyperbolisk kurva som beskriver de möjliga punkter som satisfierar tidsdifferensen. Genom att sedan använda tre sådana kurvor, alltså tre stycken sensorer, kan man utifrån skärningspunkten mellan de tre kurvorna avgöra var urladdningen skedde, se figur 5. Om för få sensorer används kan en felaktig placering fås. (8)

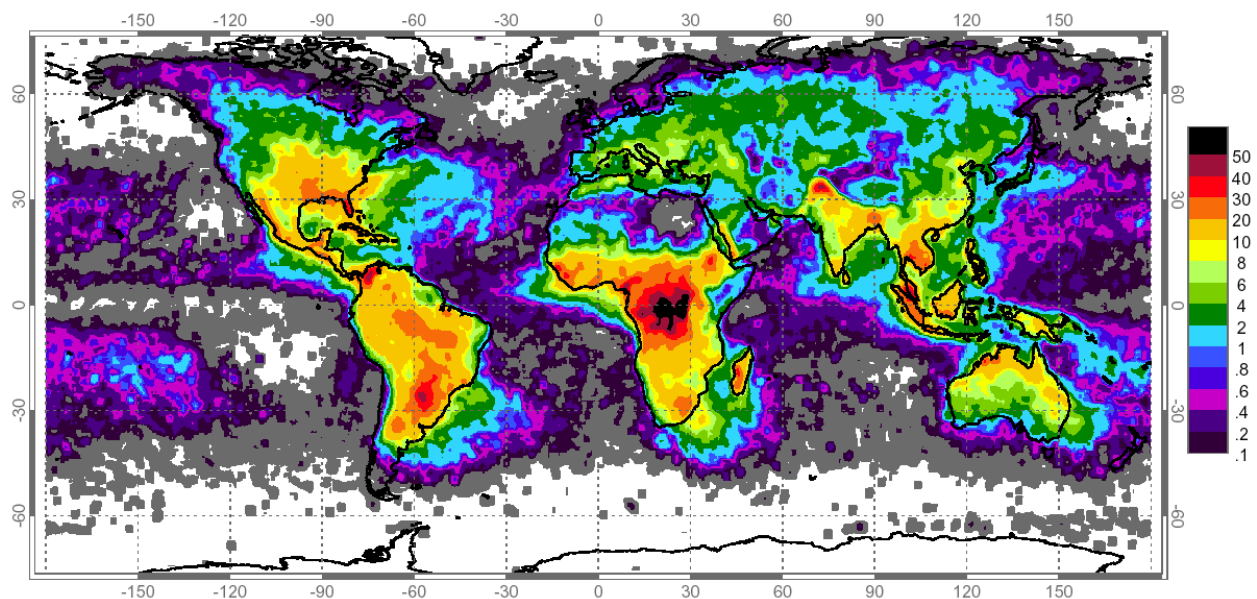
När metoden först började användas hade man stora problem att synkronisera sensorerna så att inte ett tidsfel dök upp i mätningarna. Idag har detta problem lösts genom att sensorerna tidssynkroniseras med GPS-signaler (Global Positioning System) från satelliter. Detta gör att varje blixrt kan mätas med en upplösning i nanosekunder. En annan metod är att mäta den absoluta ankomsttiden av urladdningen vid varje sensor. (1)



Figur 5: Hur nedslagspunkten bestäms med system som använder sig av ankomsttiden. Den högra figuren visar en falsk lösning. (8)

Metoden som idag används för att lokalisera blixurladdningar bygger på en kombination av metoden för riktning och ankomsttiden. Detta system kallas för IMPACT (IMProved Accuracy from Combined Technology). Sensorerna som används består av två antenner som är placerade vinkelrätt mot varandra. Runt varje antenn sitter en spole och när blixrens elektromagnetiska fält når spolen kommer en spänning att induceras. Genom att sedan mäta hur lång tid det tar för blixrens elektriska fält att gå från noll till dess max kan man avgöra om det är blixurladdning som har skett eller om det är brus. Det är även på detta sätt som systemet kan avgöra om det är en markblixrt eller en molnblixrt. Om ett diagram skulle tecknas över det elektriska fältet som en funktion av tiden ger blixren generellt en snabb och distinkt topp. Dock sker inte alltid detta och vissa blixtrar kan gå förlorade på grund av de kriterier som används för att urskilja blixtrar och brus. Tillverkaren har angett att sensorerna kan mäta ungefär 90 % av alla markblixtrar om de har en strömstyrka på minst 5 kA. Vidare ska sensorerna kunna mäta nedslagspunkterna med en säkerhet på 600 m. Systemet är inte bra på att uppmäta blixtrar som sker mellan moln och mellan moln och luft. (8)

En metod som har blivit vanligare de senaste åren är att använda sig utav satelliter. Satelliter kan däremot inte skilja mellan molnurladdningar och markurladdningar. Innan 1990 var all publicerad data över blixtrar uppmätta med satelliter endast de som hade skett vid skymning, gryning och på natten. Dock har det varit möjligt att estimerar den totala blixtdensiteten över olika områden och säsongsvariationer. Med hjälp av satellitdata i figur 6 har man beräknat att antalet blixtrar över hela jorden är 45 per sekund med en estimerings osäkerhet med $\pm 5 \text{ s}^{-1}$. (1)



Figur 6: Den globala blixtdensiteten mätt i antalet blixtrar per km^2 per år från två stycken satellitdetektorer. (9)

4 Metod

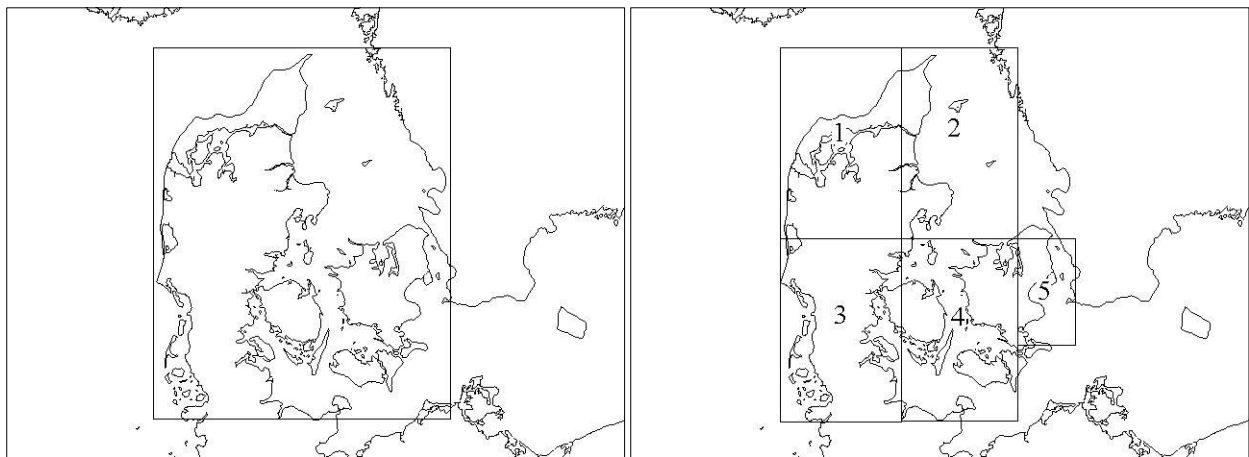
I denna studie presenteras data insamlade av Danmarks Meteorologiska Institutets blixtolokaliseringssystem under åren 2002-2010. Blixtdata har behandlats i MATLAB och sammanställs i grafer och histogram i MATLAB och Excel. Figurer som illustrerar den geografiska fördelningen av blixurladdningar har gjorts i Python, programkoden och kartan kommer från Danmarks Meteorologiska Institut. I detta avsnitt beskrivs de data som använts och hur behandlingen gjorts.

4.1 Databehandling

För varje blixurladdning som registreras lagras blixtolokaliseringssystemet en rad olika parametrar. De parametrar som använts i denna studie inkluderar tidpunkt (år, månad, dag, timme och minut), nedslagsplatsens läge i longitud och latitud, strömstyrka och molnindikator (markblix eller molnblix). Även blixstens multiplicitet skulle ha inkluderats men då systemet avrapporterar detta fel fick den uteslutas. Av den anledningen har antalet urladdningar istället för antalet blixar använts i studien.

I syfte att reducera osäkerheterna har blixurladdningar med en strömstyrka < 5 kA sorterats bort. Likaså har data som har ett chi-kvadrat större än 10 uteslutits. I vissa fall har molnurladdningar tagits bort, vilket resulterat i att 29,8 % av den totala datamängden exkluderats.

I figur 7 visas de områdesindelningar som gjorts i studien. Då den geografiska fördelningen av urladdningar studerades, delades området in i fem mindre rutor av varierande storlek.



Figur 7: Ungefärlig indelning.

4.2 Fallstudie

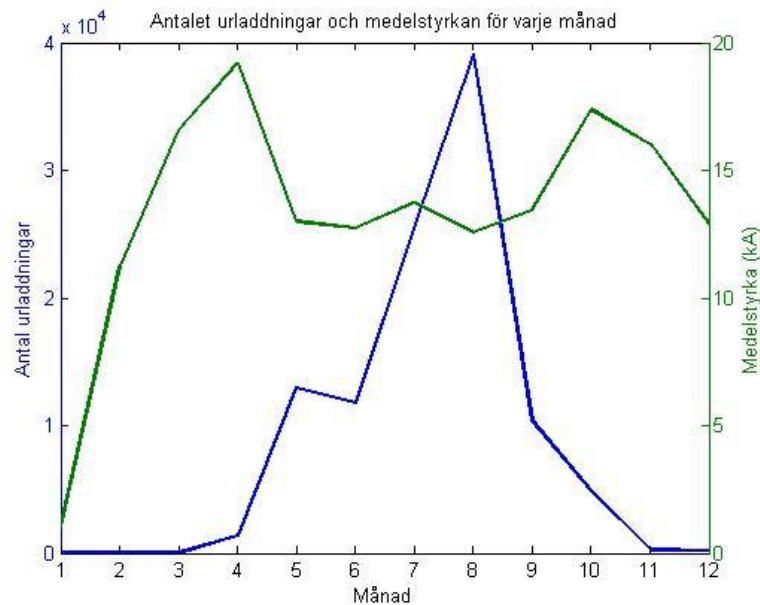
Till fallstudien har satellitbilder från <http://www.sat.dundee.ac.uk/> och diverse väderanalyskartor från <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/> använts.

5 Resultat

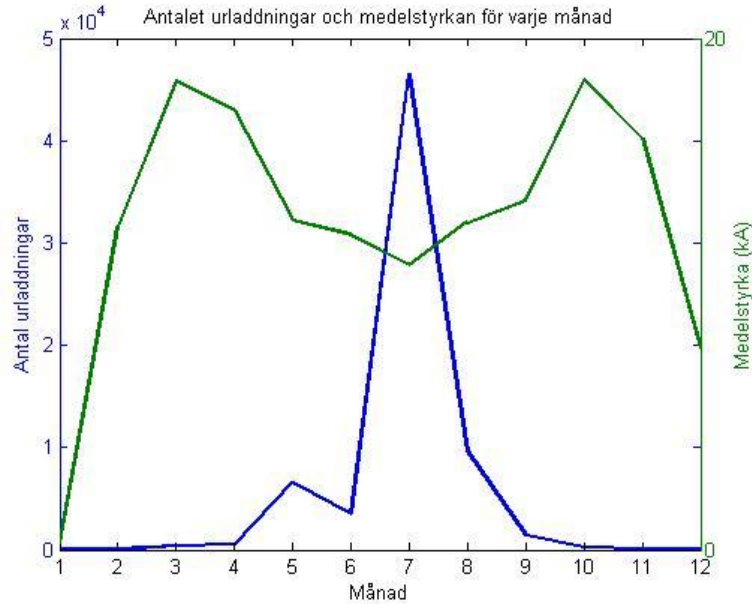
I detta avsnitt presenteras resultaten av studien. Resultatet har delats in i fem delar, se respektive rubrik.

5.1 Fördelning av antalet urladdningar och medelströmstyrkan över året

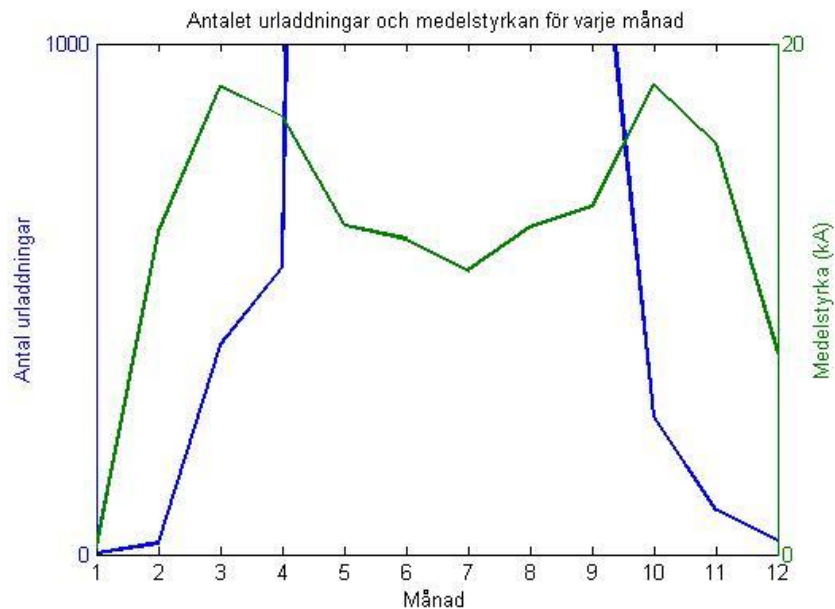
I figur 8 och figur 9 visas hur antalet blixurladdningar och medelströmstyrkan av dessa varierat över året under 2004 och 2010. Övriga år kan ses i bilaga 1. Medelströmstyrkan är som högst under perioden september till maj. Flest urladdningar sker generellt under juli eller augusti. Under både 2004 och 2010 kan en topp i antalet urladdningar urskiljas i maj månad.



Figur 8: Antalet och medelströmstyrkan av urladdningarna under 2004.



Figur 9(a): Antalet och medelstyrkan av urladdningarna under 2010.

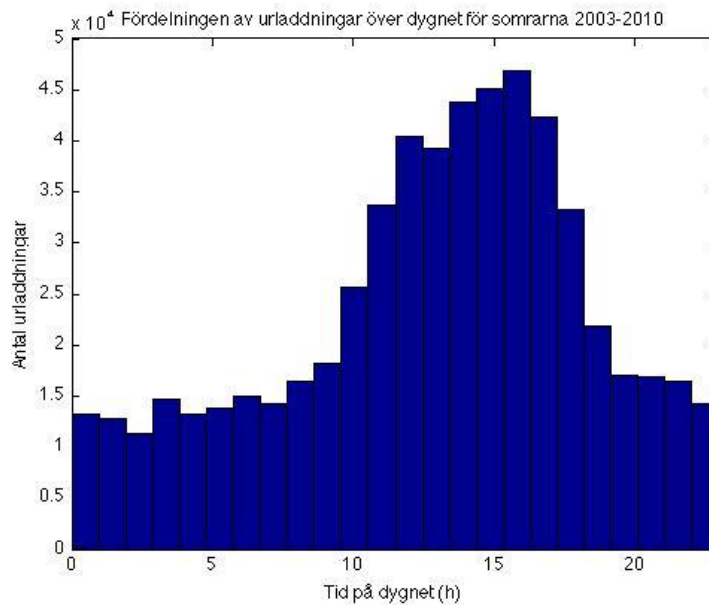


Figur 9(b): En in zoomning av figur 9(a) för att visa att antalet urladdningar är skilt från noll under vintermånaderna.

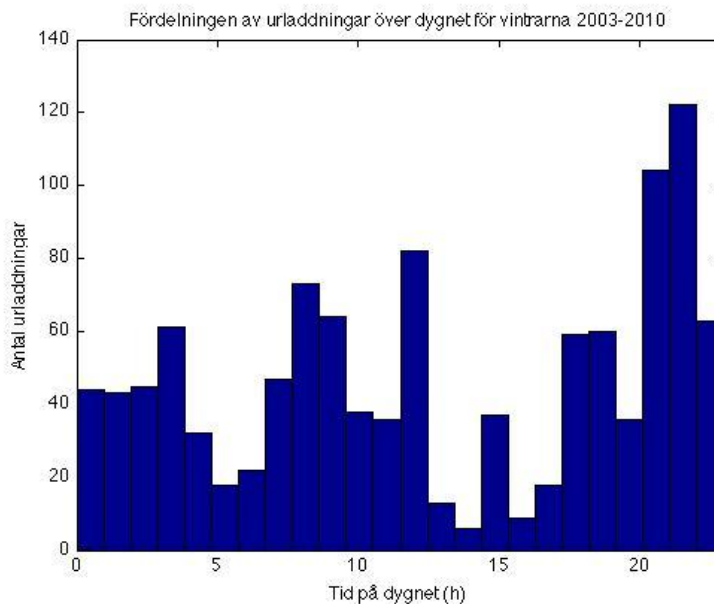
76 % av urladdningarna skedde under sommarmånaderna juni, juli och augusti för perioden 2003-2010 medan 0,55 % skedde under vintermånaderna december, januari och februari. Maj och september fick 11 % respektive 9 % av alla urladdningar.

5.2 Dygnsfördelning

Figur 10-11 visar urladdningarnas dygnsfördelning under sommarmånaderna och vintermånaderna för perioden 2003-2010. Under sommarmånaderna kulminerar blixaktiviteten under eftermiddagen, till skillnad från vintermånaderna.



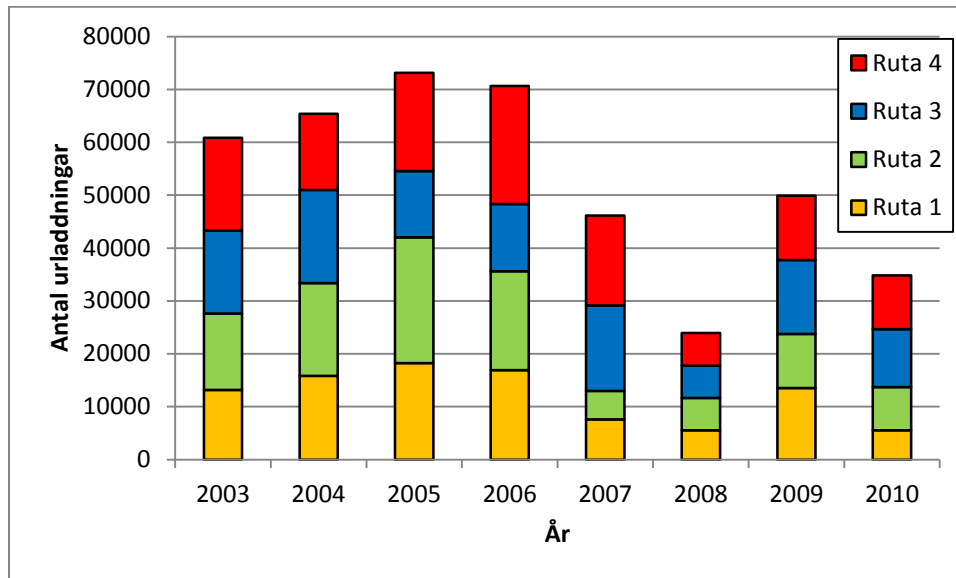
Figur 10: Dygnsfördelningen av antalet urladdningar under dygnet under juni, juli och augusti under åren 2003-2010.



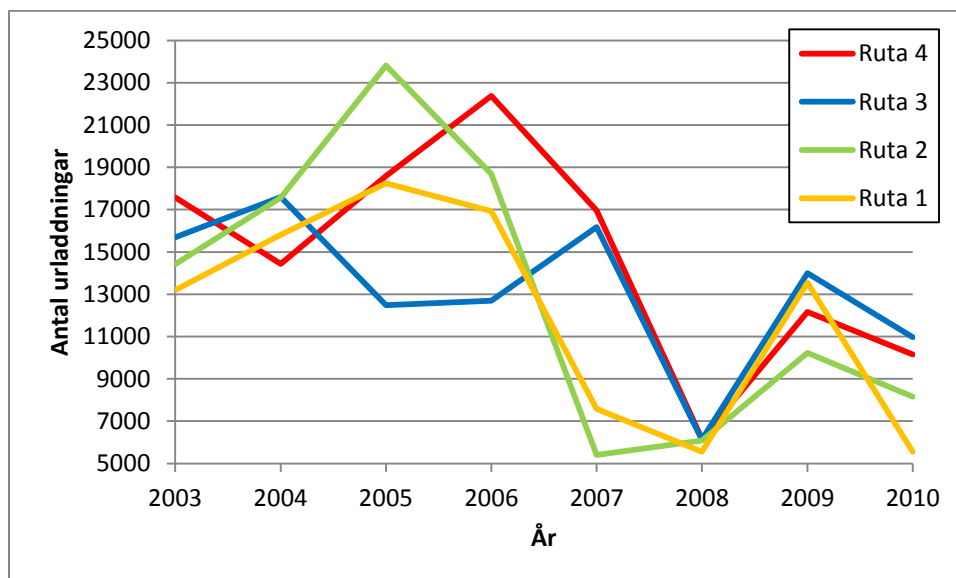
Figur 11: Dygnsfördelningen av antalet urladdningar under dygnet under november, december och januari under åren 2003-2010.

5.3 Geografisk fördelning

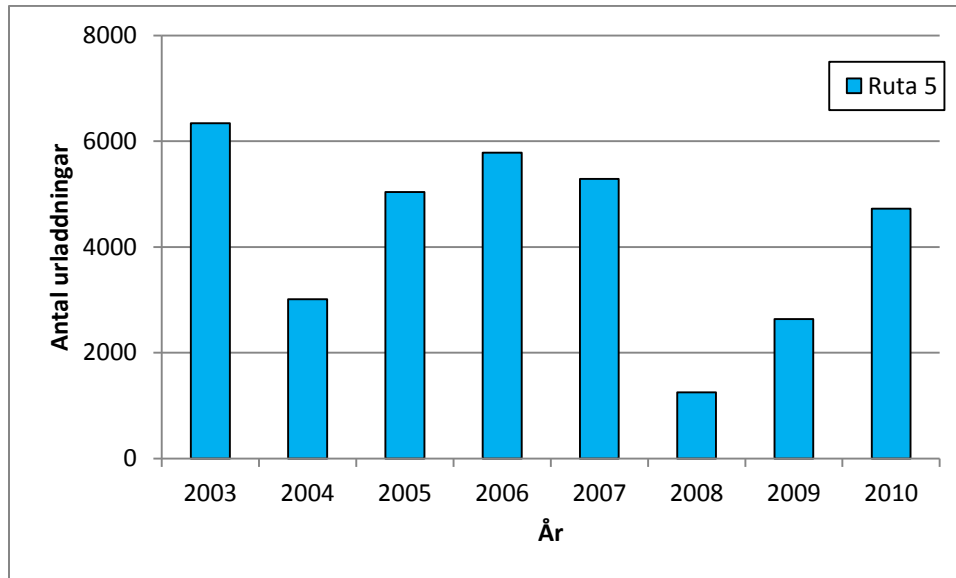
I nedanstående figurer visas resultatet av ett försök att avgöra om det förekommer en geografisk skillnad i antalet markurladdningar i de olika rutorna, se figur 7. Resultatet presenteras i dels stapeldiagram, dels ett linjediagram. Figur 13 visar hur antalet urladdningar varierat i ruta 5 över den studerade perioden. Denna ruta är betydligt mindre än övriga rutor varför antalet urladdningar här är mycket färre. Resten av landet hade en hög blixaktivitet under 2004 medan ruta 5 hade en lägre aktivitet. Figur 12(b) indikerar på att den geografiska variationen är liten. I figur 12(a) kan det ses att perioden 2003-2006 var år med högre blixaktivitet jämfört med åren 2007-2010. 2008 hade generellt färre urladdningar än övriga år i studien.



Figur 12(a): Antal urladdningar i de olika rutorna under perioden 2003-2010.



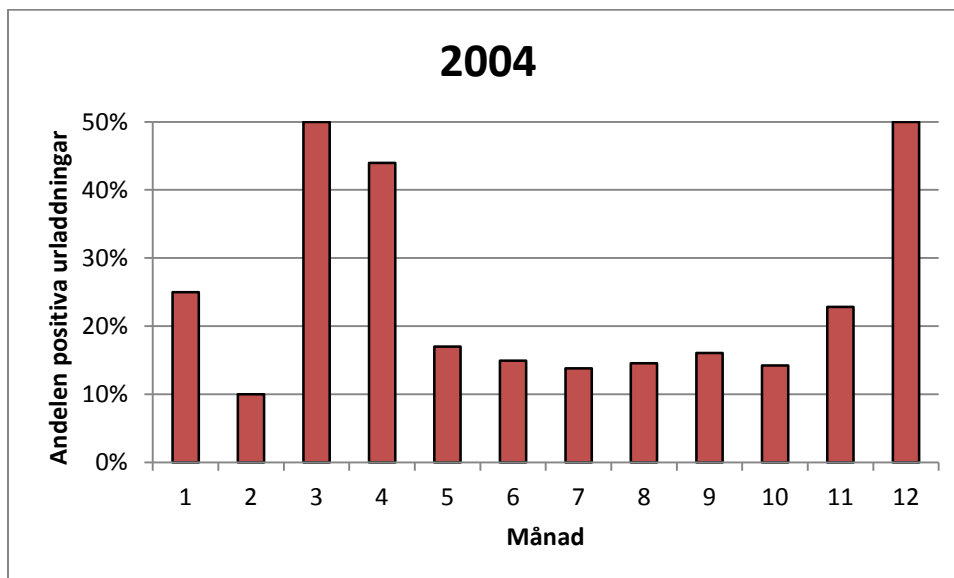
Figur 12(b): Antal urladdningar i de olika rutorna under perioden 2003-2010.



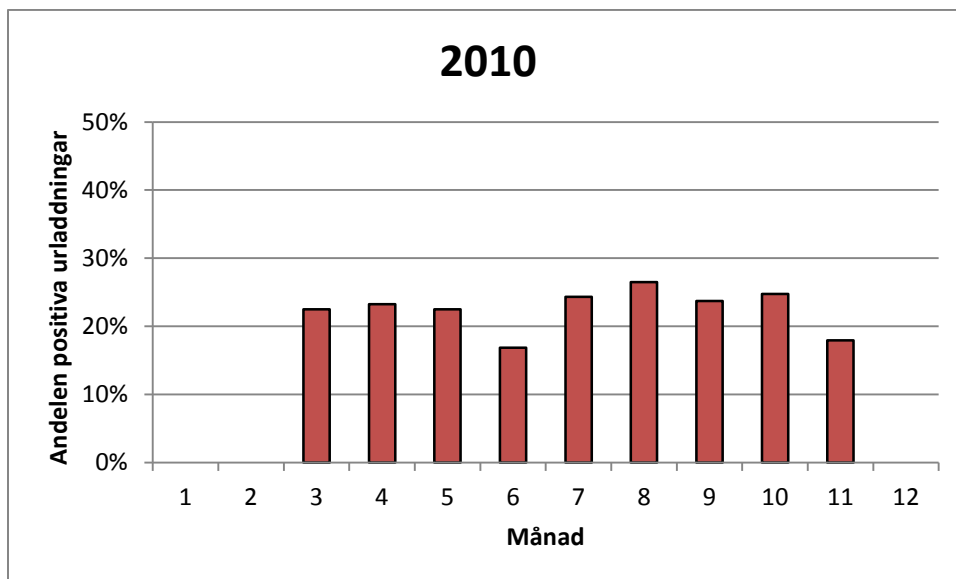
Figur 13: Antal urladdningar i ruta 5 under perioden 2003-2010. Observera att skalan är annorlunda, jämför med figur 12(a).

5.4 Andel positiva urladdningar

Fördelningen av andelen positiva markurladdningar under 2004 och 2010 visas i figur 14-15. Som tydligt kan ses, förekom det ingen minskning av antalet positiva urladdningar sommaren 2010. Under 2004 tillhörde sommarmånaderna de månader som generellt hade en lägre andel positiva urladdningar. Övriga figurer finns i bilaga 2.



Figur 14: Andelen positiva urladdningar fördelat under 2004.



Figur 15: Andelen positiva urladdningar fördelat under 2010.

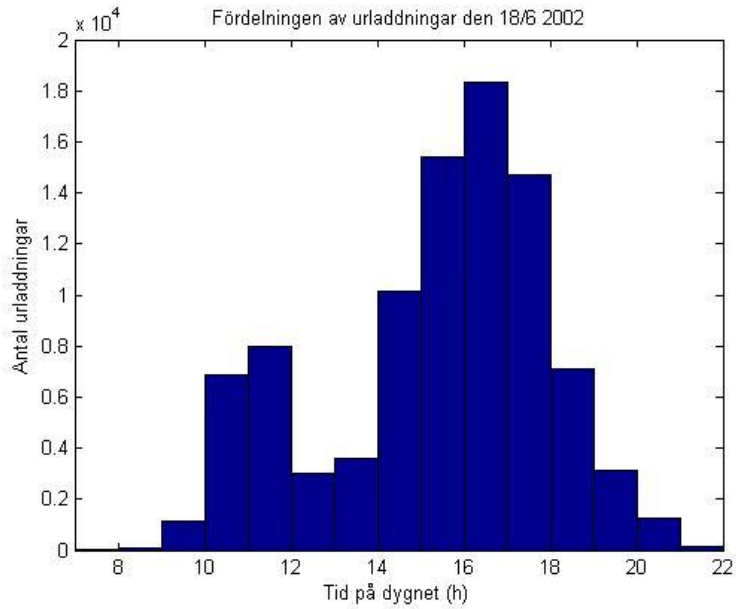
5.5 Fallstudie

I denna del presenteras två fallstudier, en för den 18 juni 2002 och en för den 14 augusti 2010. Tillhörande satellitbilder finns i bilaga 3.

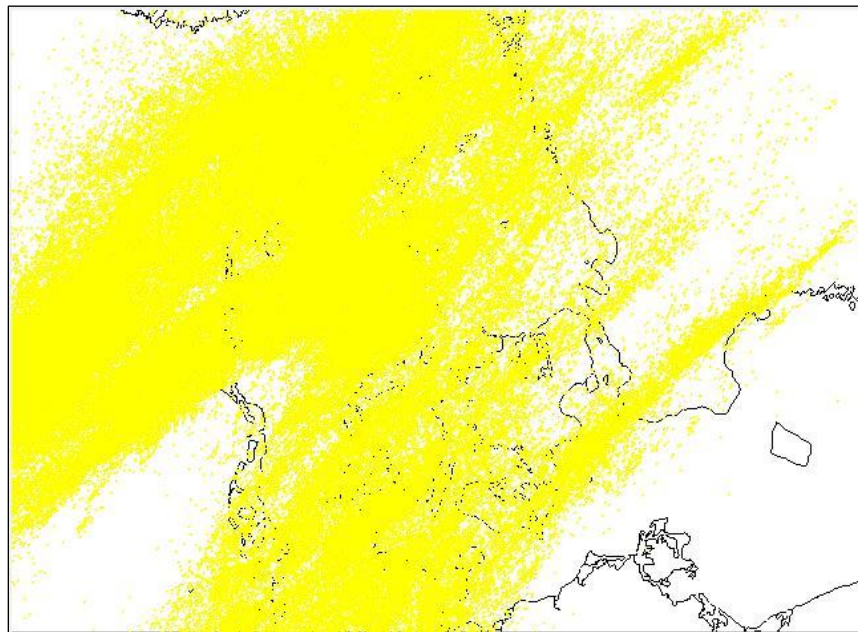
5.5.1 18 juni 2002

Den 18 juni 2002 var Danmark under inflytande av flera system med mycket hög blixaktivitet och är vidare den dag med flest antal registrerade urladdningar i denna studie.

Ett lågtryck med tillhörande fronter rörde sig in över Skandinavien. I samband med den cyklonala strömningen förknippad med lågtrycket pressades varm luft upp över Skandinavien. På satellitbilder kan man tydligt se molnbandet förknippat med kallfronten. I varmsektorn uppstod system som förflyttade sig i en nordöstlig riktning mot Danmark. I figur 16 illustreras fördelning av antalet urladdningar över dygnet och i figur 17 nedslagspunkterna. Dessa figurer tillsammans med satellitbilder verka tyda på att det var minst två system med åska under denna dag. Sammanlagt registrerades 93 024 urladdningar. Detta kan jämföras med 2008, som totalt registrerade 45 934 urladdningar.



Figur 16: Fördelning av urladdningarna under dygnet den 18 juni 2002.



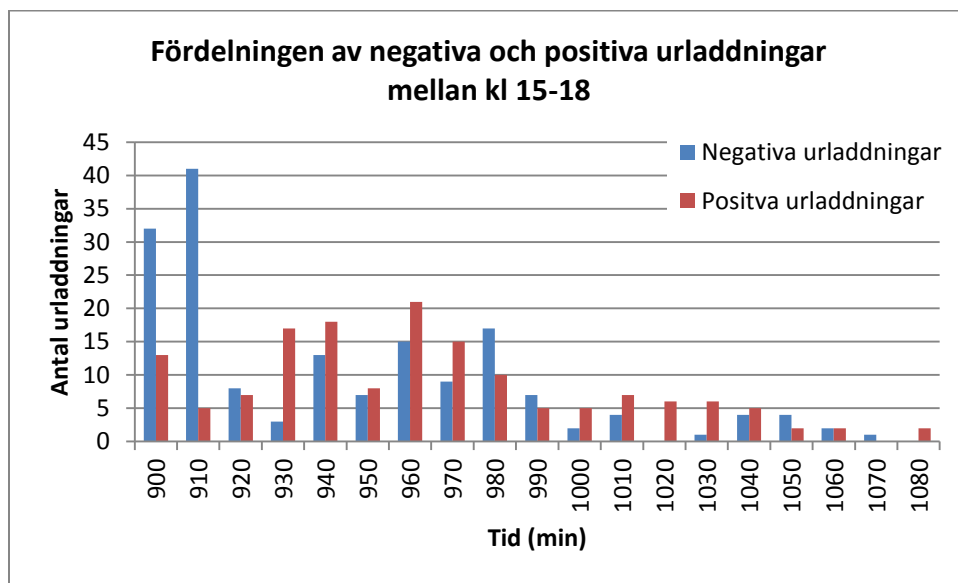
Figur 17: Nedslagspunkterna för urladdningarna den 18 juni 2002.

5.5.2 14 augusti 2010

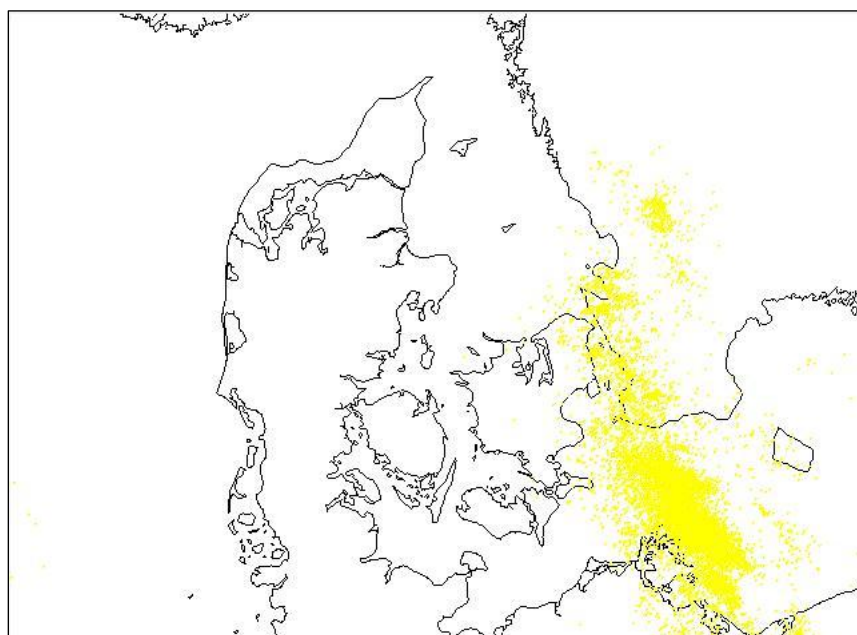
Den 14 augusti 2010 drabbades Köpenhamn av ett kraftigt regnväder. Detta område med intensivt väder bildades på gränsen till varm luft över Östeuropa och kallare luft över västliga delen av Europa. Lågtrycket rörde sig under utveckling i en bana mot norr. På satellitbilderna kan systemet tydligt urskiljas.

I figur 18 visas fördelningen av de positiva och negativa urladdningarna i ruta 5, se figur 7, mellan klockan 15-18 angivet i minuter. Under de första 20 minuterna dominerar de negativa urladdningarna. Efter ett tag ökar de positiva urladdningarna för att under den senare delen av åskstormen vara den dominerande blixhtypen.

I figur 19 visas nedslagspunkterna för urladdningarna. Flest urladdningar skedde över hav och det var enbart de östliga delarna av Själland som drabbades av åska.



Figur 18: Fördelning av de negativa och positiva urladdningarna under åskstormen 14 augusti 2010.



Figur 19: Nedslagspunkterna för urladdningarna den 18 juni 2002.

6 Diskussion

För perioden 2003-2010 har variationen av antalet urladdningar studerats. Resultatet visar i enlighet med teorin på att blixaktiviteten kulminerar under sommarmånaderna juni, juli och augusti, som står för 76 % av de registrerade blixurladdningarna. Flest blixurladdningar sker oftast i juli eller augusti månad då luftens fuktighetsinnehåll vanligtvis är som störst. För vissa år kan en topp även urskiljas i maj, ett tecken på att solen fått mer makt. Är atmosfären instabilt skiktad i ett större luftlager och luften i den nedre delen av troposfären tillräckligt fuktig kan solens uppvärmning av marken initiera eller förstärka konvektion.

0,55 % av urladdningarna registrerades under vintermånaderna december, januari och februari. Intressant är att de få blixurladdningar som trots allt registrerades uppvisade exceptionellt höga strömstyrkor, något som figur 8 tydligt visar. Förklaringen kan ligga i luftens isolerande förmåga. En blixurladdning sker så fort spänningsskillnaden i ett moln eller mellan mark och moln når ett kritiskt värde. Hur stor spänningsskillnad som kan byggas upp är bland annat beroende av luftens förmåga att leda ström. Luftens isolerande förmåga kan liknas vid ett motstånd. Detta motstånd är större i torr luft än i fuktig luft, som är bättre på att kontinuerligt leda bort statisk laddning. När lufttemperaturen minskar blir den absoluta fuktigheten följaktligen lägre varvid en större potentialskillnad kan byggas upp.

Till analysen av den geografiska fördelningen av blixurladdningar delades Danmark in i fyra rutor av ungefär samma storlek. Denna indelning valdes med hänsyn till att vädret i Danmark påverkas av kampen mellan stora luftmassor. Danmarks läge med Atlanten i väster och en stor landmassa i öster, innebär närhet till både värme och kyla. Potentialen för kraftiga åskväder är i regel stor när varm och fuktig luft tvingas stiga i samband med passagen av en kallfront. Eftersom lågtryck och tillhörande fronter vanligtvis kommer in från väst borde man kunna förvänta sig att antalet urladdningar är större i den västra delen av Danmark än i den östra. I rapporten "Førekøst af lyn og torden" av Troels Sørensen (DEFU 2001, första utgåvan) kunde man utifrån blixtdata för perioden 1991-2000 visa att den sydvästliga delen av landet i genomsnitt hade den högsta årliga blixtdensiteten. Resultatet i denna studie pekar dock inte på att det skulle föreligga någon geografisk skillnad i blixaktiviteten, snarare indikerar figur 12(b) på att blixaktiviteten i samtliga delar av landet i stora drag verka följa samma trend, även om det förekommer mer eller mindre variationer. Förklaringen kan ligga i faktumet att frontsystemen som når Danmark regel är så stora att de täcker större delen av landet.

De lågtryck som om sommaren bildas över kontinenten på gränsen mellan varmare luft i öster och kallare luft i väster kan ge kraftiga åskväder i Danmark, ett exempel är den 14 augusti 2010. Dessa lågtryck, som i regel är relativt små och rör sig i en rak nordlig bana, skulle kunna förklara varför det trots allt förekommer mer eller mindre variationer i den geografiska fördelningen av blixurladdningar. En annan tänkbar förklaring till variationen kan vara förekomsten av värmeåskväder. Värmeåskväder är mycket lokala och har i regel en betydligt kortare varaktighet än åskväder associerade med fronter. Av den anledningen har de troligtvis ingen större inverkan på den genomsnittliga årliga blixtdensiteten, åtminstone inte i Danmark. Här räcker det i regel inte att solen värmer upp marken, utan det krävs också något dynamiskt lyft för att det ska bildas intensiva åsksystem. Däremot visar figur 10 att solens uppvärmning av marken trots allt spelar en betydande roll för bildandet av åska under sommaren, jämför med figur 11 för vintermånaderna då solen har mindre inflytande.

Tidigare studier har visat att andelen positiva blixtrar minskar under sommarmånaderna. Trenden har inte kunnat urskiljas i denna studie. En orsak tros vara att det sker för få urladdningar över Danmark vintertid. I rapporten "Førekømt af lyn og torden" (DEFU 2001, första utgåvan) fann dock Troels Sørensen att andelen positiva urladdningar minskar under sommarmånaderna. De data som Sørensen använde kommer från det tidigare blixtlökaliseringsystemet som användes i Danmark och som inte var lika bra på att bestämma polariteten. Vid en jämförelse kom Sørensen fram till att IMPACT tenderar att överskatta andelen positiva urladdningar. Det är således inte möjligt att utifrån resultatet av denna studie dra en slutsats kring huruvida andelen positiva blixtrar minskar under sommarmånaderna eller inte.

Under åskvädret den 14 augusti 2010 studerades fördelningen av antalet urladdningar under de timmar som blixttaktiviteten var som störst. I början var antalet negativa urladdningar betydligt fler än de positiva, men de positiva ökar och är efter ett tag den dominerande typen. En möjlig förklaring till varför de positiva urladdningarna ökar och dominerar under den senare delen kan vara att åskcellen får en mer horisontell utbredning i sin utdöende fas, som gör att den positiva delen av molnet exponeras för marken och sannolikheten för en positiv markblixtr ökar.

Åska är ett relativt sällsynt fenomen i Danmark, varför enstaka tillfällen med intensivt åskväder kan göra det svårt att se tendenser i statistiken. Ett exempel är figur 13 som visade på en lägre blixttaktivitet under 2004 medan resten av landet visade på en relativt hög aktivitet. Vidare, den 18 juni 2002 registrerades dubbelt så många blixurladdningar som under hela 2008. Den känsliga statistiken i kombination med att studien grundas på endast åtta år av blixtdata gör att slutsatserna bör tas med en nypa salt. Vid en klimatologisk studie på blixtdata skulle man behöva inkludera betydligt många fler år.

Även en uppdelning av mindre rutor borde ha gjorts. Eftersom Danmark har små orografiska skillnader, jämfört med exempelvis Sverige, kan den valda upplösningen ha gjort att den orografiska påverkan inte kunnat ses i resultatet. Hade mindre rutor använts hade man kunnat studera påverkan av den höjdrygg som finns i Jylland.

7 Slutsatser

Blixtaktiviteten kulminerar under juni, juli och augusti. Flest urladdningar sker generellt i juli eller augusti månad.

Medelströmstyrkan av blixurladdningar tenderar att vara högst utanför sommarmånaderna.

Det förekommer ingen geografisk skillnad i blixtaktiviteten under den studerade perioden i Danmark. I samtliga delar av landet verkar blixtaktiviteten följa samma trend även om det år till år varierar något.

Åska är vanligare på eftermiddagar under sommaren. På vintern finns ingen tid på dygnet då åska är mer förekommande.

Inget samband mellan andelen positiva blixtar och årstid har kunnat urskiljas.

Tack

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Søren Overgaard vid DMI för all hjälp, speciellt med blixtkalibreringssystemet, och inspiration. Ett tack ges också till Jörgen Olofsson för hjälp med att skriva diverse programkoder i MATLAB.

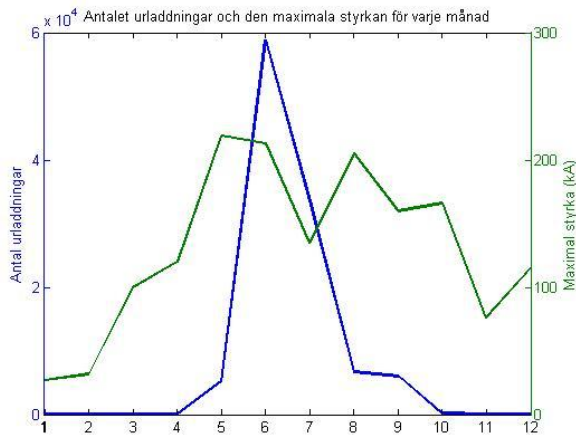
Litteraturförteckning

1. **Rakov, Vladimir A and Uman, Martin A.** *Lightning Physics and Effects*. New York : Cambridge University Press, 2003. 0-521-03541-4.
2. **Cooray, Vernon.** *Blixt och Åska: Så fungerar naturens fyrverkeri*. Uppsala : Hallgren & Fallgren, 2003. 91-7382-778-9.
3. **Neilsen, Niels Woetmann.** *A short introduction to the dynamics of severe convection*. Köpenhamn : Danmarks Meteorologiska Institut, 2006. 87-7478-535-4.
4. **Bluestein, Howard B.** *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes*. New York : Oxford University Press, Inc., 1993. 0-19-506269-X.
5. *Will a drier climate result in more lightning?* **Price, Colin.** 2-4, s.l. : Elsevier, 2009, Vol. 91. 01698095.
6. **Feynman, Richard P, Leighton, Robert B and Sands, Matthew.** *The Feynman Lectures on Physics vol 2*. s.l. : California Institute Of Technology, 1964.
7. *Atmospheric Electricity - Some Themes.* **Pierce, E.T.** 10, Menlo Park, California : Bull. Amer. Meteor. Soc., 1974, Vol. 55.
8. **Global Atmospherics, Inc.** LP2000 User's Guide. Tuzon, Arizona : s.n., 1999. 40116 REV 9904.
9. *Nasa Science*. [Online] [Cited: Juni 2, 2011.] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/.

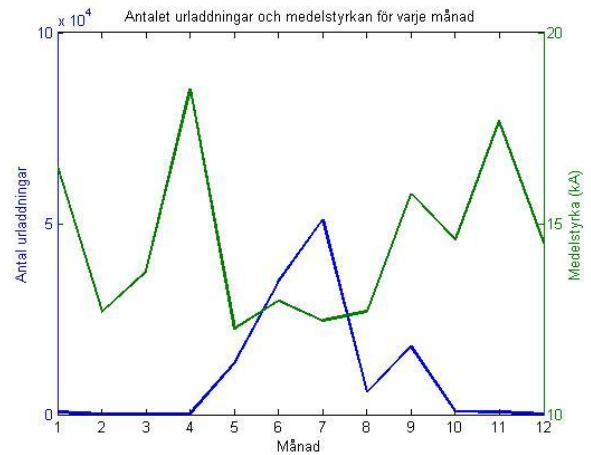
Bilagor

Bilaga 1

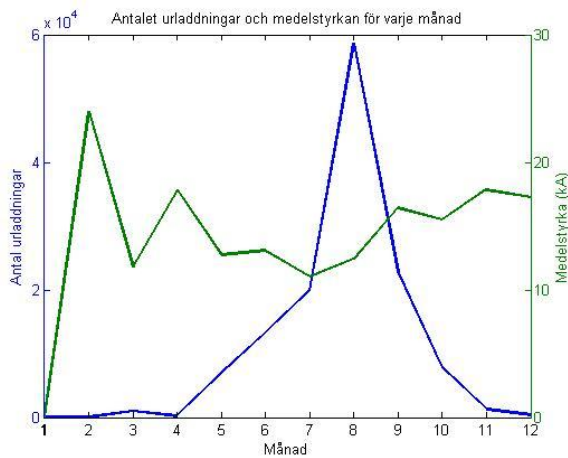
Här presenteras övriga plottar över antalet urladdningar och medelstyrkan av dessa urladdningar över ett år.



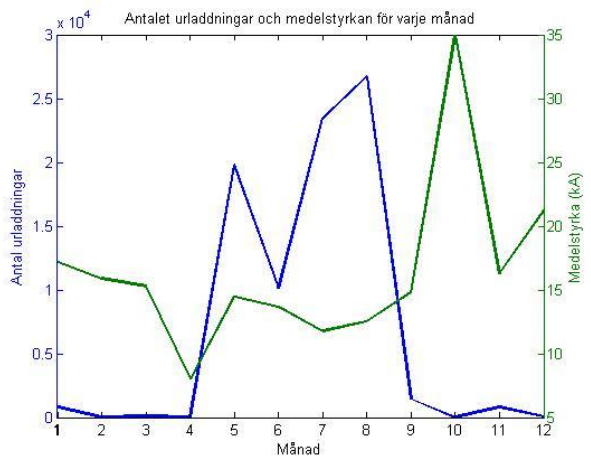
Figur B1: 2003



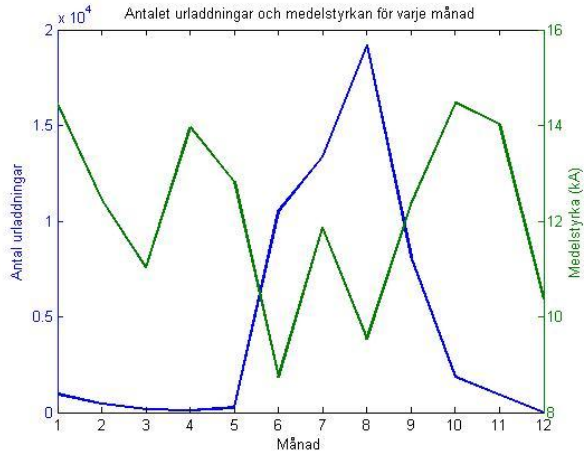
Figur B2: 2005



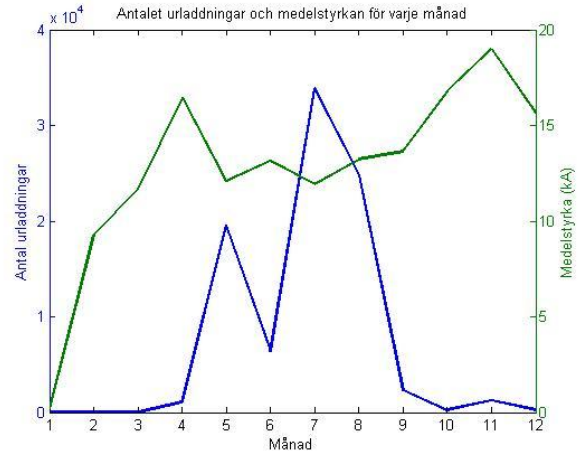
Figur B3: 2006



Figur B4: 2007



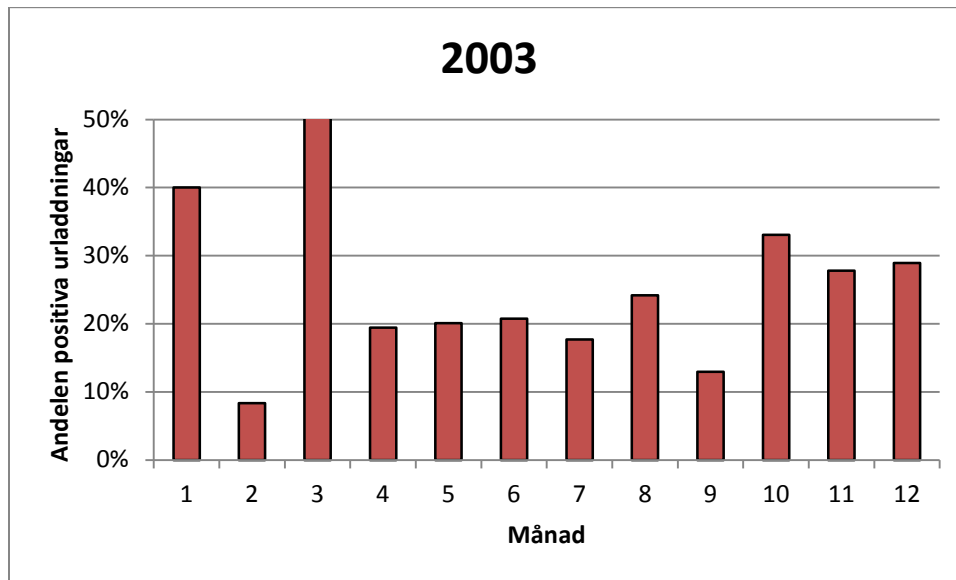
Figur B5: 2008



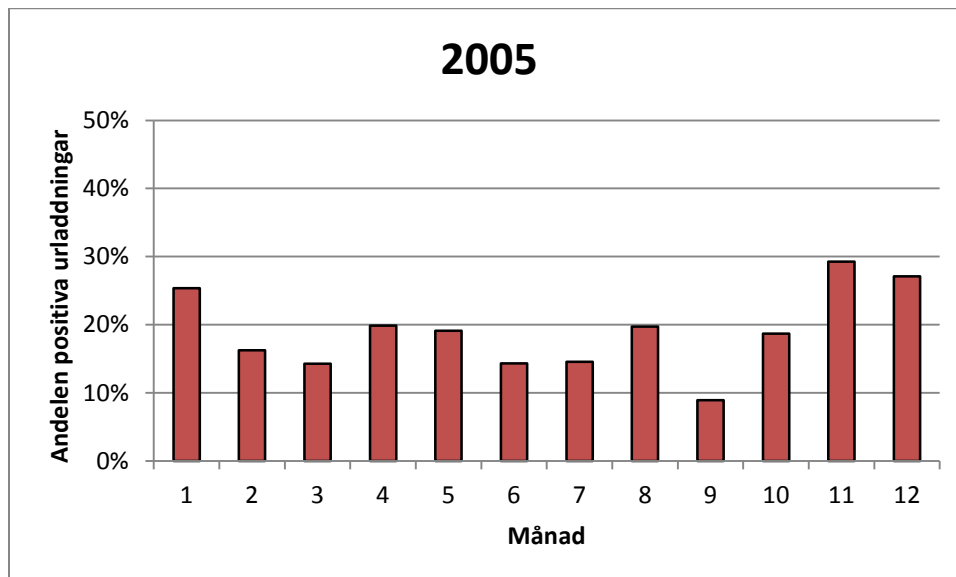
Figur B6: 2009

Bilaga 2

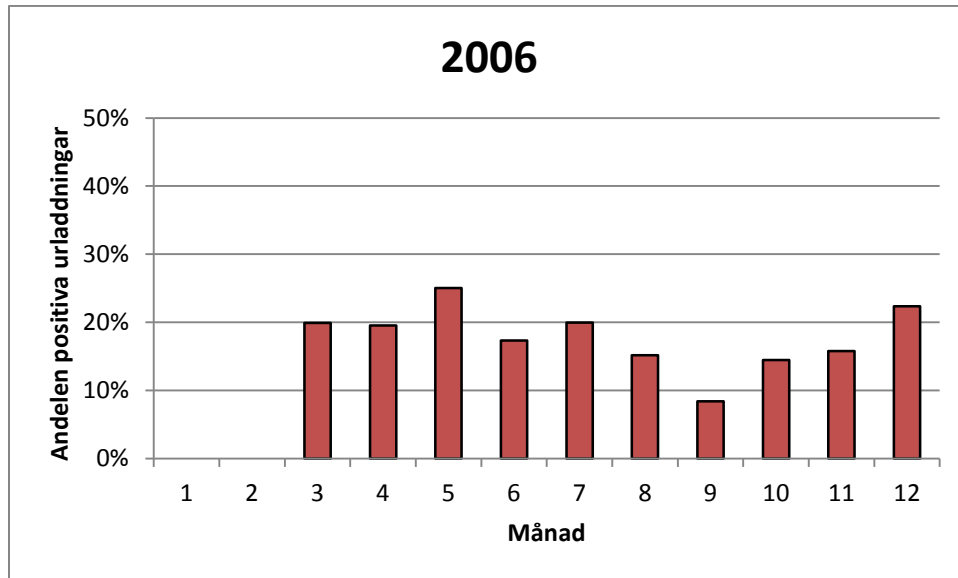
Nedan presenteras övriga plottar för andelen positiva urladdningar över varje månad under ett år.



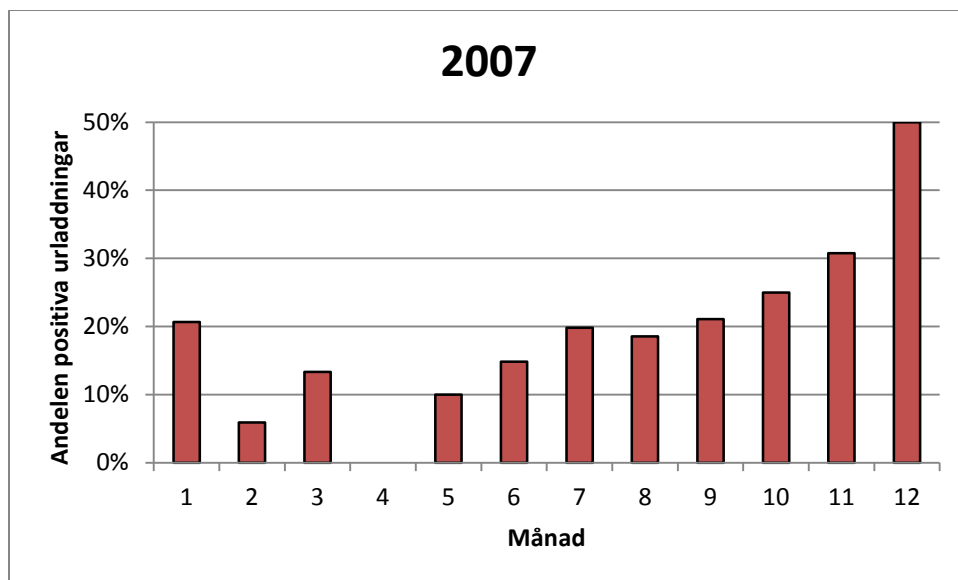
Figur B7



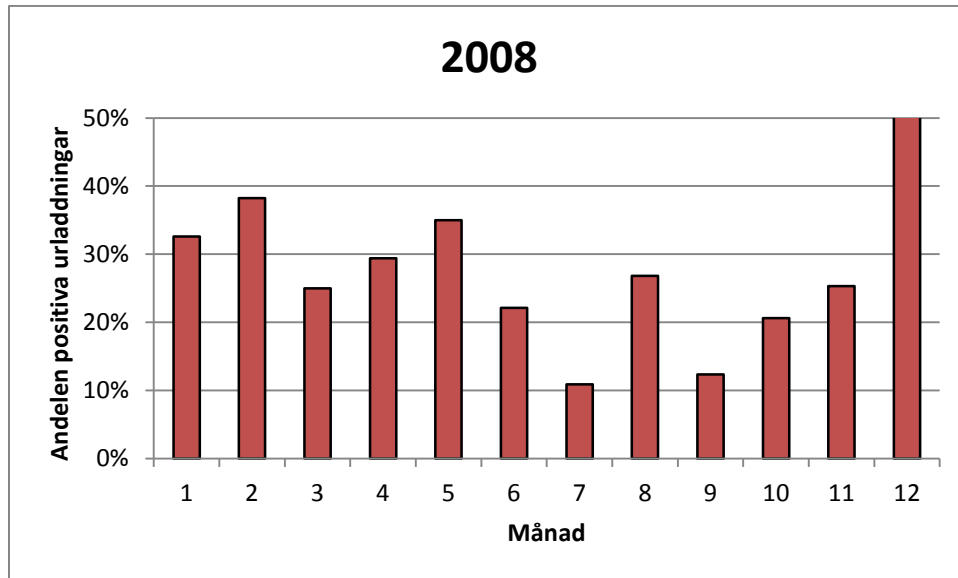
Figur B8



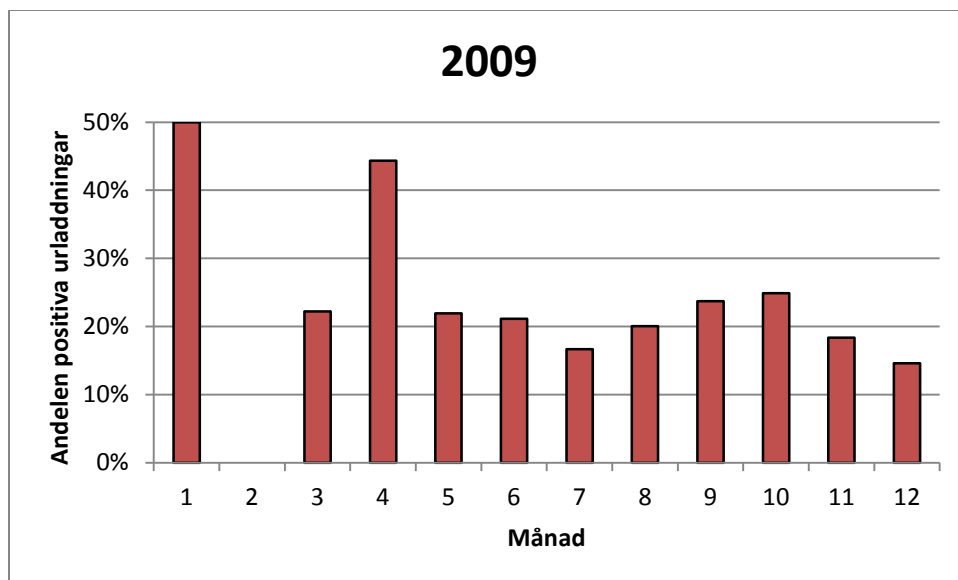
Figur B9



Figur B10



Figur B11



Figur B12

Bilaga 3

Satellitbilder tillhörande fallstudierna.

2002



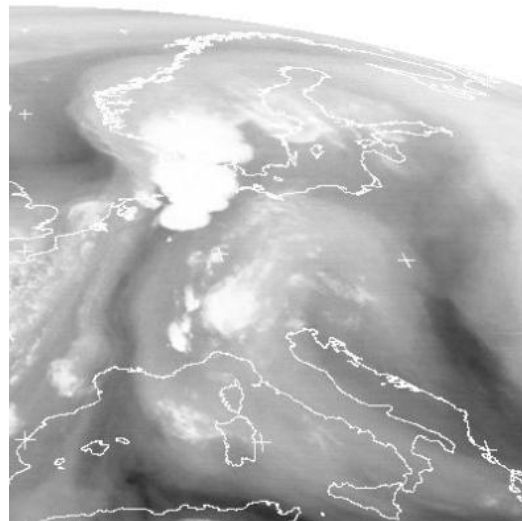
Figur B13: 09.00 UTC



Figur B14: 12.00 UTC



Figur B15: 15.00 UTC

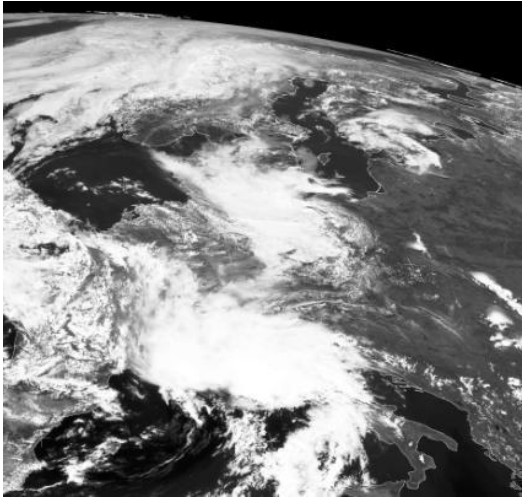


Figur B16: 18.00 UTC

2010



Figur B17: 00.00 UTC



Figur B18: 12.00 UTC