



Globala egenskaper i samband med NAO-indexet

Kandidatuppsats i Meteorologi 15 hp

VT 2012

Andy L. Ahumada, fys09aah@student.lu.se
Emy Alerskans, emy.alerskans.213@student.lu.se

Handledare: Aksel Walløe Hansen
Examinator: Carl-Erik Magnusson

Fysiska Institutionen, Lunds Universitet
Niels Bohr Institutet, Köpenhamns Universitet

Abstract

The past 51 years northern Europe has experienced nine unusually cold winters, where many temperature records have been set. Two of the three last winters, 2009/10 and 2010/11, were the coldest in many places in southern Sweden since the mid 80's. However, the coldest winter in southern Sweden was, according to SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut), the winter of 1962/63, when it on average was about 2°C colder than the winter of 2009/10. For the winters of 2009/10 and 2010/11 the NAO-index was strongly negative during the major part of the cold period. This led to studies of the index and during the winters of 2009/10 and 2010/11 a possible correlation between the NAO-index and the total surface pressure of the Northern hemisphere was found. Because of this, this report will be dedicated to studying if the other seven unusually cold winters in northern Europe show proof of a similar correlation. The analysis focuses, based on the NAO-index, the total surface pressure and the temperature as well as a number of other parameters, on determining if the correlation is a recurring phenomenon or not for the unusually cold winters in northern Europe. Based on the analysis, clear indications that a correlation between the NAO-index and the total surface pressure of the Northern hemisphere can be seen.

Sammanfattning

De senaste 51 åren har norra Europa upplevt nio ovanligt kalla vintrar där många temperaturrekord har satts. Två av de tre senaste vintrarna, 2009/10 och 2010/11, var de kallaste på många håll i södra Sverige sedan mitten av 80-talet. Den allra kallaste vintern i södra Sverige var dock enligt SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) vintern 1962/63 då det i genomsnitt var cirka 2°C kallare än vintern 2009/10. För både vintrarna 2009/10 och 2010/11 var NAO-indexet kraftigt negativt under största delen av den kalla perioden. Detta ledde till undersökningar av indexet och under vintrarna 2009/10 och 2010/11 upptäcktes en möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären. På grund av detta ägnas denna rapport åt att studera ifall de sju andra ovanligt kalla vintrarna i norra Europa uppvisar samma sorts korrelation. Analysen fokuserar på att utifrån NAO-indexet, det totala yttrycket och temperaturen samt ett antal andra parametrar, fastställa ifall korrelationen är ett återkommande fenomen eller inte för de ovanligt kalla vintrarna i norra Europa. Utifrån analysen som görs ses tydliga indikationer på att en korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären finns.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	5
2. Teori.....	6
2.1. Atmosfärens generella och storskaliga cirkulation	6
2.2. Säsongsvariationer i Hadleycellerna	7
2.3. Yttrycket och dess säsongsvariationer	8
2.4. Nordatlantiska oscillationen.....	8
2.4.1. Den positiva fasen	9
2.4.2. Den negativa fasen	9
2.5. Blockering	9
2.5.1. Omegablockering	10
2.5.2. Stationär högamplitudsrygg	10
2.5.3. High-over-low blockering	10
3. Data	11
4. Metod	11
4.1. Beräkning av det totala yttrycket	11
4.2. Normalisering	12
4.3. Jämförelse mellan MSLP i ERA-40 och yttrycket i ERA-Interim.....	13
5. Analys	13
5.1. November - december 2010	13
5.2. November - december 2009	14
5.3. December 1995 - februari 1996	15
5.4. Januari - mars 1987	16
5.5. Oktober - december 1985	17
5.6. December 1984 - mars 1985	18
5.7. November - december 1978	19
5.8. November - december 1969	20
5.9. November 1962 - januari 1963.....	20
5.10. Analys av meridionalvinden i 850 hPa.....	21
5.11. Korrelation under andra vintrar	22
5.11.1. Januari - mars 2006	22
5.11.2. November 2001 - januari 2002.....	23
5.11.3. Meridionalvinden i 850 hPa	24

6. Diskussion.....	24
6.1. Sammanställning av yttrycken och NAO-indexen	25
7. Slutsats	28
8. Referenser	29
8.1. Figurreferenser	30
9. Erkännanden.....	30

1. Inledning

Under vintrarna 09/10 och 10/11 kom det in ovanligt kall luft, som hade sitt ursprung från Arktis, över norra Europa. Ett kraftigt omslag till det negativa av NAO-indexet samt en ökning av det totala yttrycket på norra hemisfären upptäcktes och beskrevs i en tidigare rapport av Nikula et al 2011. Frågan som väcktes är då ifall det endast var en slump att NAO-indexet och det totala yttrycket korrelerade så väl med varandra och att vintrarna i Europa blev ovanligt kalla eller om det möjligtvis är ett återkommande fenomen. Detta leder till funderingar om vilken händelse som utlöser vilken. Är det ändringen i yttrycket som leder till omslaget av NAO-indexet, eller omvänt, och därmed kyligare vintrar? I så fall, vad är kopplingen mellan det totala yttrycket och indexet?

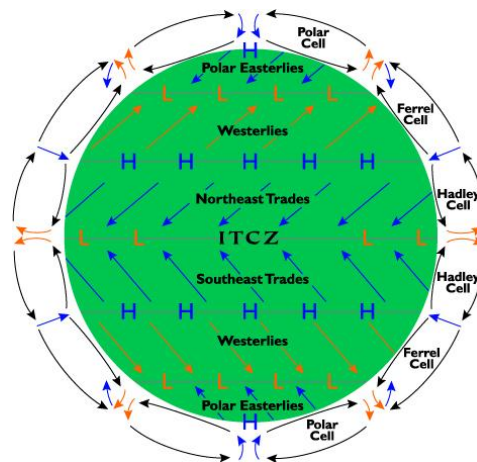
Denna rapport fokuserar på att ta reda på ifall fler av de ovanligt kalla vintrarna i norra Europa uppvisar samma korrelation. För att se ifall den här korrelationen är ett återkommande fenomen eller inte studeras främst NAO-indexet, det totala yttrycket på norra hemisfären och temperaturen för en utvald meteorologisk observationsstation för åren 09/10, 10/11 samt för de övriga sju ovanligt kalla vintrarna i norra Europa, nämligen 1995/96, 1986/87, 1985/86, 1984/85, 1978/79, 1969/70 och 1962/63. Även temperaturen i 850 hPa och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan används under analysen för att se ifall något återkommande mönster eller fenomen kan ses.

Rapporten inleds med en teoridel där bland annat den nordatlantiska oscillationen beskrivs samt grundläggande teori om den atmosfäriska storskaliga cirkulationen går igenom. Därefter kommer en kort sektion där dataseten som används till analysen beskrivs kortfattat. Denna sektion följs av ett avsnitt där metodvalet beskrivs varefter analysen tar vid. Resultaten från analyssektionen diskuteras sedan och slutsatser dras utifrån detta.

2. Teori

2.1. Atmosfärens generella och storskaliga cirkulation

Solinstrålningen är den drivande mekanismen för atmosfärens generella cirkulation. Ekvatorn mottar mest solinstrålning och polerna mottar minst, vilket skapar en obalans i uppvärmningen av Jorden. Luften kring ekvatorn värms upp och stiger således, detta ända upp till tropopausen där dess uppstigning stoppas upp. Detta gör att luften delas upp i två strömningar, en åt nord och en åt syd. Ifall Jorden inte hade roterat hade dessa två strömningar fortsatt hela vägen till nord- respektive sydpolen där luften hade kylts ner och således sjunkit för att sedan vid ytan fortsätta tillbaka mot ekvatorn. Men eftersom Jorden roterar delas denna enkla cell upp i tre stycken per hemisfär – Hadleycellen, Ferrel cellen och polarcellen, se Figur 2.1.



Figur 2.1. Jordens generella cirkulation och huvudsakliga vindbälten ^[1].

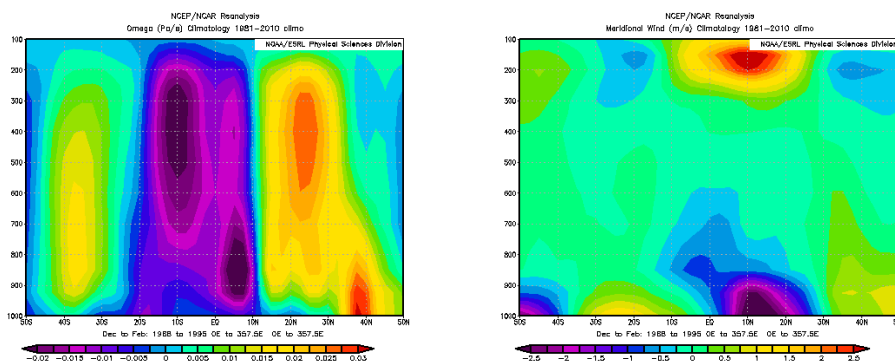
På norra hemisfären består Hadleycellen av stigande varm luft vid ekvatorn som vid tropopausen strömmar norrut mot polen. På grund av corioliskraften kommer denna strömning att få en västlig komponent som förstärks med ökande latitud och till sist blir flödet västligt, vilket resulterar i de subtropiska jetströmmarna. Strömningen norrut mot polen kyls ner på vägen och vid 30°N sjunker en del av luften, medan en del fortsätter norrut mot polen. Vid ytan delas denna sjunkande luft upp i en nordlig och sydlig strömning, där den nordliga för kallare luft tillbaka mot ekvatorn. Ju längre söderut strömningen rör sig desto större östlig vindkomponent får den på grund av corioliskraften, vilket resulterar i de nordöstliga passadvindarna. Dessa passadvindar konvergerar vid ekvatorn där den varma luften stiger som en del av Hadleycellen. Denna zon där vindarna konvergerar kallas för den intertropiska konvergenzonen (ITCZ). Vid nordpolen sjunker den kalla luften och divergerar sedan åt syd och på samma sätt som för den nordliga strömningen i Hadleycellen kommer en östlig vindkomponent att induceras. Eftersom corioliskraften är starkast vid polerna kommer strömningen att böjas av kraftigt, vilket resulterar i de polära östvindarna. Vid 60°N möts denna nordöstliga strömning av kall luft och den sydvästliga strömningen av varmare luft, som uppkom på grund av att den sjunkande luften i Hadleycellen delades upp vid 30°N, vilket resulterar i att luften stiger. Där dessa två luftmassor möts bildas en frontzon, där båda luftströmningarna lyfts med den varma överst. Den här frontzonen kallas för polarfronten och det är även vid 60°N, uppe vid tropopausen som de polära jetströmmarna återfinns. En liten del av luften som stiger sänds tillbaka till Ferrel cellen när den når tropopausen men det mesta av den stigande luften istället blir en del av polarcellen.

Vid ekvatorn, där den varma luften i Hadleycellen, stiger finns ett semipermanent lågtryck vid ytan, kallat den ekvatoriella lågtrycksrännan, medan det vid 30°N finns ett semipermanent högtryck, på grund av den sjunkande luften, kallat det subtropiska högtrycksbältet. Även vid ytan under Ferrel

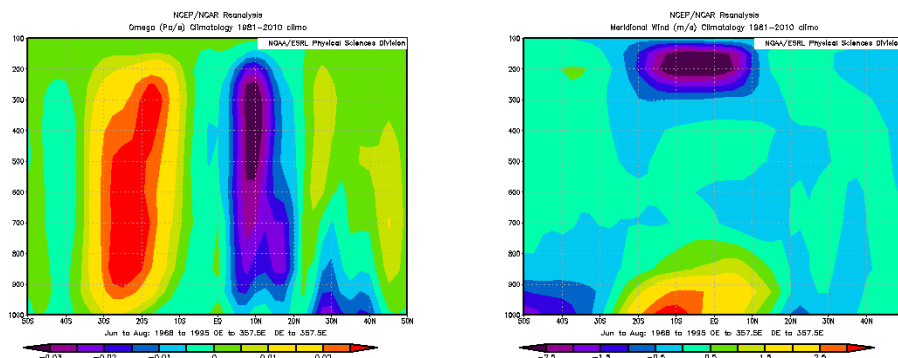
cellens och polarcellens grenar med stigande luft vid 60°N finns det ett semipermanent lågryck, det subpolära lågtrycksbältet. Den sjunkande luften i polarcellen över nordpolen resulterar även den i ett högtryck vid ytan.

2.2. Säsongsvariationer i Hadleycellerna

När Hadleycellerna beskrivs nämner man att den varma luften som bildar grenen med stigande luft finns på ekvatorn och att grenarna med sjunkande kallare luft finns vid 30° latitud. Detta är beskrivningen av det årliga medelvärdet av Hadleycellernas cirkulation. Denna cirkulation har dock en säsongsvariation varpå de förflyttas meridionalt och även varierar i intensitet. Detta kan ses om ett tvärsnitt av ett zonalt medelvärde av den vertikala rörelsen (som i tryckkoordinater ges av $\omega = \frac{Dp}{Dt} = -\rho gw$) och den meridionala vinden plottas, så som gjorts i Figur 2.2 och 2.3. Under perioden december till februari (DJF) mottar sommarsidan av ekvatorn, det vill säga södra hemisfären, mer solinstrålning vilket resulterar i kraftig konvektion. Vintersidan, det vill säga norra hemisfären, är å andra sidan mycket kallare vilket resulterar i kraftig nedsjunkning. Detta betyder att det finns kraftig uppstigning på södra halvklotet och man kan även se i Figur 2.2 att den sydliga vinden i övre troposfären är betydligt starkare än den nordliga. Tvärtom gäller för vinden vid ytan där den nordliga vinden är kraftigare än den sydliga. Att döma utav detta sker en förflyttning av Hadleycellerna söderut vilket betyder att det sker en transport av luft över ekvatorn från södra till norra hemisfären under DJF (A. W. Hansen). Under norra hemisfärens sommarmånader (juni till augusti, JJA) är solinstrålningen som störst på norra hemisfären vilket resulterar i kraftigare uppstigning norr om ekvatorn medan nedsjunkningen blir som störst söder om. Detta resulterar i en förskjutning av Hadleycellerna åt norr, vilken syns tydligt i Figur 2.3. Tillsammans med de starka nordliga vindarna i övre troposfären och de starka sydliga vindarna vid ytan sker en transport av luft över ekvatorn från norra till södra hemisfären.



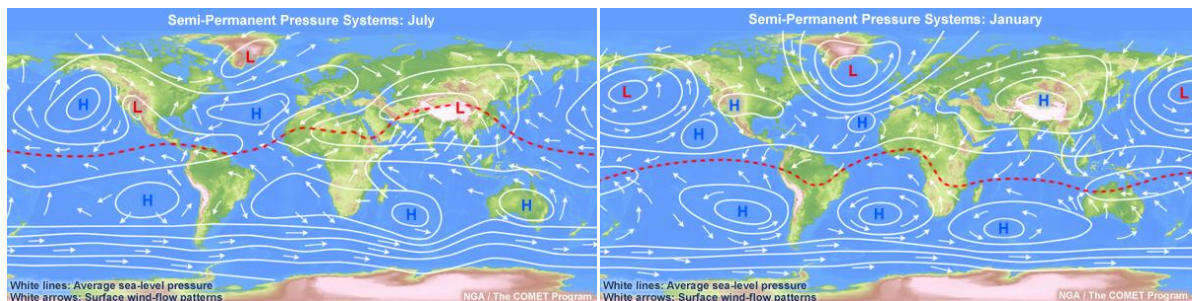
Figur 2.2. Långvarigt månadsmedel (1968-1995) av den vertikala rörelsen, omega, och den meridionala vinden för DJF [2].



Figur 2.3. Långvarigt månadsmedel (1968-1995) av den vertikala rörelsen, omega, och den meridionala vinden för JJA [2].

2.3. Yttrycket och dess säsongsvariationer

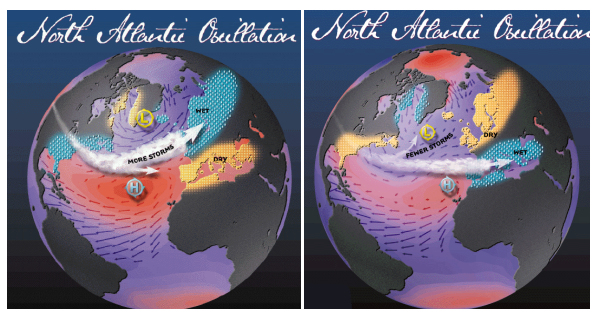
Den storskaliga atmosfäriska cirkulationen påverkar som sagt trycket vid ytan genom de tre cirkulationscellerna – Hadley, Ferrel och polarcellen. Där luften stiger bildas ett lågtrycksbälte vid ytan och där den sjunker bildas ett högtrycksbälte. Detta gör att lågtrycksbälten bildas vid ekvatorn och 60°N samt 60°S medan högtrycksbälten bildas vid 30°N och 30°S samt vid polerna (se Figur 2.1). Detta är bara ett årligt medel av tryckfördelningen men eftersom denna cirkulation har en säsongsvariation där den geografiska placeringen av cellerna varierar kommer även hög- och lågtrycksbältenas geografiska placering att variera. Den största bidragande orsaken till denna variation är dock inte placeringen av cirkulationscellerna utan det har att göra med skillnaden mellan hav och land. På sommaren värms kontinenterna upp mycket snabbare än havet vilket gör att konvektionen blir starkare över land och således blir det lägre tryck över kontinenterna än över havet. På vintern däremot kyls havet inte av lika snabbt som kontinenterna och detta resulterar i lägre tryck över havet än över land. På så sätt ligger högtrycksområdena över kontinenterna och lågtrycksområdena över havet på norra hemisfären under DJF medan mönstret är omvänt för södra hemisfären, där det råder sommar. Det omvända gäller för JJA, där högtrycksområden ligger över kontinenterna och lågtrycksområdena över havet på södra hemisfären och tvärtom för den norra hemisfären (se Figur 2.4 för illustration). Denna säsongsvariation innebär att låg- och högtrycksområdena blir semipermanenta eftersom den geografiska placeringen varierar och/eller de varierar i styrka. Ett exempel på ett semipermanent högtrycksområde är det azoriska högtrycket som är en del av det subtropiska högtrycksbältet. På vintern är detta högtryck svagt medan det på sommaren förskjuts västerut och intensifieras för att bli till Bermudahögtrycket. Det isländska lågtrycket, vanligtvis beläget mellan Island och Grönland, är ett exempel på ett semipermanent lågtrycksområde i det subpolära lågtrycksområdet. På vintern är detta lågtryck mer intensivt medan det på sommaren blir svagare och förskjuts mot Grönland. Dessa två tryckområden utgör de båda polerna i det atmosfäriska tryckvariationsmönstret kallat den nordatlantiska oscillationen, NAO.



Figur 2.4. Illustration av yttrycksfördelningen och dess säsongsvariation. Vänstra bilden visar fördelningen under juli och den högra bilden visar fördelningen under januari ^[3].

2.4. Nordatlantiska oscillationen

NAO är det dominerande atmosfäriska tryckvariationsmönstret i norra Atlanten. Fenomenet, som är tydligast under vintern, består av tryckvariationer i högtrycket över Azorerna och lågtrycket över Island, vilket betyder att det sker en meridional oscillation av atmosfärens massa. Ett NAO-index kan konstrueras genom att ta differensen mellan trycket vid havsytan i Ponta Delgada, Azorerna och trycket vid havsytan i Stykkishólmur eller Reykjavik, Island och sedan jämföra med en referensperiod. NAO-indexet kan ha två faser – positiv och negativ. De två olika faserna visas i Figur 2.5 (a) respektive (b).



Figur 2.5 (a). Den positiva fasen av NAO och **(b).** Den negativa fasen av NAO.^[4]

2.4.1. Den positiva fasen

När NAO-indexet är inne i en positiv fas betyder det att högtrycket över Azorerna är starkare, det vill säga högre tryck, och att lågtrycket över Island är intensivare, det vill säga lägre tryck. Det betyder att vindarna i samband med hög- och lågtrycket är starkare än normalt. Detta kommer att ge starkare västanvindar över Nordatlanten vilket betyder att fler och starkare vinterstormar korsar Nordatlanten med en nordöstlig bana. Luften över Atlanten är fuktig och mild vilket gör att norra Europa kommer att uppleva en varmare och fuktigare vinter medan Medelhavet kommer att erfara en kallare och torrare vinter då NAO är inne i en positiv fas. Även norra Kanada och Grönland kommer att få en kallare och torrare vinter medan östra USA å andra sidan kommer att uppleva en mildare och fuktigare vinter, så som norra Europa.

2.4.2. Den negativa fasen

När NAO-indexet är inne i en negativ fas betyder det att både högtrycket över Azorerna och lågtrycket över Island är svagare, det vill säga lägre respektive högre tryck. Då kommer västanvindarna över Nordatlanten att vara svagare, eftersom vindarna i samband med låg- och högtrycket är svagare, vilket kommer att innebära att färre och svagare vinterstormar korsar Nordatlanten med en mer östlig bana. Detta gör att arktisk luft kan strömma ner åt syd. I motsats till när NAO-indexet är positivt kommer Medelhavet att uppleva en mildare och fuktigare vinter medan norra Europa får en kallare och torrare vinter. Precis som Medelhavet kommer Grönland och norra Kanada att uppleva en mildare vinter medan östra USA kommer att få liknande väderförhållanden som norra Europa.

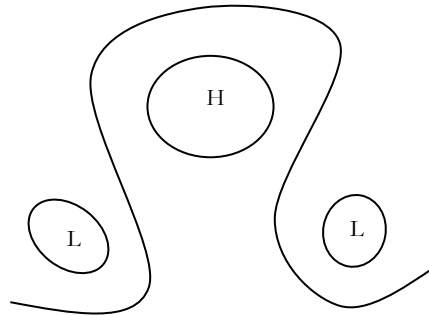
Den nordatlantiska oscillationen är som sagt ett tryckvariationsmönster som uppvisar sig över Nordatlanten och är hårt knutet till det azoriska högtrycket och det isländska lågtrycket. Det finns andra, mer oregelbundna, tryckmönster som inte är återkommande utan som uppstår lite då och då. Dessa tryckmönster kan ha stor inverkan, precis som NAO har, på vädret i norra Europa. Ett exempel på sådana tryckmönster är blockeringar.

2.5. Blockering

Atmosfäriska blockeringar är storskaliga tryckmönster som är nästintill stationära, vilket betyder att dessa mönster kan ligga kvar på samma ställe i flera dagar upp till och med veckor. Dessa mönster kallas för blockeringar eftersom de helt enkelt blockerar olika atmosfäriska systems zonala rörelser. Det existerar olika former av blockeringar, där de tre vanligaste är omegablockering, stationär hög-amplitudsrygg och high-over-low blockering.

2.5.1. Omegablokering

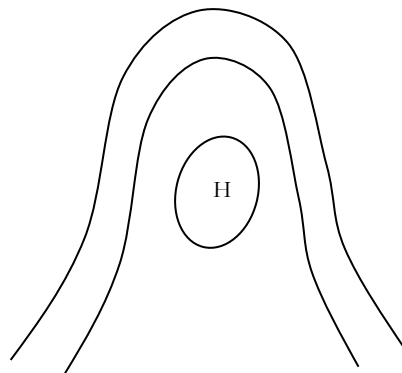
Den här typen av blockering kallas för omegablokering på grund av att ett högtryck och två lågtryck bildar ett mönster som liknar den grekiska bokstaven omega, Ω . Omegablokeringen är zonalt orienterad vilket gör att de vanligtvis zonala vindarna tvingas bli meridionala för att kunna passera blockeringen. Precis som de andra två blockeringarna analyseras omegablokeringen bäst på 500 hPa-ytan. Ett exempel på denna typ av blockering visas i Figur 2.6.



Figur 2.6. Illustration av omegablokering i 500 hPa-ytan ^[5].

2.5.2. Stationär högamplitudsrygg

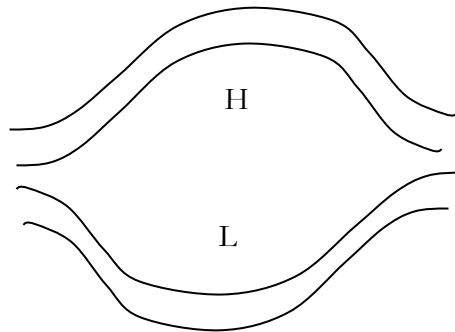
Den andra typen av blockering är den stationära högamplitudsryggen. Precis som omegablokeringen är den här formen av blockering zonalt orienterad vilket gör att de zonala vindarna blockeras. Detta betyder att luft måste flöda långt norrut och sedan vända söderut. Denna form av blockering illustreras i Figur 2.7.



Figur 2.7. Illustration av en stationär högamplitudsrygg i 500 hPa-ytan ^[5].

2.5.3. High-over-low blockering

Denna form av blockering består av ett högtryck beläget norr om ett lågtryck, varav namnet. High-over-low blockeringen kallas ofta för *split flow*, detta eftersom den zonala vinden delas upp i ett nordligt och ett sydligt flöde vid passage av blockeringen. Figur 2.8 visar hur denna form av blockering kan se ut.



Figur 2.8. Illustration av high-over-low blockering i 500 hPa-ytan ^[5].

3. Data

Datasetet som används för att plotta det dagliga NAO-indexet kommer från Climate Prediction Center, CPC, och sträcker sig ända tillbaka till januari 1950. Det dagliga NAO-indexet från CPC beräknas genom att 500 hPa-höjdanomalierna från 00 UTC projekteras på laddningsmönstret av NAO. Detta laddningsmönster definieras som det första ledande mode av den roterade empiriska ortogonala funktionsanalysen av månadsmedlet för höjden av 500 hPa-ytan under perioden 1950-2000. Datasetet för yttrycket är däremot hämtat från ECMWF:s re-analysprojekt ERA-Interim. ERA-Interim projektet är en omanalys av data från perioden januari 1979 till, vid dagens datum, februari 2012. Eftersom även vintrarna 1978/79, 1969/70 och 1962/63 analyseras i denna studie måste data från ERA-40 användas. ERA-40 är ett äldre re-analysprojekt än ERA-Interim och sträcker sig från september 1957 till och med augusti 2002. Dock finns inte yttrycket tillgänglig som parameter i ERA-40 utan MSLP (mean sea level pressure) får användas istället. I denna studie används datafält för både yttrycket och MSLP från 12 UTC för alla vintrar.

För att få ett mått på om vintrarna verkligen var kalla och ifall ett temperaturfall ses vid en eventuell korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären används observationsdata från en av SMHI:s observationsstationer, nämligen Malmö. Observationsdata består av temperaturen vid 06, 12 och 18 UTC samt max- och min-temperaturen. Utifrån detta har man på SMHI beräknat en dygnsmedeltemperatur och det är den temperaturen som används i denna studie.

Även temperaturen i 850 hPa, från Wetterzentrale, och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan, från wetter3, används för att undersöka varifrån en eventuell kyla kommer och om det finns något i 500 hPa-ytan som bidrar till detta på något sätt. Eftersom Wetterzentrales arkiv endast har kartor för 00 UTC används denna tidpunkt även för kartorna från wetter3. Utvalda kartor över temperaturen i 850 hPa och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan visas i Appendix A.

4. Metod

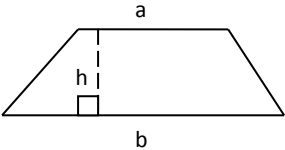
4.1. Beräkning av det totala yttrycket

Syftet med denna studie är som sagt att se om det finns en korrelation mellan det totala yttrycket på norra hemisfären, NAO-indexet och temperaturen i norra Europa under ovanligt kalla vintrar. Data från ECMWF finns tillgängligt i form av bland annat GRIB-filer. GRIB (General Regularly-distributed Information in Binary form) är ett filformat som används för att lagra meteorologisk data. Precis som namnet antyder är data lagrad i punkter som tillsammans bildar ett rutnät, vilket gör att yttrycket är

tillgängligt endast som ett diskret dataset. I denna studie används data från ERA-Interim från ett $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ rutnät, vilket ger 360 punkter med data längs en latitud och 181 längs en longitud.

För att avkoda GRIB-filerna och få fram det totala yttrycket på norra hemisfären används tilläggsprogrammet `read_grib` i MATLAB. För att kunna beräkna det totala yttrycket antas varje datapunkt ligga i mitten av en $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ ruta istället för i en av hörnorna. På så sätt "omjusteras" rutnätet, det vill säga rutnätet flyttas 0.5° både zonalt och meridionalt. Detta gör att datapunkterna på -90° och 90° longitud kommer att ligga i mitten av en cirkel istället för en ruta. När "omjusteringen" av rutnätet gjorts multipliceras varje punkts värde med motsvarande area i km^2 för att sedan summeras över antalet kvadrater.

Arean av en ruta ges av arean av en parallelltrapets:



$$A = \frac{a + b}{2} \cdot h$$

Eftersom rutnätet är ekvidistant cylindriskt kommer varje ruta som sagt ha dimensionerna $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ men eftersom latitudernas omkrets minskar med ökande breddgrad kommer rutorna inte att ha samma dimensioner i kilometer. På grund av detta kommer arean av en ruta att vara:

$$A = \frac{\pi r}{360} \cdot (\cos \varphi_a + \cos \varphi_b) \cdot h$$

Där r är Jordens medelradie, eftersom Jorden approximeras till en sfär, h är höjden av rutan, 1.0° , vilket motsvarar cirka 111 km, och φ_a och φ_b är breddgraderna för den nordliga respektive sydliga latituden. Alla beräkningar utförs i MATLAB och för att dessa ska bli så enkla som möjligt används inte punkterna på -90° och 90° longitud eftersom de areorna är de av cirklar och inte parallelltrapets.

4.2. Normalisering

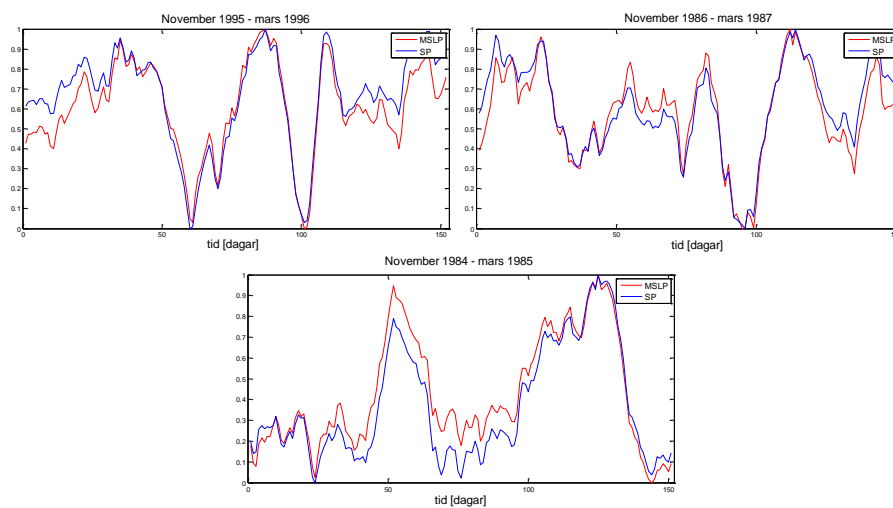
För att kunna se en korrelation mellan det totala yttrycket på norra hemisfären, NAO-indexet och temperaturen kommer dessa att plottas i samma graf. För att detta ska bli överskådligt måste varje dataset normaliseras var för sig på grund av de stora magnitudskillnaderna som finns. Detta görs med hjälp av:

$$f_{norm}(t) = \frac{f(t') - \min [f(t)]}{\max [f(t)] - \min [f(t)]}$$

Där $f(t')$ är värdet som normaliseras och $\max [f(t)]$ och $\min [f(t)]$ är datasetets största respektive minsta värde. På så sätt kommer alla värden att ligga i intervallet $[0,1]$, där det största värdet i datasetet kommer att anta värdet 1 efter normaliseringen och det minsta värdet kommer att anta värdet 0.

4.3. Jämförelse mellan MSLP i ERA-40 och yttrycket i ERA-Interim

Syftet med den här studien är som sagt att undersöka om det finns en korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären för de ovanligt kalla vintrar i norra Europa. ERA-Interim sträcker sig som sagt endast tillbaka till januari 1979, vilket gör att data från ERA-40 måste användas till vintrarna 1978/79, 1969/70 och 1962/63. Som nämnts finns inte yttrycket tillgängligt i ERA-40, vilket gör att MSLP måste användas istället. Eftersom MSLP innebär att trycket reduceras till den genomsnittliga havsytan kommer det totala MSLP för norra halvklotet att vara av en större storleksordning än vad det totala yttrycket är för samma vinter. Detta är dock inget problem så länge utseendet på yttryckskurvan och MSLP-kurvan är samma. För att se ifall så är fallet plottas det totala yttrycket och det totala MSLP på norra halvklotet för vintrarna 1995/96, 1986/87 och 1984/85.



Figur 4.1. Jämförelse av det totala yttrycket och det totala MSLP på norra halvklotet.

Som man kan se i Figur 4.1 följer de båda kurvorna varandra väldigt bra för alla tre vintrar; dock är MSLP-kurvan något kantigare eftersom ERA-40 har en sämre upplösning. Även om de inte antar samma värden kan man se att de varierar på samma sätt, de stiger samtidigt och faller i princip samtidigt. Eftersom avvikelserna mellan de båda parametrarna inte är så stora kan både yttrycket från ERA-Interim och MSLP från ERA-40 användas i studien och vintrarna innan och efter 1979 kan jämföras med varandra.

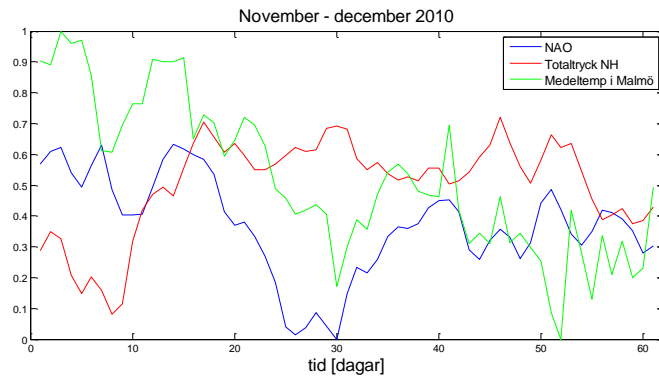
5. Analys

Under de senaste 51 åren har det varit nio ovanligt kalla vintrar i norra Europa. För minst sex av dem - 2010/11, 2009/10, 1995/96, 1986/87, 1985/86 och 1962/63 - upptäcktes en möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären. För alla dessa ovanligt kalla vintrar åtföljs det kraftigt negativa omslaget av NAO-indexet av ett temperaturfall i de norra delarna av Europa. I den här sektionen analyseras de olika vintrarna främst utifrån det totala yttrycket på norra hemisfären, NAO-indexet och medeltemperaturen från observationsstationen i Malmö, men även temperaturen i 850 hPa och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan används.

5.1. November - december 2010

För vintern 2010/2011 ses en korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären under november månad, se Figur 5.1. Yttrycket börjar öka den 8:e november och når sitt

högsta värde drygt tio dagar senare innan det stabiliseras. I samband med att det totala yttrycket stiger kan man se ett kraftigt omslag till det negativa av NAO-indexet, det endast en dryg vecka efter att yttrycket börjat stiga. En dryg vecka efter att NAO-indexet börjat falla kan man se en temperaturminskning med ett minimum sista november. Därefter fluktuerar temperaturen men den håller sig negativ i stort sett hela december.

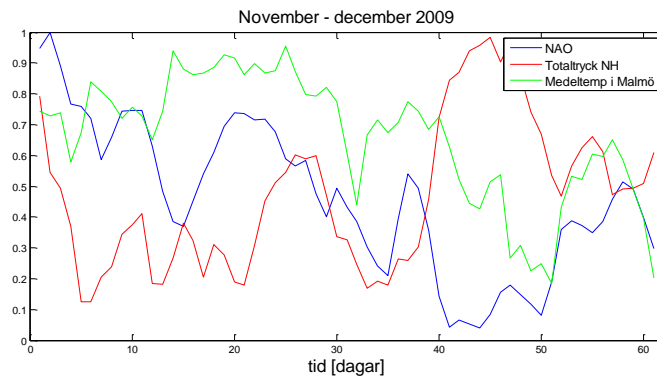


Figur 5.1. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november-december 2010.

Det totala yttrycket på norra hemisfären börjar stiga runt den 8:e november och NAO-indexet slår om till det negativa runt den 14:e, det är dock inte förrän en dryg vecka senare som tillståndet av den atmosfäriska cirkulationen förändras. Händelseutvecklingen av temperaturen i 850 hPa och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan visas i Figur A1 respektive A2. Den 22:a november syns något som liknar en omegablockering ute i norra Atlanten och den 24:e kan man klart och tydligt se att där ligger en omegablockering. Under samma period, det vill säga medan NAO-indexet fortfarande faller, kan man på temperaturen i 850 hPa se att kall arktisk luft kommer in mot Skandinavien norrifrån. I takt med att denna kalla luftmassa sträcker sig allt längre söderut deformeras omegablockeringen och blir istället till en kortvarig högamplitudsrygg, detta i samband med att det västra av det två lågtrycken vid ytan som associeras med omegablockeringen rör sig åt nordväst. Fram till och med de sista dagarna av november sträcker sig den arktiska luftmassan allt längre söderut och når som längst ner till norra Tyskland. Samtidigt observerades de lägsta temperaturerna i Malmö i samband med att NAO-indexet slog om. Därefter drar sig kylan tillbaka och högamplitudsryggen försvinner.

5.2. November - december 2009

I början av november 2009 kan man i Figur 5.2 se ett relativt kraftigt fall i det totala yttrycket på norra hemisfären. Man kan även se hur NAO-indexet faller under samma period, vilket indikerar att de båda är i fas med varandra, dock något förskjutet. Därefter ökar de med förskjuten fas för att sedan en sista gång minska, också detta i fas. Efter detta ser det ut att ske en fasförskjutning då NAO-indexet stiger en dryg vecka innan yttrycket gör det. Dock ser de ut att komma in i fas igen varefter de kommer ur fas då NAO-indexet sjunker i samband med den kraftiga tryckökningen. Därefter stiger NAO-indexet i takt med att yttrycket faller. Några dagar innan och efter korrelationen är temperaturen hyfsat konstant men den 10:e december ses en minskning till det negativa. Denna minskning håller i sig i drygt tio dagar innan temperaturen ökar för att sedan minska igen. På det hela taget håller sig temperaturen runt och under noll grader resterande december och större delen av januari.

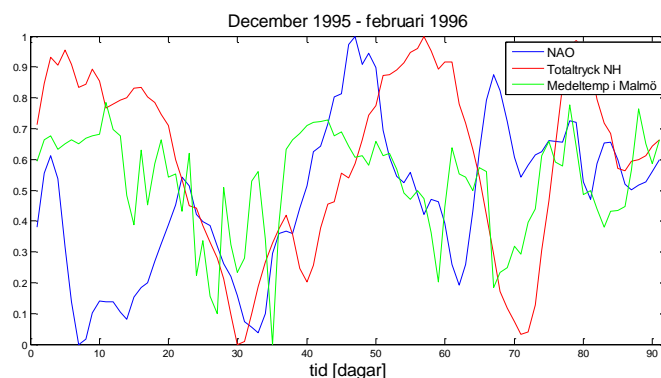


Figur 5.2. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november till december 2009.

Medan det totala yttrycket på norra hemisfären fortfarande stiger kan man se stora förändringar i det atmosfäriska tillståndet över Nordatlanten. Denna utveckling kan ses i Figur A3, som visar temperaturen i 850 hPa, och Figur A4, som visar den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan. Redan den 12:e december kan man se att där ligger en stor och relativt bred högtrycksrygg centrerad över Storbritannien. Till den 14:e december har denna högtrycksrygg utvecklats till en tydlig omegablockering med center över Nordatlanten, vilket effektivt stoppar den i vanliga fall zonala strömningen. I samband med detta kan man på temperaturen i 850 hPa se att kall arktisk luft kommit in över Skandinavien, detta en dryg vecka efter det kraftiga omslaget av NAO-indexet. Fram till den 18:e har den arktiska luftmassan sträckt sig ner över hela Europa och delar av Centraleuropa varefter den börjar dra sig tillbaka. Under tiden som den kalla luftmassan sträcker sig allt längre söderut deformeras omegablockeringen en aning men återfår sin form igen varefter den håller i sig till och med den 22:e december. Detta betyder att omegablockeringen bildas innan den arktiska luftmassan kommer in över Europa och håller i sig i stort sett hela tiden tills det att kylan dragit sig tillbaka.

5.3. December 1995 - februari 1996

Första halvan av december fluktuerar det totala yttrycket på norra hemisfären endast lite grann innan det faller kraftigt. Samtidigt kan man se ett temperaturfall och endast några dagar efter faller även NAO-indexet. Därefter stiger både NAO-indexet och det totala yttrycket i fas men efter ett par dagar förskjuts denna fas och medan yttrycket fortfarande stiger ses ett kraftigt omslag av NAO-indexet till det negativa. Nu kan man se att yttrycket och NAO-indexet är helt ur fas eftersom när yttrycket sedan faller syns en ökning av NAO-indexet endast några dagar efteråt. Det är när yttrycket och NAO-indexet börjar gå ur fas som en korrelation kan ses mellan dessa två – NAO-indexet börjar falla en dryg vecka efter att det totala yttrycket börjat stiga. En omvänd korrelation ses endast någon vecka senare då NAO-indexet ökar drygt en vecka efter att yttrycket börjat falla. Några dagar innan NAO-indexet slår om till det negativa i samband med tryckökningen kan ett temperaturfall ses. Efter det ses ett till temperaturfall en dryg vecka senare och den minskningen beror på att kall arktisk luft kommer in över Skandinavien norrifrån. Detta tyder på att denna minskning kommer i samband med att NAO-indexet faller, den andra kommer trots allt innan. Efter första minskningen håller sig temperaturen under noll grader i en dryg vecka och under den här perioden är temperaturen som lägst runt -10°C . Totaltrycket för norra hemisfären, NAO-indexet och medeltemperaturen i Malmö under perioden december 1995 till februari 1996 visas i Figur 5.3.



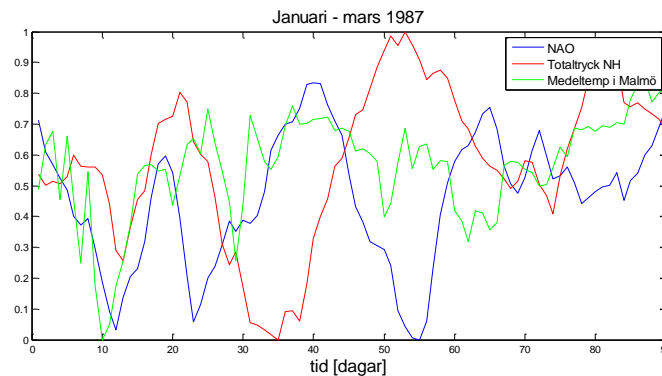
Figur 5.3. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden december 1995 till februari 1996.

Den 19:e januari, i samband med att det totala yttrycket på norra hemisfären ökar syns vad som liknar en omegablockering över norra Europa, där högtrycket i blockeringen är ett så kallat cut-off high. Redan nästa dag har omegablockeringen upplösts men högtrycket vid ytan över norra Europa ligger fortfarande kvar och det västra lågtrycket vid ytan som utgjorde ena basen av omegablockeringen har rört sig längre söderut, ner mot Spanien. Tryckmönstret på 500 hPa-ytan påminner vagt om blockeringsmönstret som kallas för split-flow. Både hög- och lågtrycket ligger kvar i ett antal dagar, dock försvagas de båda med tiden. Det som är intressant att notera är att lågtrycket vid ytan nere vid Spanien rör sig längre västerut med tiden, vilket tillsammans med att ett högtryck kommer in mot Island kan förklara det kraftigt negativa NAO-indexet. Detta högtryck samverkar sedan med det försvagade högtrycket över Skandinavien och den 28:e januari ses återigen ett mönster på 500 hPa-ytan som påminner om ett split-flow, nu dock förskjutet mer åt väst jämfört med det förra. I samband med att högtrycket beger sig österut förskjuts även denna konstellation längre österut och efter endast två dagar har den försvunnit. Lågtrycket utanför Portugals kust ligger dock fortfarande kvar och ett nytt högtryck vid ytan har kommit in över Island den 30:e januari. Den sista januari syns återigen ett mönster på 500 hPa-ytan som påminner om den grekiska bokstaven omega men redan dagen efter är mönstret borta. Bara ett par dagar efter detta kommer arktisk luft in över Skandinavien, vilket är drygt två veckor efter att NAO-indexet börjat falla (Figur A5). I samband med detta kommer två djupa lågtryck också in över Skandinavien norrifrån. Dessutom rör sig även ett högtryck in mot Portugals kust västerifrån, vilket förklarar den kraftiga ökningen av NAO-indexet under den perioden. Precis som för några av de ovannämnda vintrarna sträcker sig kylan norrifrån ner över hela Skandinavien och vidare som sydligast ner över Polen. Kylan når som längst söderut mellan den 6:e och 8:e februari, vilket passar bra med temperaturminimumet i figuren, varefter den börjar dra sig tillbaka upp mot Skandinavien och vidare norrut.

5.4. Januari - mars 1987

I början av januari faller både temperaturen och NAO-indexet och även en liten minskning av det totala yttrycket på norra hemisfären kan ses. Därefter ökar både NAO-indexet och yttrycket någorlunda i fas men NAO-indexet faller sedan några dagar innan yttrycket gör det, vilket leder till att de går ur fas. Detta kan ses tydligt eftersom NAO-indexet sedan ökar kraftigt medan yttrycket fortfarande sjunker. Några dagar in i februari ses sedan en kraftig ökning av yttrycket men dock ganska utdragen, den varar i drygt två veckor. I samband med denna ökning ses ett kraftigt omslag av NAO-indexet till det negativa bara några dagar efteråt, vilket tyder på att de är ur fas. En omvänd korrelation mellan de båda ses direkt efteråt då NAO-indexet stiger och yttrycket faller. I samband med korrelationen mellan yttrycket och NAO-indexet kan man se två temperaturminskningar. Det första fallet börjar redan innan NAO-indexet slår om medan det andra sker drygt två veckor efter

NAO-indexet börjat falla. I Figur 5.4 ser denna minskning relativt liten ut men i själva verket ligger den på runt 10°C. Dessutom ligger temperaturen runt eller under 0°C efter och innan minskningen.

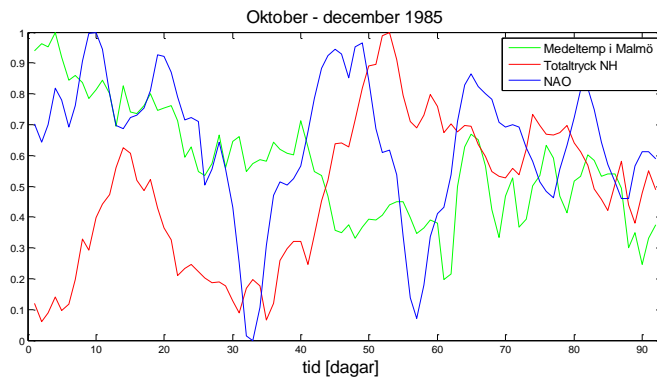


Figur 5.4. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden januari till mars 1987.

Den 15:e februari ligger där ett djupt lågtryck vid ytan ute i Nordatlanten och en störning i form av en liten rygg kan ses på 500 hPa-ytan. Där ligger även ett lågtryck vid ytan nere över Italien, dock inte alls lika djupt som det ute över Atlanten. Under loppet av två dagar växer denna rygg och lågtrycket över Nordatlanten fördjupas medan det inne över södra Europa ser ut att försvagas. Fram mot den 21:e har ryggen på 500 hPa-ytan utvecklats till ett mönster som, tillsammans med ett lågtryck vid Medelhavet, antagit utseendet av ett så kallat split-flow. Denna konstellation dör dock ut relativt fort, en dryg dag tar det, men istället har tre slutna cirkulationer bildats på 500 hPa-ytan. Till den 22:a ser det ut att ligga någon form av omegablockering över Nordatlanten, dock något deformerad. Endast två dagar senare visar Figur A6 att arktisk luft är på väg ner över Europa. Bara två dagar senare täcker denna kyla hela Skandinavien och stora delar av Centraleuropa men då har omegablockeringen redan försvunnit. Den 26:e ser denna kalla luft dock ut att dra vidare österut. I samband med detta kommer det dock in mer kall luft norrifrån som sträcker sig hela vägen ner över Balkanhalvön. Denna kyla håller i sig en dryg vecka in i mars innan den försvinner. På det hela taget håller sig kylan över Europa i drygt två veckor.

5.5. Oktober - december 1985

I början av oktober syns en liten ökning i det totala yttrycket på norra hemisfären varefter det faller. Under den här perioden är NAO-indexet relativt konstant och positivt innan det plötsligt faller i slutet av oktober, efter vilket det ökar lika snabbt som det föll. I Figur 5.5 kan man se att under i princip hela november ökar det totala yttrycket på norra hemisfären kontinuerligt varefter det sakta börjar falla. Denna ökning av yttrycket är inte alls lika brant som för de ovannämnda vintrarna utan den är mycket mer utdragen. Även NAO-indexet ökar under första halvan av november, vilket tyder på att indexet och yttrycket är i fas, men slår om till det negativa runt den 18:e, vilket tyder på en korrelation mellan indexet och det totala yttrycket och att de således gått ur fas. Efter omslaget, ökar NAO-indexet igen och fluktuerar sedan utan någon direkt kraftig upp- eller nergång. Det är svårt att analysera temperaturen eftersom den fluktuerar så mycket från dag till dag men det syns en liten temperaturminskning på runt 5°C i slutet av november som skulle kunna vara knuten till NAO-indexets omslag. För övrigt ses en kontinuerlig minskning av temperaturen sedan början oktober fram till början av december då det börja fluktuera mer och ingen tydlig neråt- eller uppåtgående trend syns.

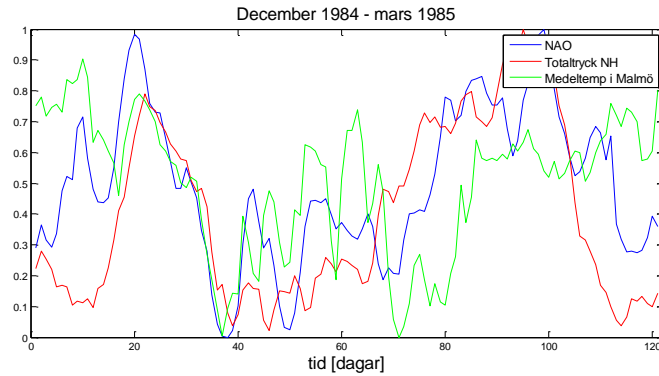


Figur 5.5. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden oktober till december 1985.

Den 20:e november, i samband med att NAO-indexet faller syns ett högtryck vid ytan över norra Europa och ett lågtryck vid ytan nere vid Medelhavet (Figur A8). Dessa, tillsammans med två lågtryck ute i Nordatlanten ser ut att bilda ett mönster på 500 hPa-ytan som liknar ett split-flow. Det mönstret försvinner dock snabbt men den 23:e november ser det ut att bildas en omegablockering ute i Nordatlanten med högtrycket vid ytan centrerat precis öster om Island. Med tiden rör de två lågtrycken vid ytan, som bildar basen i omegablockeringen, sig längre österut medan högtrycket rör sig allt längre norrut. Till den 29:e har omegablockeringen i princip försvunnit; endast ett isolerat högtrycksmönster ovanför Grönland ses på 500 hPa-ytan. I samband med denna omegablockering kommer kall arktisk luft in över norra Europa den 24:e, se Figur A7. Under tiden som den kalla luften rör sig söderut försvagas kylan och som man kan se täcker den bara de sydligaste delarna av Skandinavien kortvarigt. Det kan vara därför som endast en liten och kortvarig minskning av temperaturen i Malmö ses. Dessutom är den arktiska luften inte lika omfattande och kall som för ovannämnda vintrar.

5.6. December 1984 - mars 1985

För vintern 1984/85 ses i december och januari något som skiljer sig åt från de ovannämnda vintrarna. Två veckor in i december ses en kraftig ökning av det totala yttrycket på norra hemisfären. Endast några dagar efter det ses en relativt kraftig ökning av NAO-indexet och i samband därmed även en temperaturökning, vilket tyder på att NAO-indexet och yttrycket är i fas. Därefter ses ett relativt utdraget omslag av NAO-indexet till det negativa och även då ligger de två i fas eftersom yttrycket börjar minska endast någon dag efter att NAO-indexet gjort det. Även nu följer temperaturkurvan NAO-indexet mycket bra och en minskning ses. I början av januari ses även där en kraftig och utdragen tryckökning och endast några dagar efter börjar NAO-indexet att öka, det vill säga de två är i fas med varandra. Båda två sjunker sedan i början av mars, även då i fas. Under hela vintern 1984/85 ses ingen korrelation sådan som för de ovannämnda vintrarna utan NAO-indexet och det totala yttrycket kommer aldrig ur fas. Däremot ses två tydliga exempel på att de är i fas. Hela händelseförloppet visas i Figur 5.6.



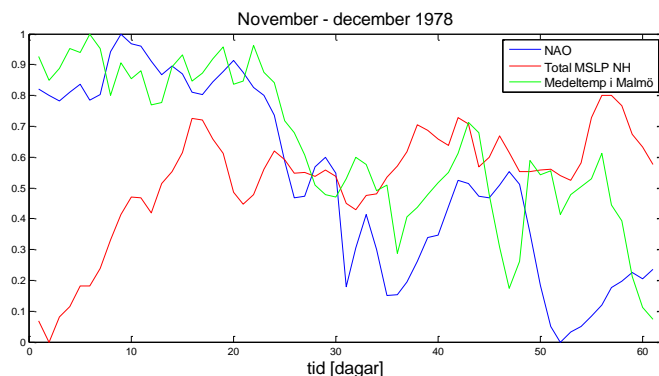
Figur 5.6. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden december 1984 till mars 1985.

Den sista december ses en liten störning på 500 hPa-ytan över Nordatlanten som till dagen efter har utvecklats till en relativt stor högtrycksrygg. Samtidigt ses ett högtryck vid ytan precis norr om Island. Detta högtryck förflyttar sig knappt de närmaste dagarna utan är relativt stationärt. Samtidigt växer det fram ett mönster på 500 hPa-ytan över Nordatlanten som påminner om en högamplitudsrygg, detta i samband med att kall arktisk luft kommer in över norra Europa den 2:e januari (Figur A9 och A10). Med tiden får högamplitudsryggen ett utseende som allt mer påminner om en omegablokering och den 4:e syns den tydligt på 500 hPa-ytan. Dagarna efteråt deformeras den dock och till den 9:e har mönstret i princip försvunnit.

Den kalla arktiska luften kommer in drygt två veckor efter det att NAO-indexet börjat falla. Fram till runt den 6:e januari fortsätter kylan att sträcka sig längre söderut och når som sydligast ner över Frankrike, varefter den börjar försvinna. Jämför man detta med Figur 5.6 ser man att det datum då den arktiska luften kommer in över norra Europa passar med temperaturfallet i början av januari. Även temperaturökningen passar bra med då kylan drar sig bort från Skandinavien.

5.7. November - december 1978

I början av november kan man se en kraftig ökning av det totala MSLP på norra hemisfären varefter det ser ut som om det har stabiliserat sig, se Figur 5.7. Under samma period är både NAO-indexet och temperaturen relativt konstanta. Några dagar efter att det totala MSLP nått sitt maximum kan man se ett negativt omslag i NAO-indexet, vilket ser ut att ske i etapper. Att minskningen sker efter att MSLP nått sitt maximum får den här vintern att stå ut i jämförelse med de andra, då NAO- och tryckkurvan faktiskt skär varandra. Ungefär samtidigt som NAO-indexet slår om ses en temperaturminskning och där ses även en relativt kraftig minskning runt den 14:e december.

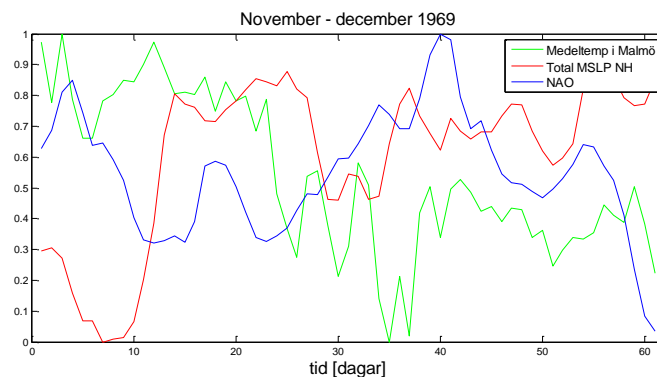


Figur 5.7. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala MSLP på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november till december 1978.

På temperaturen i 850 hPa kan man se att kall luft kommer in norrifrån runt den 7:e december. Den rör sig då i en sydlig bana öster om Skandinavien och når inte de sydligaste delarna förrän runt den 15:e december (Figur A11), vilket passar relativt bra med temperaturminimumet. Korrelationen med kylan är inte lika tydlig som för tidigare nämnda vintrar, vilket ses genom att MSLP-kurvan och NAO-indexet inte skär varandra. Vad mer som skiljer den här vintern från de andra är att den kalla luften kommer in relativt sent.

5.8. November - december 1969

Enligt Figur 5.8 kan man se en kraftig ökning i det totala MSLP på norra hemisfären runt den 10:e november, varefter det ser relativt stabilt ut. Innan dess har både NAO-indexet och MSLP minskat, vilket tyder på att de var någorlunda i fas. En dryg vecka efter att MSLP börjat öka kan man se en relativt liten topp i NAO-indexet och i samband med minskningen där kan man även se en temperaturminskning. Efter detta temperaturfall ses en ökning men temperaturen håller sig fortfarande runt 0°C december månad ut. Denna situation skiljer sig från de ovannämnda då minskningen av NAO-indexet är så pass liten som den är och att NAO-indexet först ökar när trycket slutat göra det och inte minskar så att de båda kurvorna skär varandra.



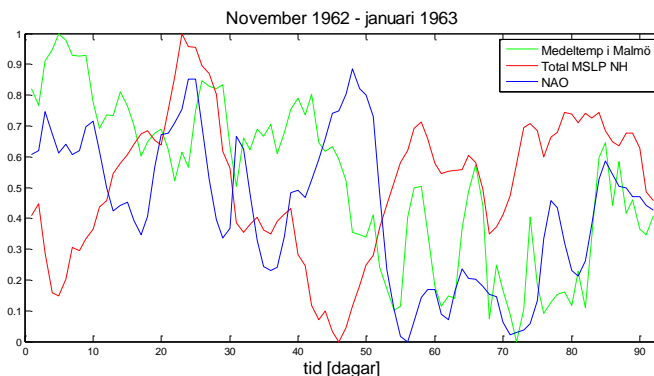
Figur 5.8. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala MSLP på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november till december 1969.

I Figur A12 ser det ut att komma in kall luft mot Skandinavien västerifrån från Grönland runt den 20:e och 22:e november. Men kylan har i princip dött ut innan den når in över Skandinavien. Den 28:e ser det återigen ut att komma in kall luft mot norra Europa från Grönland men precis som innan dör kylan ut innan den når fram till Skandinavien. Detta tyder på att det inte finns någon korrelation mellan NAO-indexet och det totala MSLP eftersom det för de andra vintrarna har kommit in kall luft norrifrån i samband med korrelationen.

5.9. November 1962 - januari 1963

Under december ses en korrelation mellan NAO-indexet och det totala MSLP på norra hemisfären (Figur 5.9). Redan innan dess kan man se att de är ur fas, detta eftersom NAO-indexet ökar i början av december och yttrycket sedan minskar ett par dagar efter detta. Däremot kan man i början av november se en kraftig men utdragen ökning av det totala MSLP och i samband med detta ses även en ökning av NAO-indexet. Ungefär samtidigt som yttrycket sjunker kan man även se hur NAO-indexet slår om till det negativa, vilket tyder på att de faktiskt är i fas under den här perioden. I samband med korrelation sker omslaget av NAO-indexet endast tre dagar efter att MSLP börjat öka, vilket är väldigt kort om man jämfört med de andra vintrarna. Efter korrelationen ser NAO-indexet och MSLP ut att fluktuera i fas med varandra. I början av december är temperaturen relativt konstant

varefter det sker en kraftig minskning, detta innan korrelationen mellan NAO-indexet och MSLP. Efter det ses stora fluktuationer av temperaturen genom de resterande dagarna av december och i början av januari.



Figur 5.9. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala MSLP på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november 1962 till januari 1963.

En liten störning ses över norra Europa på 500 hPa-ytan den 21:a december och till 23:e har den utvecklats till en högamplitudsrygg över Nordatlanten. Ryggen advektas sedan österut och blir med tiden zonal innan den försvinner. I samband med detta har dock en sluten cirkulation på 500 hPa-ytan bildats över Nordatlanten. Denna slutna cirkulation blir stationär och dessutom rör sig ett högtryck vid ytan upp över Island medan man kan se att där legat ett lågtryck vid ytan utanför Portugals kust några dagar. Dessa två trycksystem ger upphov till ett kortvarigt mönster på 500 hPa-ytan som liknar en Rex blockering, den dör dock ut snabbt. Den slutna cirkulationen över Island tillsammans med det höga trycket vid ytan ligger kvar till början av januari.

Om man tittar på temperaturen i 850 hPa (Figur A13) så är det inte lika lätt att se om det kommer kall luft norrifrån eller inte som för de andra vintrarna. Det ser dock ut att komma in kall luft över Skandinavien runt den 27:e december men kylan ser ut att ha passerat under en dryg vecka, i alla fall räknat för Sydkandinavien. Detta är endast ett par dagar efter att den slutna cirkulationen bildats över Nordatlanten.

5.10. Analys av meridionalvinden i 850 hPa

För alla de analyserade vintrarna ses en kraftig ökning av det totala trycket på norra hemisfären, vilken är förbunden med en årlig transport av luft över ekvatorn. Den årliga transporten kan kopplas till Hadleycellernas säsongsvariationer och för att stärka att de kraftiga tryckökningarna som ses under korrelation med NAO-indexet även de beror på variationer i Hadleycellerna studeras den meridionala vinden i 850 hPa. Precis som för yttrycket hämtas data från ECWMF:s re-analysprojekt ERA-Interim och analysfältet från 12 UTC används även här. Ett zonalt medelvärde av den meridionala vinden beräknas för ett par dagar i samband med den kraftiga tryckökningen, detta endast för det tropiska bältet eftersom det är i den regionen Hadleycellerna manifesterar sig. Figur B1-B7 i Appendix B visar hur den meridionala vinden varierar i samband med korrelationen mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären. Eftersom ERA-Interim endast sträcker sig bak till och med januari 1979 kan bara den meridionala vinden för vintrarna efter 1979 analyseras. Detta beror på att den meridionala vinden på 850 hPa i ERA-40 och ERA-Interim skiljer sig markant från varandra för samma år.

I samband med den kraftiga tryckökningen under december 2010 kan man se relativt stora förändringar i den meridionala komponenten av passadvindarna i det tropiska bältet. Under

perioden 6:e till 10:e november vänder vindarna – de går från att vara svagt nordliga till att bli klart sydliga både kring ekvatorn och mellan 20 till 30°S. Dessutom kan man se en reducering av de nordliga vindarna runt 10 till 20°N. På samma sätt kan man se att en sydlig vind induceras mellan 10 till 20°S under perioden 7:e till 10:e december 2009, vilket är under samma period som det totala trycket stiger. Mellan ekvatorn och 10°N kan man även se en viss tendens till att vindarna blir mindre nordliga med tiden. Även under perioden 7:e till 10:e januari 1996, då ökningen av totaltrycket sker, ses hur vindarna blir mindre nordliga med tiden runt 10°N. Dock är denna reducering av vindarna mycket kraftiga i jämförelse med de andra två vintrarna. Under februari 1987, under samma period som tryckökningarna sker, är ändringar i meridionalvinden på 850 hPa mer subtila än i jämförelse med 1996. Även under den här vintern kan man se att de meridionala vindarna kring ekvatorn blir allt mindre nordliga och att vindarna längre söderut i det tropiska bältet vänder och blir svagt sydliga. Meridionalvindarna under perioden 4:e till 7:e november 1985 skiljer sig åt i jämförelse med de andra vintrarna. På hela den södra delen av det tropiska bältet ses relativt stora förändringar – vindarna går från att vara nordliga till svagt sydliga samt från väldigt svagt sydliga till att bli kraftigare. I samband med den kraftiga tryckökningen i mitten av december 1984 blir de nordliga vindarna kring ekvatorn svagare.

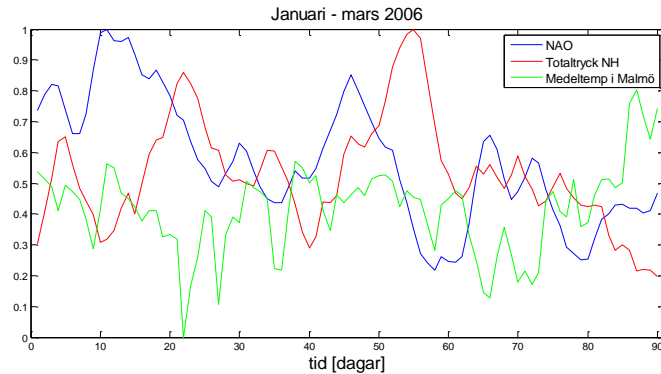
För att sammanfatta kan man i samband med alla korrelationer se förändringar i den meridionala vinden på 850 hPa som indikerar att det totala yttrycket på norra hemisfären kommer att öka. Att den meridionala vinden ändras i det tropiska bältet på det här sättet gör att de kraftiga tryckökningarna associeras med Hadleycellerna och att det är de som är ansvariga för transporten av luft över ekvatorn.

5.11. Korrelation under andra vintrar

Hypotesen var att korrelationen mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären endast inträffade under ovanligt kalla vintrar i norra Europa. Hittills har det visats sig att denna korrelation ses under vintrarna 1962/63, 1985/86, 1986/87, 1995/96, 2009/10 och 2010/11, vilka alla var ovanligt kalla. Om andra vintrar undersöks finner man att denna typ av korrelation även inträffar under vintrarna 2001/02 och 2005/06, vilka inte ingår i kategorin ovanligt kalla vintrar i norra Europa.

5.11.1. Januari - mars 2006

I början av januari ökar det totala yttrycket på norra hemisfären och NAO-indexet i fas, varefter de även faller i fas. I samband med detta kommer de lite ur fas och man kan se att när yttrycket sedan ökar faller NAO-indexet. I mitten av februari ser de ut att vara i fas igen då man kan se att båda stiger men de kommer dock ur fas under ökningen och NAO-indexet slår om till det negativa. Därefter kan man se att yttrycket faller och NAO-indexet ökar endast några dagar efter detta. Tittar man på medeltemperaturen i Malmö kan man se ett temperaturfall i början av mars. I Figur 5.10 ser denna minskning relativt liten ut men i själva verket är fallet på cirka 8°C och dessutom ligger dygnsmedeltemperaturen runt eller under 0°C största delen av både februari och mars.

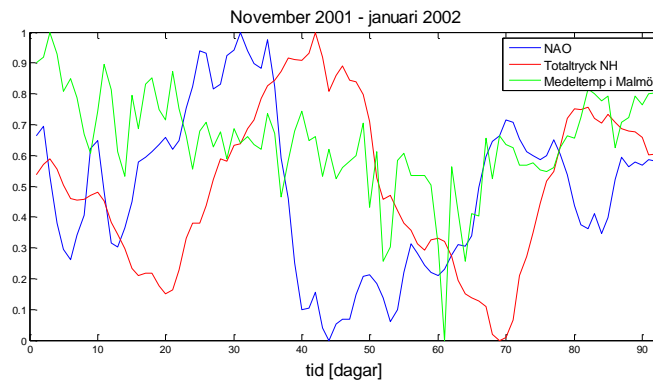


Figur 5.10. En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden januari till mars 2006.

Den 22:e februari kan en störning i den zonala strömningen på 500 hPa-ytan över Nordatlanten ses då det ser ut som om någon form av blockering håller på att bildas. Till den 24:e har den utvecklats till en tydlig omegablockering centrerad över Island. Endast två dagar efter detta ses på temperaturen i 850 hPa att kall artisk luft strömmar in över Skandinavien och ett par dagar senare har den kalla luftmassan nått sitt sydligaste läge. Det är inte förrän en dryg vecka in i mars som den arktiska luften drar sig tillbaka och jämför man med temperaturen i Malmö ser man att den 4:e mars ser det ut att vara som kallast över Skåne, vilket passar bra in på temperaturminskningen. Omegablockeringen ligger kvar ute i Nordatlanten under största tiden av detta händelseförlopp. Detta betyder, i likhet med bland annat vintrarna 2009/10 och 2010/11, att blockeringen bildas innan den arktiska luftmassan strömmar in över norra Europa och att den försvinner några dagar innan kylan gör det. Hela utvecklingen kan ses i Figur A14, som visar temperaturen i 850 hPa, och Figur A15, som visar den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan.

5.11.2. November 2001 - januari 2002

Största delen av november syns ett kontinuerligt fall i det totala yttrycket på norra hemisfären medan NAO-indexet börjar stiga i mitten av november (se Figur 5.11). En dryg vecka efter att NAO-indexet börjat öka kan man se en kraftig men relativt utdragen ökning av yttrycket. Innan yttrycket har nått sitt maximum ses ett väldigt kraftigt omslag till det negativa av NAO-indexet så att de båda kurvorna skär varandra några dagar in i december. NAO indexet når sitt minimum endast några dagar efter att yttrycket nått sitt maximum och därefter kan man se en utdragen minskning av yttrycket men även en utdragen ökning av NAO-indexet. Det totala yttrycket ökar sedan medan NAO-indexet fortfarande stiger. Runt den 20:e december, i samband med en möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket, ses vad som ser ut att vara en liten temperaturminskning men i själva verket faller temperaturen med drygt 10°C. Även i början av januari 2002 ses en temperaturminskning, dock mycket kraftigare än den som ses i december 2001.



Figur 5.11. NAO En möjlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären tillsammans med dygnsmedeltemperaturen i Malmö under perioden november 2001 till januari 2002.

Även under vintern 2001/02 rubbas den zonala strömningen över norra Atlanten då man redan den 8:e december kan se på 500 hPa-ytan att en blockering håller på att bildas. Endast två dagar senare kan man se en tydlig omegablockering centrerad över Storbritannien. Till skillnad från de övriga analyserade vintrarna var en blockering kunde ses, försvinner den här omegablockeringen i samband med att den arktiska luftmassan kommer in över norra Europa, detta mellan den 16:e och 18:e december. Dock kan man se att det har bildats ett split-flow över Nordatlanten den 20:e som sedan ligger kvar i en dryg vecka. Redan den 20:e, samma dag som split-flowet syntes, har den kalla luften nått ner till de sydligare delarna av Skandinavien, vilket passar bra in på minskningen av temperaturen i Malmö. Den 24:e ser kylan ut att vara på väg bort från de sydligaste delarna av Skandinavien men det är i själva verket inte förrän i början av januari 2002 som den verkligen försvinner från hela norra Europa. Innan dess, runt den 30:e december, har kall arktisk luft kommit in över de sydliga delarna av Skandinavien igen, vilket passar in mycket bra på det kraftiga fallet av temperaturen i Malmö. Händelseförloppet för temperaturen i 850 hPa och den geopotentiella höjden av 500 hPa-ytan visas i Figur A16 respektive A17.

5.11.3. Meridionalvinden i 850 hPa

Både vintrarna 2005/06 och 2001/02 uppvisar samma trend som de övriga analyserade vintrarna, nämligen att meridionalvindarna i 850 hPa förändras så att en transport av luft över ekvatorn till norra hemisfären gynnas. I samband med den kraftiga tryckökningen under 2006 försvagas de nordliga vindarna i norra delen av det tropiska bältet och dessutom vänder de svagt nordliga vindarna mellan 10 och 30°S och blir istället svagt sydliga. På samma sätt blir de nordliga vindarna mellan 10 och 30°N svagare i samband med den kraftiga ökningen av det totala yttrycket som sker under november 2001. Även de här graferna för meridionalvinden i 850 hPa visas i Appendix B, se Figur B8 och B9.

6. Diskussion

Av de nio vintrarna som analyserades upptäcktes minst sex korrelationer mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären. Situationen under vintern 1978/79 står ut i jämförelse med de andra eftersom NAO-indexet och MSLP-kurvan inte skär varandra. Detta gör att den här vintern inte kommer att betraktas som en korrelation. De vintrar då en korrelation ses är 2010/11, 2009/10, 1995/96, 1986/87, 1985/86 och 1962/63. För alla dessa vintrar kan man se att det totala yttrycket ökar innan NAO-indexet slår om, detta även om det endast skiljer ett par dagar mellan tryckets ökning och NAO-indexets minskning för bland annat vintern 1962/63. NAO-indexets omslag till det negativa åtföljs av att arktisk luft strömmar in över Skandinavien drygt en till två veckor efter

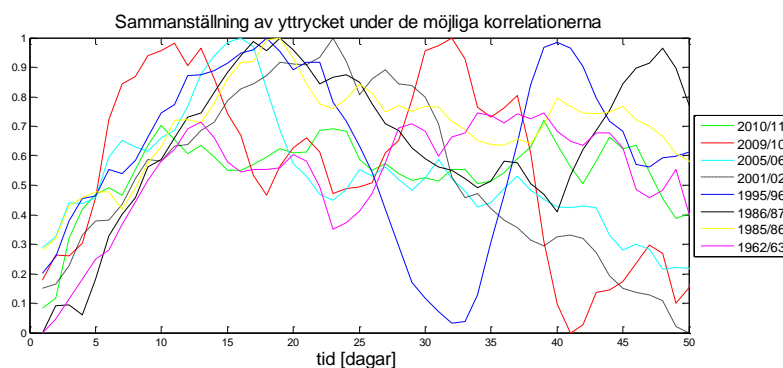
omslaget. Även om temperaturen från en observationsstation, så som den i Malmö, fluktuerar väldigt mycket från dag till dag kan man ändå se en minskning i samband med omslaget av NAO-indexet för i stort sett alla vintrar. Dock gör fluktuationerna det väldigt svårt att dra konkreta slutsatser om ifall ett eventuellt temperaturfall beror på korrelationen mellan det totala trycket och NAO-indexet eller inte.

De tre vintrarna som inte påvisar någon tydlig korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären är 1984/85, 1978/79 och 1969/70. Vintern 1984/85 uppvisar endast exempel på då NAO-indexet och yttrycket är i fas och inte på då de är ur fas och korrelerar. Det finns likheter mellan vintern 1978/79 och vintern 2009/10. För båda sker den kraftiga tryckökningen i början av november och därefter ser trycket ut att stabilisera sig. Det som skiljer vintern 1978/79 från vintern 2009/10 är att omslaget i NAO-indexet sker ungefär fem dagar efter att tryckökningen kulminerat och inte under själva tryckstigningen så som det gör för vintern 2009/10. Vintern 1969/70 skiljer sig åt på så sätt att NAO-indexet stiger i slutet av tryckökningen innan ett litet fall ses. Att händelseförloppen utvecklar sig så som de gör för det här tre vintrarna gör att de inte betraktas som möjliga korrelationer.

För både vintrarna 2009/10 och 2010/11 låg en omegablockering över Nordatlanten, vilket gjorde att kall arktisk luft kunde strömma in över norra Europa. Eftersom det för båda vintrarna sågs en korrelation mellan NAO-indexet och det totala trycket på norra hemisfären var tanken att det vid varje sådan korrelation möjligtvis även fanns någon form av blockering som fick den kalla luften att strömma in över Skandinavien. Detta antagande stämmer dock inte. Utöver vintrarna 2009/10 och 2010/11 syns det även omegablockeringar för vintrarna 1985/86 och 1984/85 i samband med att den arktiska luften strömmar in över norra Europa. För de andra vintrarna, bortsett från 2001/02 och 2005/06, syns inga nämnbara blockeringar över Nordatlanten. Detta betyder att korrelationen mellan NAO-indexet och det totala trycket inte nödvändigtvis åtföljs av en blockering men det är intressant att notera att det i samband med korrelationen syns omegablockeringar ute i Nordatlanten för sex av de analyserade vintrarna.

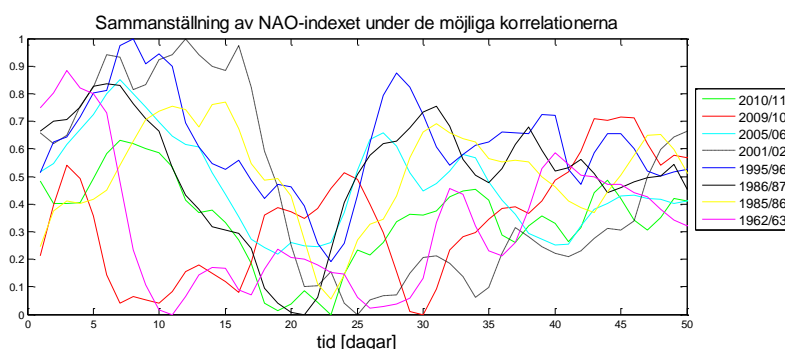
6.1. Sammanställning av yttrycken och NAO-indexen

För att jämföra händelseförloppet för de möjliga korrelationerna under de ovanligt kalla vintrarna 2010/11, 2009/10, 1995/96, 1986/87, 1985/86 och 1962/63 samt vintrarna 2005/06 och 2001/02 görs en sammanställning av yttryckets ökning under själva korrelationen men även hur NAO-indexet beter sig under den perioden. Sammanställningen av yttrycket görs på så sätt att startvärdet för alla vintrar utgörs av det datum då yttrycket börjar stiga och detta datum används även som startvärde för sammanställning av NAO-indexen. På så sätt ses ifall det finns några gemensamma drag mellan de åtta vintrarna och ifall händelseförloppen uppvisar liknande trender. Sammanställningarna av det totala yttrycket på norra hemisfären och NAO-indexet för de åtta vintrarna visas i Figur 6.1 respektive 6.2.



Figur 6.1. Sammanställning av det normaliserade totala yttrycket på norra hemisfären för perioderna 8:e nov-8december 2010, 5:e dec 2009-4:e jan 2010, 9:e feb-11:e mars 2006, 20:e nov-20 dec 2001, 9:e jan-8:e feb 1996, 4:e feb-6:e mars 1987, 4:e nov-4:e dec 1985 samt det normaliserade totala MSLP på norra hemisfären för perioden 16:e dec 1962-15:e jan 1963.

I jämförelse med de andra vintrarna är tryckstigningen under vintern 2009/10 brantare, ökningen sker på elva dagar. Även tryckstigningarna under 2010/11 och 1962/63 varar även de en kortare period, nämligen tio respektive tolv dagar. Däremot har de två kurvorna ungefär samma lutning som de resterande vintrarna. Figur 6.1 säger dock inget om för vilken vinter yttrycket ökar som mest eftersom yttrycket för de olika vintrarna är normaliserat var för sig. Under vintrarna 2005/06, 1995/96, 1986/87 och 1985/86 varar tryckstigningen mellan femton och tjugo dagar medan den under vintern 2001/02 är mer utdragen och vara i lite mer än tre veckor. Vintrarna 2010/11, 1985/86 och 1962/63 uppvisar alla i princip samma form på kurvan av yttrycket. Ökningen sker med ungefär samma lutning och därefter ser yttrycket ut att ha stabiliserat sig, bara små fluktuationer kan ses. Utseendet på kurvorna för vintrarna 2009/10 och 1995/96 är relativt lika. Båda har en kraftig ökning i början som följs av en kraftig minskning, varefter ännu en topp i yttrycket kan ses. Även om minskningen av yttrycket efter den kraftiga ökningen för vintern 1986/87 är mer utdragen i jämförelse med de för vintrarna 2009/10 och 1995/96 ses även där en topp till. Som nämnts innan är ökningen av yttrycket under vintern 2001/02 mer utdragen och därefter uppvisar den en i princip lika kraftig och utdragen minskning, vilket gör att dess utseende skiljer sig åt från de andra. Även yttryckskurvan för vintern 2005/06 uppvisar den en fallande trend, dock är den mer utdragen än den för vintern 2001/02 vilket gör att den ser ut att vara mindre kraftig. Vad som inte ses i Figur 6.1, i och med att startvärdet är det datum då tryckökningen börjar, är att varje ökning av det totala yttrycket föregås av en minskning. Omfattningen av denna minskning varierar från vinter till vinter men för alla vintrar finns den där.



Figur 6.2. Sammanställning av det normaliserade NAO-indexet för perioderna 8:e nov-8december 2010, 5:e dec 2009-4:e jan 2010, 9:e feb-11:e mars 2006, 20:e nov-20 dec 2001, 9:e jan-8:e feb 1996, 4:e feb-6:e mars 1987, 4:e nov-4:e dec 1985 och 16:e dec 1962-15:e jan 1963.

Kurvorna för NAO-indexet uppvisar alla samma trend i början, det vill säga en ökning innan själva omslaget till det negativa. Även om ökningen för vintern 1962/63 ser liten ut är den i själva verket

inte det, utan ökningen är kraftig bara det att den börjar den 10:e december vilket gör att den inte kommer med i Figur 6.2. Det samma gäller för vintrarna 1985/86 där ökningen sker någon dag innan vad som visas i figuren, 1986/87 där början på den kraftiga ökningen av NAO-indexet ses redan i slutet av januari och 2001/02 där ökningen sker en dryg vecka innan den period som visas i figuren.

Eftersom startvärdet är samma som det för yttryckets stigning för varje vinter kan NAO-indexen inte bara jämföras med varandra utan även med yttrycket. Över lag kan man säga att för de vintrar där ökningen av det totala yttrycket skedde under kortast tid slog NAO-indexet om som snabbast, det vill säga kortast antal dagar efter startvärdet. Motsatt gäller för de vintrar där ökningarna var som mest utdragna, det vill säga NAO-indexet slår om senare. Likheter kunde ses mellan yttryckskurvorna för vintrarna 2010/11 och 1962/63 och likheter kan även ses för NAO-indexen, dock är de något fasförskjutna. Båda uppvisar en minskning av NAO-indexet som sker under en dryg vecka och därefter sker en kontinuerlig ökning av indexet. Även kurvan för vintern 2001/02 har samma form, det vill säga en kontinuerlig och utdragen ökning av NAO-indexet efter fallet. Till skillnad mot yttryckskurvorna för vintrarna 2005/06, 1995/96, 1986/87 och 1985/86 uppvisar NAO-indexen likheter. Efter det kraftiga omslaget till det negativa ses en relativt kraftig ökning av NAO-indexet varefter kurvorna endast fluktuerar en aning. Även vintern 2009/10 uppvisar en ökning efter omslaget men en lika kraftig minskning ses direkt efteråt. Därefter stiger NAO-indexet kontinuerligt.

En jämförelse mellan NAO-indexet och det totala yttrycket för de analyserade vintrarna ger en uppskattning på hur många dagars skillnad det är mellan det att yttrycket stiger och NAO-indexet faller. En uppskattning av i hur många dagar tryckstigningen varar samt under hur många dagar fallet av NAO-indexet sker kan även vara intressant att jämför för de vintrar med en möjlig korrelation. Dessutom undersöks storleken på tryckökningen av det genomsnittliga yttrycket på norra hemisfären, det vill säga med hur många pascal det ökar. En sammanställning på detta för de vintrar som påvisar en korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären visas i Tabell 6.1.

Vinter	2010/11	2009/10	2005/06	2001/02	1995/96	1986/87	1985/86	1962/63
Skillnad mellan NAO-fall och SP/MSLP-stigning [dagar]	7	3	7	16	8	7	15	3
Antalet dagar trycket stiger under	10	11	16	23	18	19	18	13
Ökning av det genomsnittliga yttrycket [hPa]	3.60	2.74	4.40	6.74	5.42	5.42	4.48	4.24
Antalet dagar NAO-indexet faller under	12	4	12	5	15	14	8	8

Tabell 6.1. Skillnaden i antalet dagar mellan tryckstigningens start till dess att NAO-indexet börjar slå om till det negativa, under hur många dagar tryckstigningen och NAO-fallet varar och ökningen av det genomsnittliga yttrycket på norra hemisfären, angivet i hPa.

Ett samband kan ses mellan hur stor tryckökningen är och hur länge den varar. Den största tryckstigningen är också den som sker under flest antal dagar och de minsta tryckstigningarna är de som varar kortast tid. Dock syns inget tydligt samband mellan hur många dagar NAO-indexet faller och under hur många dagar tryckökningen varar. I skillnaden mellan fallet av NAO-indexet och tryckstigningen sticker dock vintrarna 2001/02 och 1985/86 ut i jämförelse med de andra. Skillnaden för de två vintrarna ligger på drygt två veckor medan den för de andra vintrarna ligger på under eller

strax intill en vecka. För övrigt är det väldigt svårt att se några samband och inga konkreta slutsatser kan dras.

7. Slutsats

Det är svårt att dra några verkligt konkreta slutsatser utifrån sammanställningarna av NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären. Vad som kan sägas är dock att utseendet på tryckkurvorna påminner om varandra och det samma gäller för NAO-indexen. Dessutom ser det ut som att det totala yttrycket påverkat NAO-indexet på något sätt, detta eftersom först syns en minskning av yttrycket varefter den kraftiga ökningen sker. Ungefär samtidigt som tryckökningen sker syns en liten ökning av NAO-indexet varefter det sjunker och de två kurvorna skär varandra. Det är även svårt att föreställa sig att den nordatlantiska oscillationen, som är ett tryckvariationsmönster och vars index är ett mänskligt påfund, skulle kunna påverka transporten av luft över ekvatorn. Mera troligt är att luften i samband med transporten omfördelas på något sätt sådant att det ger utslag på NAO-indexet.

Möjliga korrelationer har setts för sex av de nio ovanligt kalla vintrarna i norra Europa samt för 2005/06 och 2001/02. Detta gör det högst osannolikt att det är en slump att NAO-indexet och det totala yttrycket korrelerar så väl med varandra. Frågan är då vad den långväga kopplingen mellan NAO-indexet och ökningen av det totala yttrycket på norra hemisfären skulle kunna vara. Detta är något som skulle vara intressant att studera. Bevis på att Hadley-cirkulationen är den drivande faktorn i transporten av luft över ekvatorn har setts i form av att den meridionala komponenten av passadvindarna i troperna ändras på så sätt att en transport av luft från södra till norra hemisfären gynnas. Därför skulle även frågan om hur vida Hadley-cirkulationen har någon inverkan på omslaget av NAO-indexet och ifall det skulle kunna ge svaret på kopplingen mellan indexet och det totala yttrycket vara intressant att studera.

Tanken att korrelationen skulle följas av någon form av blockering ute i Nordatlanten är även den något som skulle kunna vara föremål för vidare studier. Det intressanta är att alla vintrar på 2000-talet, där en korrelation mellan NAO-indexet och det totala yttrycket på norra hemisfären ses, föregås av en omegablockering ute i Nordatlanten. Det samma gäller för vintrarna 1984/85 och 1985/86 samt att tillfälliga blockeringar syns efter korrelationerna för de flesta av de övriga vintrarna.

8. Referenser

Bluestein H. B, 1993: *"Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Volume 2: Observations and Theory of Weather Systems"*, Oxford University Press, sida 79-81.

Wallace J.M and Hobbs P.V, 2006: *"Atmospheric Science an introductory survey, second edition"*, Elsevier Inc, sida 14-15.

Aksel Walløe Hansen, Lektor vid Niels Bohr Institut, Köpenhamns Universitet (april till juni 2012).

The Schools of the Pacific Rainfall Climate Experience (SPaRCE),
http://sparce.evac.ou.edu/q_and_a/air_circulation.htm, hämtad juni 2012.

Physical Geography, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7p.html>, hämtad juni 2012.

Program in Atmospheres, Oceans and Climate (PAOC), Department of Earth, Atmospheric and Planetary Science, MIT, <http://paoc.mit.edu/labweb/notes/chap5.pdf>, hämtad juni 2012.

Department of Geology, University of Illinois at Urbana-Champaign,
<http://ijolite.geology.uiuc.edu/02sprgclass/geo117/ppts/Lect23.pdf>, hämtad juni 2012.

Aviation Weather, http://www.aviationweather.ws/019_The_General_Circulation.php, hämtad juni 2012.

North Atlantic Oscillation, <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>, hämtad april 2012

Max Planc Institute for Chemistry, Atmospheric Chemistry Department,
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1vs.html>, hämtad april 2012.

GRIB.US, <http://www.grib.us/>, hämtad maj 2012.

Climate Prediction Center, CPC,
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_index.html, hämtad juni 2012.
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_loading.html, hämtad juni 2012.
<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/>, hämtad april 2012.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF,
http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_full_daily, hämtad april 2012.
http://data-portal.ecmwf.int/data/d/era40_daily/, hämtad maj 2012.

read_grib r4 – a WMO GRiB file reader for MATLAB,
http://www.renci.org/~bblanton/files/ReadGrib/read_grib.html, hämtad april 2012.

8.1. Figurreferenser

- [1]. http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr_ED_Center/Easterly_Waves/Trade_Winds/Trade_Winds.html
- [2]. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>
- [3]. <http://www.meted.ucar.edu/afwa/climo/intro/print.htm>
- [4]. <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>
- [5]. Bluestein H. B, 1993: *"Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Volume 2: Observations and Theory of Weather Systems"*, Oxford University Press, sida 79-81.

9. Erkännanden

Tack till Aksel Walløe Hansen, Lektor vid Niels Bohr Institutet, Köpenhamns Universitet, för vägledningen och synpunkterna på arbetet.