



Stockholm
University

Bachelor Thesis

Degree Project in
Geochemistry 15 hp

Spatial och temporal variabilitet av stabila vattenisotoper i snö över centrala Sverige relaterad till nordatlantisk oscillation

Fatemeh Ghasemi



Stockholm 2015

Department of Geological Sciences
Stockholm University
SE-106 91 Stockholm

Sammanfattning

Vädret i Skandinavien bestäms delvis av den atmosfäriska tryckskillnaden mellan Island och Azorerna. Det finns ett index baserat på denna skillnad som kallas Nordatlantiska Oscillation-index (NAO). NAO förekommer alla årstider, men det är under vintern som den är särskilt märkbar för oss och den påverkar vintrarnas väder till cirka 20 % här i Sverige, och är därför i fokus för detta projekt. De stabila vattenisotoperna (kallas SWI, Stable Water Isotopes, och är vanligtvis ^{18}O och D) används i stor utsträckning som en indikator för återskapande av tidigare klimatförändringar och för att göra det möjligt för oss att förutse vårt framtida klimat.

Korrelationen mellan SWI och NAO undersöktes i detta projekt och studiens metoder kan användas för framtida forskningsprojekt, som möjliggör en bättre förståelse för hur man interpolerar information från klimatarkiv. Mitt arbete fokuserade på de tekniska och statistiska aspekterna för analys av SWI. Programmet som användes kallas ArcGIS. Ett andra mål med denna studie var att upprätta en heltäckande GIS-modell i ArcGIS, för att undersöka flera klimatparametrar såsom snödjup, vattenisotoper, densitet och deras variationer över olika tidsskalor.

I denna studie användes data från snöprovtagningar som samlades in i Sverige och Norge 2010-2013. Fältdatabeten utfördes när snödjupet förväntades uppnå sitt maximum (mitten av mars) och berörde olika områden från år till år. Områdena överlappar alla delvis en transekt som löper från Jämtlands kust och fortsätter i västsydvästlig riktning in i Sor-Trondelag i Norge. Projektet fokuserades därför på denna transekt, för att på ett optimalt sätt undersöka årlig variation i respektive mätningar och jämföra dem. Data täcker perioden mitten av mars från 2010-2013. Snöprover insamlades och fördes till Stockholms universitet och där mättes stabila vattenisotoper ($\delta^{18}\text{O}$ och δD) samt andra parametrar som densitet, snödjup och kornstorlek som var viktiga för detta projekt.

Det nuvarande självständiga forskningsprojektet fokuserar på GIS och statistisk bearbetning av fält observationer, för att karakterisera de rumsliga mönstren i snödjup och SWI-sammansättning, samt att kvantitativt undersöka förhållandet mellan variationer i NAO och SWI i snö.

Isotopsammansättningen för nederbörd beror på olika parametrar. En nyckelparameter är t.ex. ursprunget till vattenångan. Vinden för luftmassor över Västeuropa som är delvis påverkat av NAO-index. Av alla vintrar mellan 2010 och 2013 är vintern 2012 den enda med ett positivt NAO-index. Utöver detta hade 2010 och 2013 ett mycket lågt negativt NAO och dessa två vintrar hade också låga temperaturer och var snörika.

Resultaten av denna studie korrelerar väl med SMHIs temperatur- och nederbördsdata.

I	INTRODUKTION
II	BAKGROUND
II.I	Varför mäta vattenisotoper i snön?
II.II	Rayleigh distillation modell
II.III	Vad är NAO, hur påverkar den Sverige?
III	METOD
IV	RESULTAT
V	DISKUSSION OCH SLUTSATS
VI	BILAGA

Tack

Mina första tack går till Christophe Sturm för att ge mig möjligheten att vara en del av detta projekt och ger mig en inblick i hur ett vetenskapligt projekt genomförs, och ger en stor lärande upplevelse och utan honom jag skulle inte ha kunnat genomföra detta projekt. Jag är också mycket tacksam för att han hjälpte mig mycket under hela det här projektet utan att bli trött.

Jag är mycket tacksam till Marika Wennbon som hjälpte mig med ArcGIS programmet under det här projektet och som också hjälpte mig mycket med den tekniska delen av projektet. Hennes råd och kunskap har varit värdefulla och till stor hjälp.

Jag vill tacka Elisabeth Däcker och Carl-Magnus Mörth och alla andra människor som jag träffade under detta projekt.

Ett särskilt tack till min familj och vänner för deras stöd och hjälp under detta projekt, de uppmuntrar mig alltid.

INTRODUKTION

Denna studie är ett examensarbete i geokemi för Institutionen för geologiska vetenskaper vid Stockholms universitet under vårtermin 2014. Syftet med projektet var att på ett optimalt sätt undersöka årlig variation i isotopsammansättning i nederbörd under vintern mellan 2009 och 2013. I denna studie användes snöprovtagningsdata mellan 2010 och 2013 som samlades in i Sverige och Norge när den sista snön föll (mitten av mars). Men för att kunna jämföra dem och analysera dem bättre valde vi ett transektområde av förprovtagningarna, gemensamma områden som till största delen ligger i Jämtland. Snöproverna fördes till Stockholms universitet och där mättes deras stabila vattenisotopsammansättning ($\delta^{18}\text{O}$ och δD) samt andra parametrar som densitet, snödjup och kornstorlek som var viktiga för detta projekt. Mina resultat har slutligen jämförts med SMHIs nederbörds- och temperaturkartor.

Det finns olika sätt att uppskatta klimatvariationen bakåt i tiden (klimatarkiv) t.ex. trädringsbredd (tjockleken på årsringar), sedimentsammansättning (mikrofossil) och den stabila isotopsammansättningen av is. SWI avslöjar intressant information som gör det möjligt att undersöka klimatet. SWI (StableWaterIsotope) kan mätas i paleo-arkivmaterial t.ex. iskärnor, sjösediment, träcellulosa och droppstenar.

För att det ska gå att tolka mätningarna behövs kunskap; d.v.s. det behövs kunskap i hydrologi och speciellt i SWI för att förstå variationen i uppmätta data. De flesta naturligt förekommande isotoper är stabila, men några är radiogena. De stabila vattenisotoperna (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O , ^1H och ^2H eller D; främst används kvoterna $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ och D/H) används i stor utsträckning som ett index för tolkning av tidigare klimatförändringar och för att göra det möjligt för oss att förutse vårt framtida klimat.

Väte, till exempel är en blandning av tre isotoperna lättväte eller protium (innehåller en proton), tungtväte eller deuterium (innehåller en proton och en neutron) och tritium (innehåller en proton och två neutroner), den sistnämnda är dock radioaktiv och sönderfaller.

Nya bevis som tillhandahållits av globala och regionala SWI-aktiverade klimatmodeller antyder att SWI-signalen i nederbörden är ett starkt index för den synoptiska atmosfärens cirkulationsregim, t.ex. i Sverige är NAO den primära orsaken till vinterns klimatvariationer.

Vädret i Skandinavien bestäms delvis av den atmosfäriska tryckskillnaden mellan Island och Azorerna. Tryckskillnaden påverkar mycket under vintersäsongen och har mindre effekt under de varmare årstiderna (Barnston och Livesey, 1987; Rogers, 1990). Generellt sett är en högre tryckskillnad mellan Azorerna och Island under vintrar, associerad med ett högre NAO-index och starkare västliga vindar. NAO förekommer som nämnts under alla årstider och den påverkar vintrarnas väder till cirka 20 % här i Sverige (Thompson and Wallace, 1998). Enligt den senaste uppdateringen av NAO-index för vintrarna 2010-2013, har 2010 det lägsta NAO-indexet någonsin (NAO-index finns återgivet i figur 6, data är hämtade från NOAA, se <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/>). Eftersom provtagningen måste innehålla ett komplett arkiv över hela vinterns nederbörd valdes mitten av mars för själva provtagningen. NAO-index kan illustreras av SWI-isotopsammansättningen i snötäcket som sedan kan kopplas till klimaddynamik och analyseras med geostatistiska metoder.

Varför mäts vattenisotoperna i snön?

Om andelen tungt syre i snö (^{18}O) mäts fås ett mått på temperaturen när snön föll. Eftersom glaciärer magasineras snö som föll för länge sedan har man insett att de kan utnyttjas som klimatarkiv.

Fördelen med iskärnorna är att de erbjuder en obruten och exakt kronologi som sträcker sig långt tillbaka i tiden. Ur den aspekten är iskärnorna unika. Nackdelen är att det bara är där glaciärer kan bildas som man kan få långa serier, oftast då på nordliga breddgrader. Man kan alltså inte kartlägga hela jordens klimat på det här viset. Isproverna kan ge oss information på olika sätt t.ex. ju kallare klimatet blir desto mer stoft och föroreningar i atmosfären lägger sig på glaciärytan och den kompositionen kan avslöja om stoftet kommer ifrån vulkaner eller öknar, o.s.v. Man kan också hitta nedbrutet biologiskt material i isproverna med hjälp av vilka man kan rekonstruera kronologin.

Isotoper har samma atomnummer (Z) men annorlunda masstalet ($A=Z+N$), d.v.s. variationer i antal neutroner i olika isotoper av ett element. Exempelvis syre har tre stabila isotoper, varav 99,756% är ^{16}O , 0,039 % är ^{17}O och 0,205 % ^{18}O av naturligt förekommande syre.

De här tre olika koncentrationerna av stabila O-isotoper är återgivna med hjälp av en internationell standard för O-isotoper; (SMOW: Standard Mean Ocean Water). Förekomsten av ^{17}O är försumbar och tas därför inte hänsyn till i beräkningar av vattenisotopsammansättning (ekvation 1). ^{16}O är den vanligast förekommande isotopen av syre och eftersom ^{18}O understiger 1 %, uttrycks förhållandena i promille (‰).

$$\delta_D = \frac{\left(\frac{\text{HDO}^{16}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{sample}} - \left(\frac{\text{HDO}^{16}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{standard}}}{\left(\frac{\text{HDO}^{16}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{standard}}} * 10^3 \text{ ‰} \quad \delta_{O^{18}} = \frac{\left(\frac{\text{H}_2\text{O}^{18}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{sample}} - \left(\frac{\text{H}_2\text{O}^{18}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{standard}}}{\left(\frac{\text{H}_2\text{O}^{18}}{\text{H}_2\text{O}}\right)_{\text{standard}}} * 10^3 \text{ ‰}$$

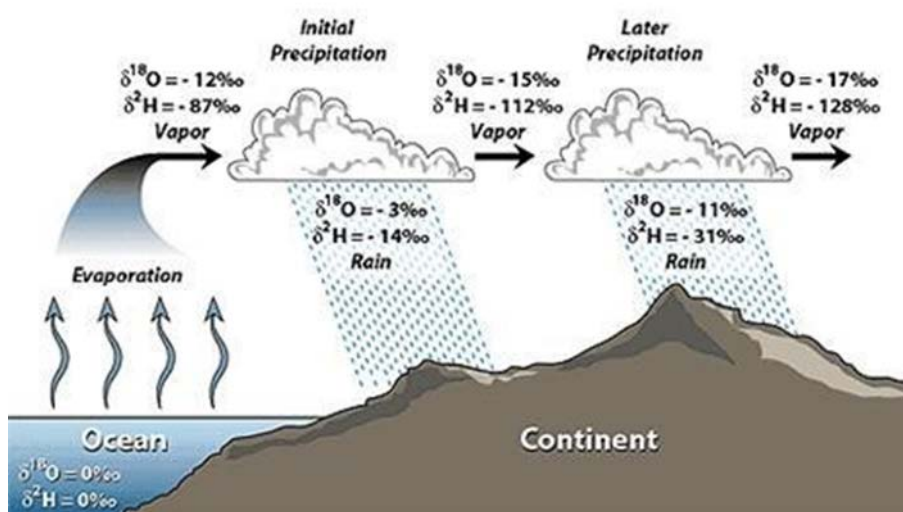
Ekvation 1: Beräkning av δD och $\delta^{18}O$; Rousseau (2010)

Vattenisotoperna DH^{16}O och H_2^{18}O har ett lägre ångtryck än H_2O vid samma temperatur, vilket betyder att de har ”svårare” att avdunsta och faller först vid nederbörd. Vattenisotoper kan därför liknas vid en termometer; andelen vatten och DH^{16}O respektive H_2^{18}O indikerar temperaturen när nederbörden föll, med andra ord så ändras mängden DH^{16}O som ett resultat av temperaturvariationen.

Rayleighs destillationsmodell

”Rayleighs destillationsmodell” beskriver sambandet mellan isotopsammansättningen i vatten/vattenånga som en funktion av kvarvarande mängd vatten/vattenånga. $\delta^{18}\text{O}$ -värdet i nederbörd (i vår fall snö) kan därmed ge information om ursprung och processer, samt om vattnets väg till nederbörd. Ju mer ånga som kondenseras till nederbörd, desto mer utarmad blir kvarvarande vattenånga på ^{18}O , vilket betyder att snön som faller ner senare har lägre $\delta^{18}\text{O}$ -värden. Geografiskt ökar mängden nederbörd i relation till höjdnivå; den är högre uppe på berg än i dalgångar. Om man förflyttar sig till högre höjder har vi mer nederbörd och $\delta^{18}\text{O}$ -värdet som är kvar i molnen blir lägre (figur 1). I mitt studieområde löper transekten över norska bergskedjan och vidare österut över Sverige. Denna topografiska skillnad förklarar varför ångan är utarmad på ^{18}O i Sverige och därmed har ett lägre $\delta^{18}\text{O}$ - och δD -värde än det norska havsvattnet i väst.

På samma sätt som isotopsammansättningen ändras då nederbörd faller blir vattenångan också anrikad d.v.s. de tyngre isotoperna kondenseras lättare för att bilda vattendroppar. Ju längre molnen rör sig från ursprunget till nederbörd, desto lägre $\delta^{18}\text{O}$ -värden har regndroppar och vattenånga, detta kallas geografisk destillation.



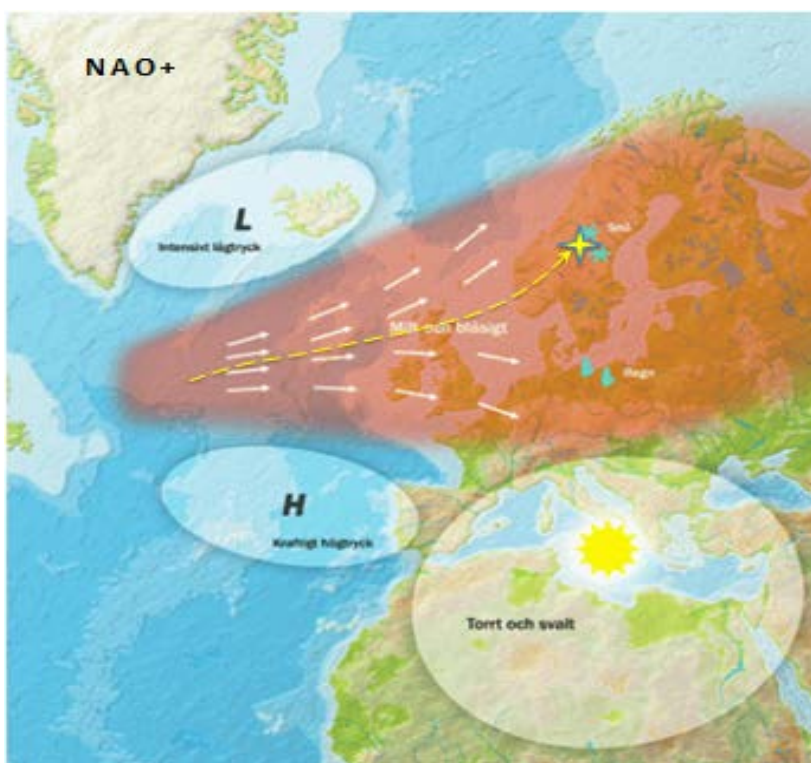
Figur1: Isotop fraktionering genom nederbörd(från <http://www.gns.cri.nz>)

När molnen passerat den norska bergskedjan och förflyttar sig vidare över Sverige, blir istället tidaspekten viktig för isotopsammansättningen. Det förekommer enbart försumbar avdunstning under vintrarna, så snön fortsätter bara att falla och därför blir det mindre och mindre ^{18}O i molnen. Till skillnad från den tidigare geografiska destillationen som nämnts ovan, i vilken det vertikala avståndet var avgörande, är det i den här processen istället det horisontella avståndet som bestämmer nederbörden. Den senare processen kallas ”continental rain out process”.

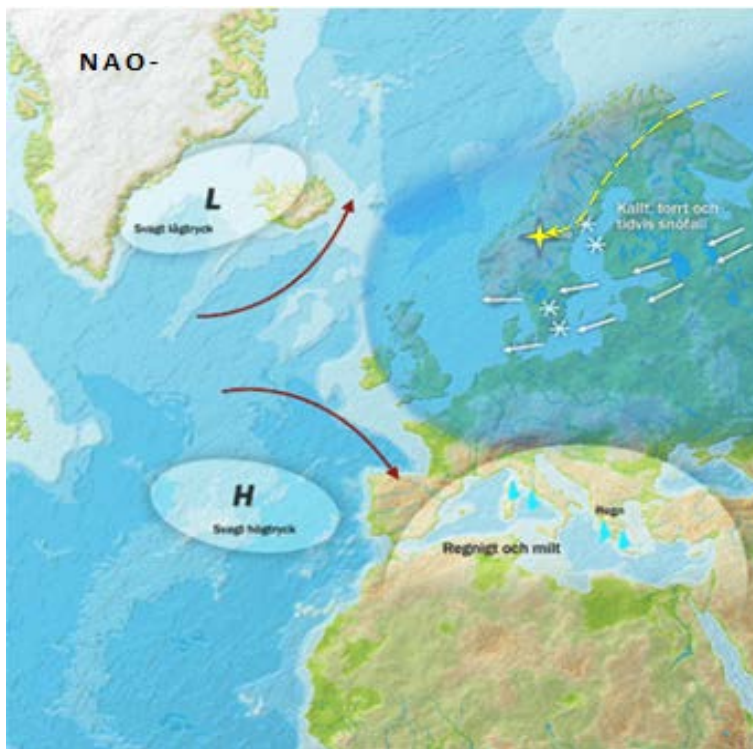
De båda processerna är beroende på temperaturen. Om NAO ändras, då ändras också temperaturen, men det beror också på varifrån molnen kommer då detta påverkar hur mycket ^{18}O och D det finns från början i molnen.

Vad är NAO och hur påverkar den Sverige?

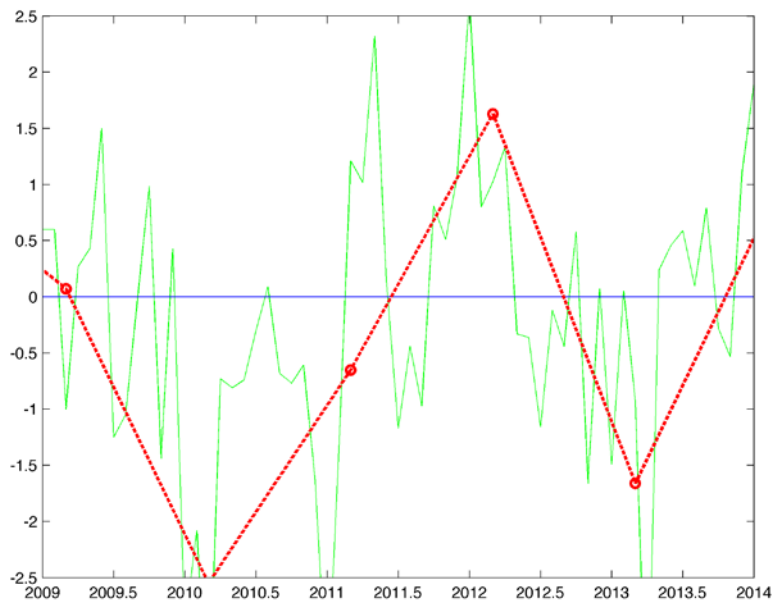
Vädermönster i norra Europa bestäms delvis av den atmosfäriska tryckskillnaden mellan Island och Azorerna och som kallas Nordatlantiska Oscillationen-index (NAO). Det kan vara positivt eller negativt. När det är positivt är den Skandinaviska vintern varm och våt, eftersom luftmassorna kommer främst från Atlanten (ett starkt lågtryckssystem sker över Island och ett högtryckssystem sker över Azorerna). Detta beror på skillnaden mellan trycket över Nordpolen och trycket över Azorerna som är ganska lågt (figur 2). När det är negativt är den Skandinaviska vintern torr och kall, eftersom luftmassorna kommer från Sibirien och norra Ryssland (figur 3). I det här fallet ligger ett svagt lågtryckssystem över Grönland och ett svagt högtryckssystem strax väster om Portugals kust. Till exempel var NAO-index under vintern 2010 och 2011 extremt negativt och det var kalla vintrar i Nord- och Centraleuropa.



Figur 2: Positivt NAO index (bilden tagen från: <http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/darfor-far-vi-vargavintrar>). Bilden visar att vädret blir torrt och svalt i Medelhavetsområdet medan det blir mildare och mer nederbördsrikt i Sverige när NAO-index är positivt.



Figur 3: Negativt NAO index(bilden tagen från: <http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/darfoMedelhavetrgavintrar>). Figuren visar att vädret blir mildare och fuktigare i medelhavet medan det blir kallare och torrare i Sverige när NAO-index är negativt.



Figur 4: NAO-index mellan 2009 och 2014, hämtas från:<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/>

III METOD

Snöprovtagning

Snöprovtagningar genomfördes 2009 till 2013 och studenter deltog i fältarbetena. Snöprovtagningarna överlappade delvis varandra i olika provtagningsområden från norr till söder i Sverige. Vår första utmaning var att hitta ett transektområde som inkluderade provtagning från alla år, för att vidare kunna analysera och jämföra data (se resultat för karta, figur 8).

För att kunna analysera snöprovtagningsdata i ArcGIS sorteras data års vis i en Excel-fil med informationen som är relevant för ArcGIS-programmet. Vi ordnar namn på kärnan, namn på skivor var femte cm i kärnan (som motsvarar snödjup), longitud, latitud, X och Y avstånd från punkt till linje i kartesiska koordinater [$X=R \cos(\text{lat}) \sin(\text{lon}-\text{lon}0)$, $Y=R \cos(\text{lat}0) \sin(\text{lat}) - \sin(\text{lat}0) \cos(\text{lat}) \cos(\text{lon}-\text{lon}0)$], tid(år), densitet (kg/m^3) och $\delta^{18}\text{O}$, δD för varje år. Eftersom data saknades i flera områden 2013 fanns det ibland inte longitud och latitud vilket gjorde att data kompletterades med hjälp av det GPS-minne som använts under fältarbetet. Data exporterades till CSV-filer (Comma-Separated Values) för varje position och för varje SWI-värde under 2012-2013. CSV-filformatet underlättar utbyte av data mellan de olika programmen, t.ex. Excel och ArcGIS.

För att kunna analysera snöprovtagningen från fältarbetarna behövdes en höjddata-karta (DEM= Digital Elevation Modell) som laddades ner från Norska kartverket och Lantmäteriet (<http://www.slu.se/sv/bibliotek/soka/digitala-kartor/lantmateriets-kartor/och> <http://www.kartverket.no/kart/gratis-kartdata/lisens/>). Upplösningen i höjddata för kartan var för Norge 50 m och för Sverige 50 m. Eftersom transektområdet började precis vid havet i väst fanns ingen snö i början av transektområdet. Sedan löper transekten i östnordöstlig riktning upp för norska bergskedjan, nedför densamma och sedan ut mot Östersjön (figur 5).

Efter att höjddata erhållits så kombinerades snöprovtagningsdata (CSV-filens data) med DEM-datasetet d.v.s. i praktiken betydde det att en ny kolumn tillfördes CSV-filen som visar höjden för varje snöprovtagningspunkt (i data fanns då för varje provtagningspunkt förutom data som angavs ovan, nu också höjd över havet).

Lutningen visar värdet på lutningen i grader som dominerar i varje punkt. Lutning är alltså graden av maximal förändring i Z-värdet. Användningen av en Z-faktor är väsentlig för korrekta snöprovtagningarnas noggrannhet. Utbudet av lutningsvärden är 0 till 90 grader. En plan yta är 0 procent, en 90 graders yta är 100 procent vertikalt.

Lutning (hur stor lutning det är) och aspekt (lutningens riktning) spelar stor roll när vi vill uppskatta till vilken grad snö har smält. Ju mer vertikal ytan blir, desto större blir snösmältningen på ytan, d.v.s. snön smälter inte så mycket på en plan snöyta. Snö som faller på plana ytor påverkas inte av lutning som påskyndar av smältningen och därför är data från dessa områden mer representativ för hela nederbördsperioden. Lutningens riktning spelar en stor roll i snösmältningen. Om vi har en lutningsriktning mot norr, smälter snön väldigt lite eller inte alls. Men om lutningens riktning är mot söder kan det smälta väldigt mycket på grund av solens inverkan. Skillnaden går att se under en promenad en fin snöig vinter dag, då det finns snö nästan överallt - de backar som lutar mot söder kan vara snöfria under vintern medan de backar

som lutar mot norr har snön kvar. Snön på norr sluttningar smälter långt senare under t ex juni månad eller till och med senare under sommaren.

För att kunna skapa en aspekt karta (lutningens riktning) använde vi samma metod i ArcGIS liksom för lutning (slope) och tillslut har vi en ny kolumn med aspekt för varje snöprovtagningpunkt (varje punkt definieras med en siffra i grader för lutningens riktning). Detta har automatiskt gett 10 klasser men vi ändrar de manuellt för att kunna visa varierande aspekt grader med olika färger för varje år, vilket gör att man har möjlighet att analysera eller jämföra data.

Data exporterades och i filerna sparades nu också höjddata, lutning och aspekt värden. Exportfilerna rensades också så att i tabellerna behöll endast data. För att skapa en gradient över provpunkterna har jag valt använda kriginginterpolation på en semi-kriging på en semivariogramanalys av data X,Y, Z.

RESULTAT

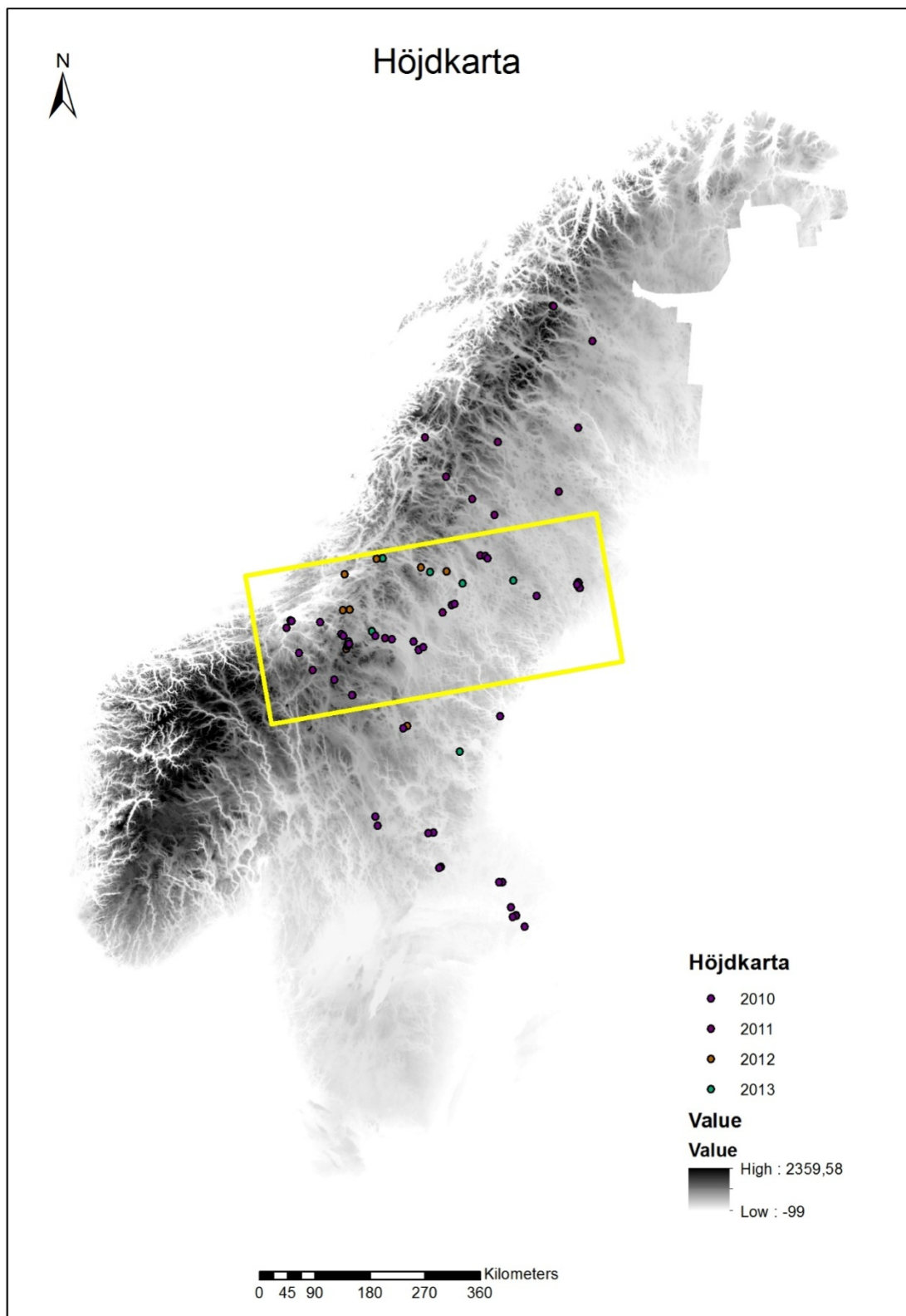
Med hjälp av ArcGIS-kartor och statistisk bearbetning av fältobservationer går det att analysera SWI-sammansättning samt att undersöka kvantitativt förhållandet mellan variationerna i NAO och SWI i snö. SWI avslöjar intressant information som gör det möjligt att undersöka klimatet. Vi inser att det finns en korrelation mellan SWI och NAO-index under vintern i Skandinavien. Om NAO-index förändras, då ändras också temperaturen, men påverkar också på nederbörds mängden.

Vi har två stora lutningar i vårt studieområde som ligger i delvis i Norges fjällkedja och utanför är det mer eller mindre plana ytor Öster ur ända fram till östersjön.

Rayleighs destillations modell är den bästa förklaringen för $\delta^{18}\text{O}$ värdenas variation i den studerade transekten. Variationen i $\delta^{18}\text{O}$ med altitud och longitud samt höjd- diagram bekräftas med båda geografisk och rain out destillation processer, d.v.s. atmosfärisk transport från låg till hög latitud och altitud (geografisk destillation process). I dessa processer är ^{18}O förångas vid en relativt hög temperatur, och sedan ångan reser till ett område med lägre temperatur när den kondenserar. Ju längre avståndet blir från den västra kusten, desto mer utarmat blir molnen på ^{18}O och $\delta^{18}\text{O}$ blir då lägre (rain out destillation process, Figur 11).

Transektområde

Områdena överlappar alla delvis en transekt som löper från Sor-Trondelag i Norge och fortsätter i östnordöstlig riktning och vidare ut mot Jämtlands kust. Eftersom transekten löper över den norska bergskedjan har vi två större sluttningar i vårt studie område, på var sin sida om ryggen på Norges fjällkedja och topografin planar därefter ut mot Östersjön (figur 5).Projektet fokuserades på denna transekt, för att på ett optimalt sätt ge en tydlig bild av årlig variation i respektive mätningar och jämföra dem.

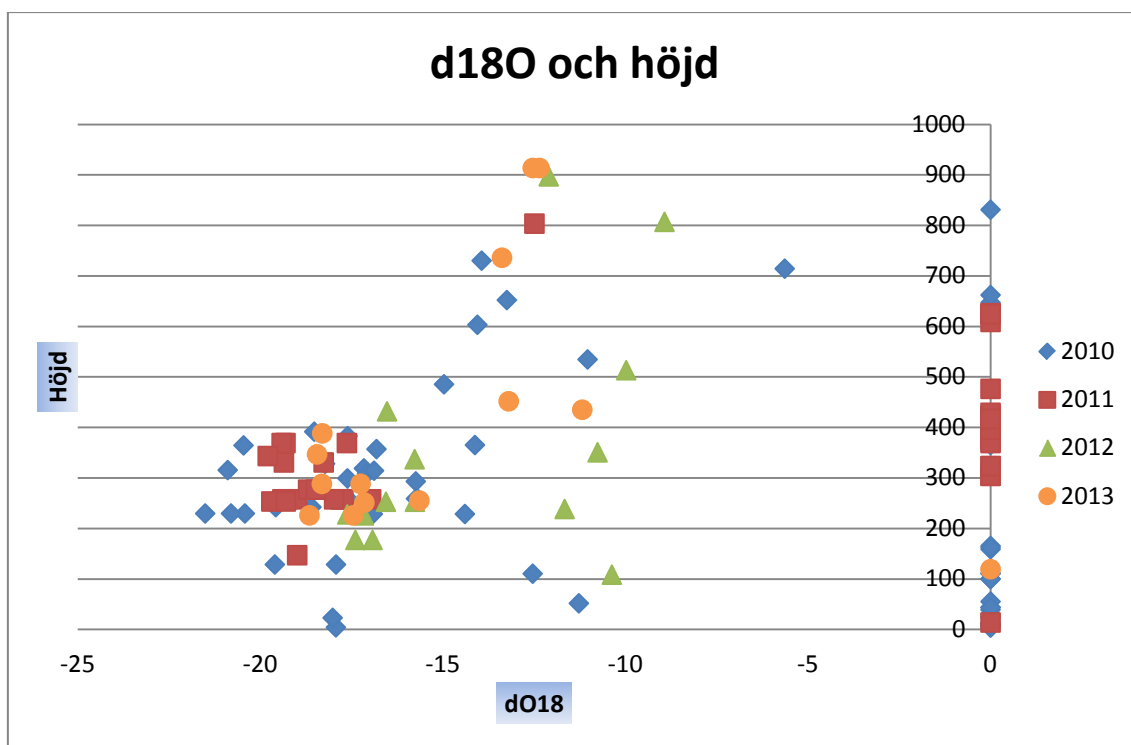


Figur 5: Höjdkarta (Digital Elevation Modell eller DEM), skapad från ArcMap 10.1.
(Jämtlands transekt: Profilen börjar nära havet i väst och löper sedan över bergskedjan och ut mot Östersjön.)

Höjd

Tabell 3 visar $\delta^{18}\text{O}$ -variation med höjden upp till 1000 m. Det finns ett kluster av $\delta^{18}\text{O}$ värde för alla år. Klustret av ^{18}O varierar mycket trots att höjden är rätt jämn men det finns en svag trend i isotopvärdet – det blir högre vid högre höjd över havet. År 2012 som har ett positivt NAO-index, har mer nederbörd och vi har ett högre $\delta^{18}\text{O}$ -värde i allmänhet jämfört med andra åren som har ett negativt NAO-index.

Högre upp i terrängen hittar vi färre av de tyngre isotoperna och fler av de lättare isotoperna, eftersom de tyngre isotoperna faller först (rain out destillation modell). Om man förflyttar sig till högre höjder har vi mer nederbörd och $\delta^{18}\text{O}$ -värdet som är kvar i molnen blir lägre för att ^{18}O faller ut först. Det betyder att när molnen stiger upp mäts ett lägre $\delta^{18}\text{O}$ -värde i moln och nederbörd. Denna process förklarar varför ångan är utarmad på ^{18}O och därmed har ett lägre $\delta^{18}\text{O}$ och δD värde än havsvatten (geografisk destillation process). I dessa processer förångas ^{18}O vid en relativt hög temperatur, och ångan förflyttar sig sedan till ett område med lägre temperatur där den kondenserar och faller (tabell 3; höjden 0-900m).

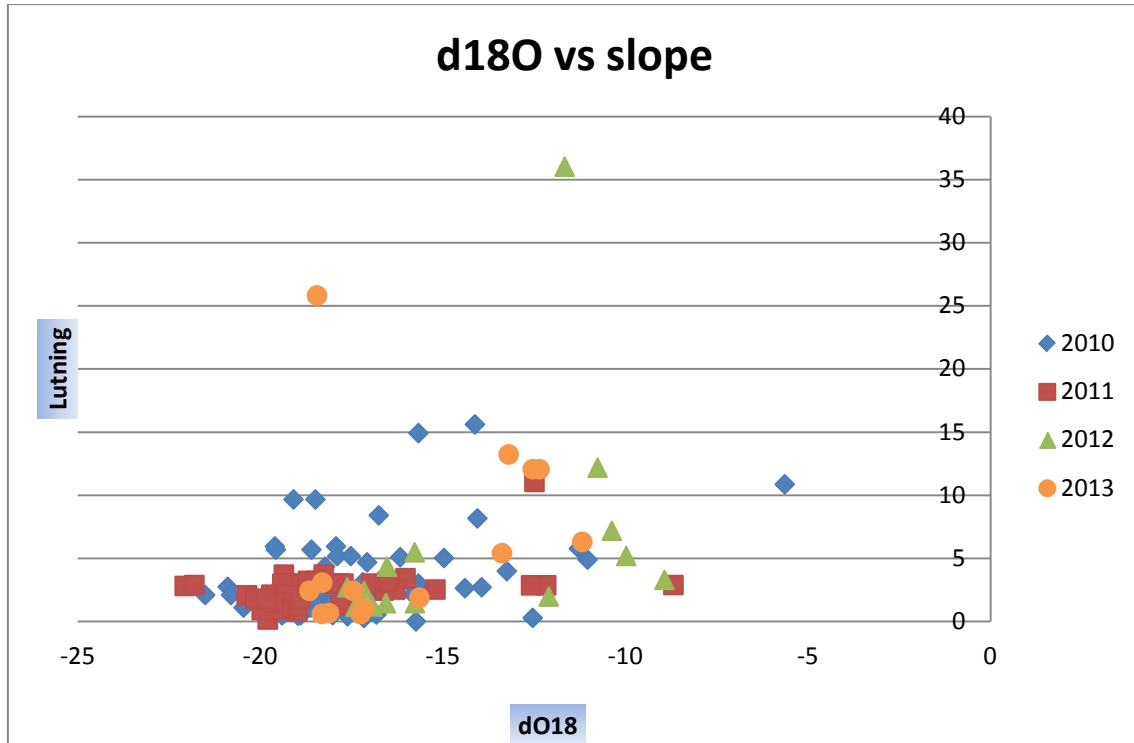


Tabell 1: $\delta^{18}\text{O}$ -variation med höjd över havet.

Slope

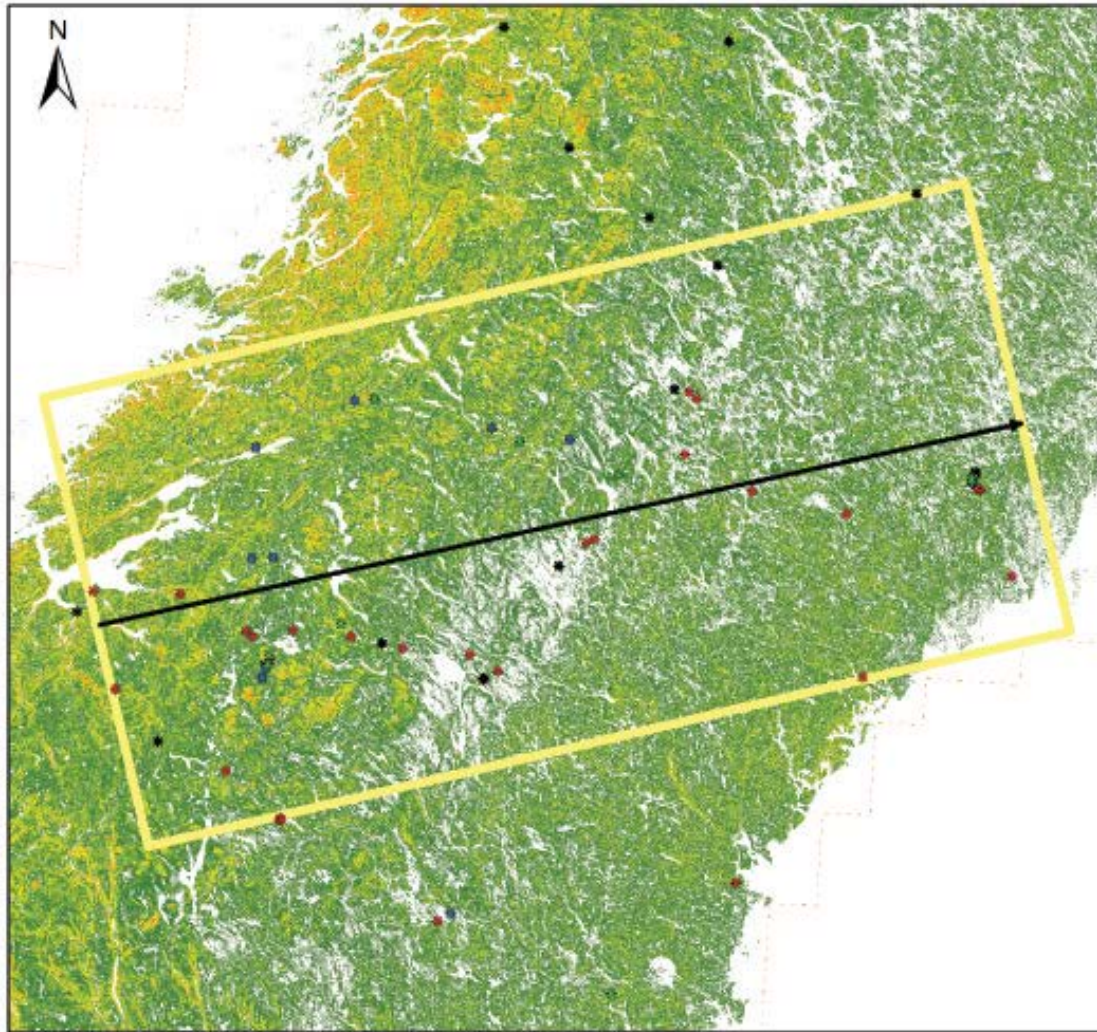
Tabell 2 visar $\delta^{18}\text{O}$ -variation jämfört med lutningsgrader mellan 0-40, en plan yta har 0 graders lutning och en yta med 90 graders lutning är 100 procent vertikalt.

Ju mer vertikal ytan blir, desto mindre snösmältning får den. Det vill säga snön smälter inte så mycket på en plan snöyta från början av nederbörden. De flesta punkterna sluttar svagt (mindre än 5 grader, figur 6) och de har $\delta^{18}\text{O}$ värde mellan -20 och -15. Lutningen har mindre betydelse för $\delta^{18}\text{O}$ -variation eftersom alla punkter ligger ungefär på samma lutning men datan överensstämmer fortfarande med NAO-index i grafen. Året 2012 som NAO-index är positiv har vi mer $\delta^{18}\text{O}$ eftersom vi hade mer nederbörd (gröna trianglar).



Tabell 2: $\delta^{18}\text{O}$ variation med lutning.

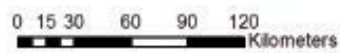
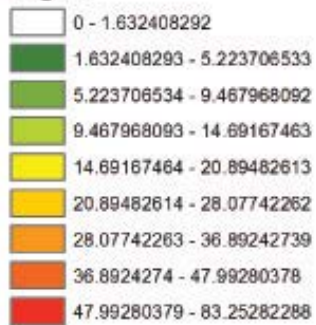
Slope



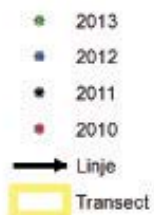
Legend

Slope

Degree



Snöprovtagning



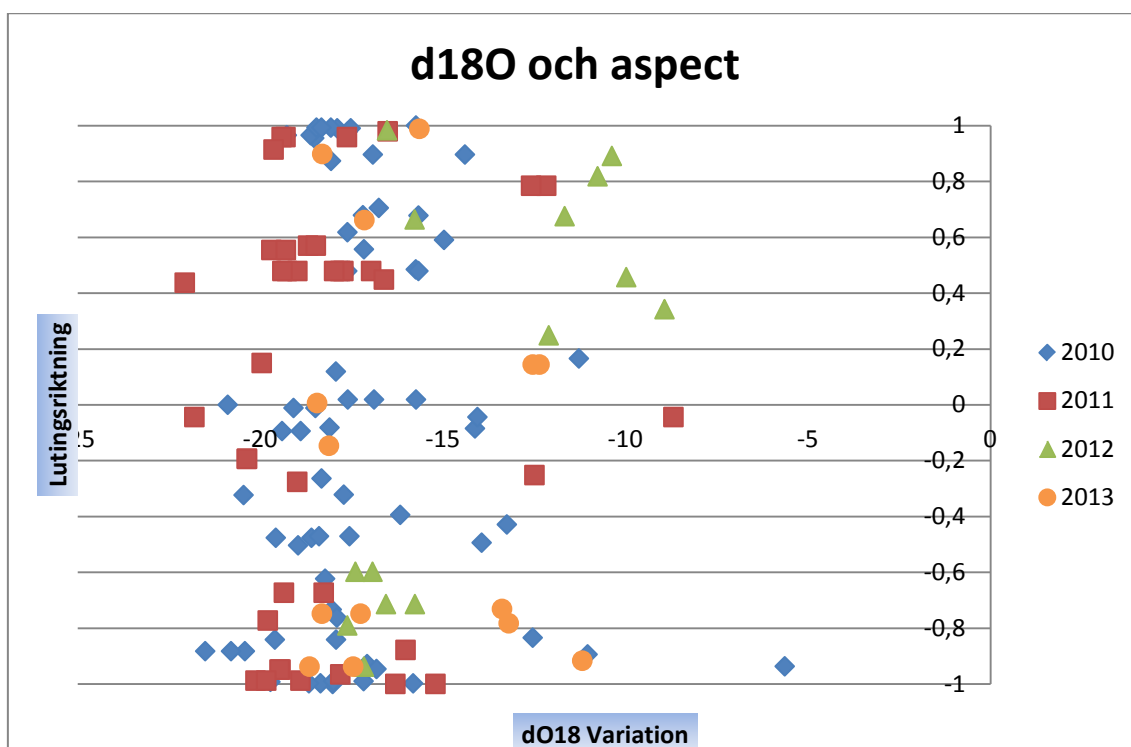
Figur 6: Lutningskarta, lutningsvärde mellan 0 till 90 grader (slope), skapad från ArcMap 10.1

Aspekt

Lutningsriktning (aspekt) har större betydelse när NAO-index är positivt eftersom vi har mer snösmältning.

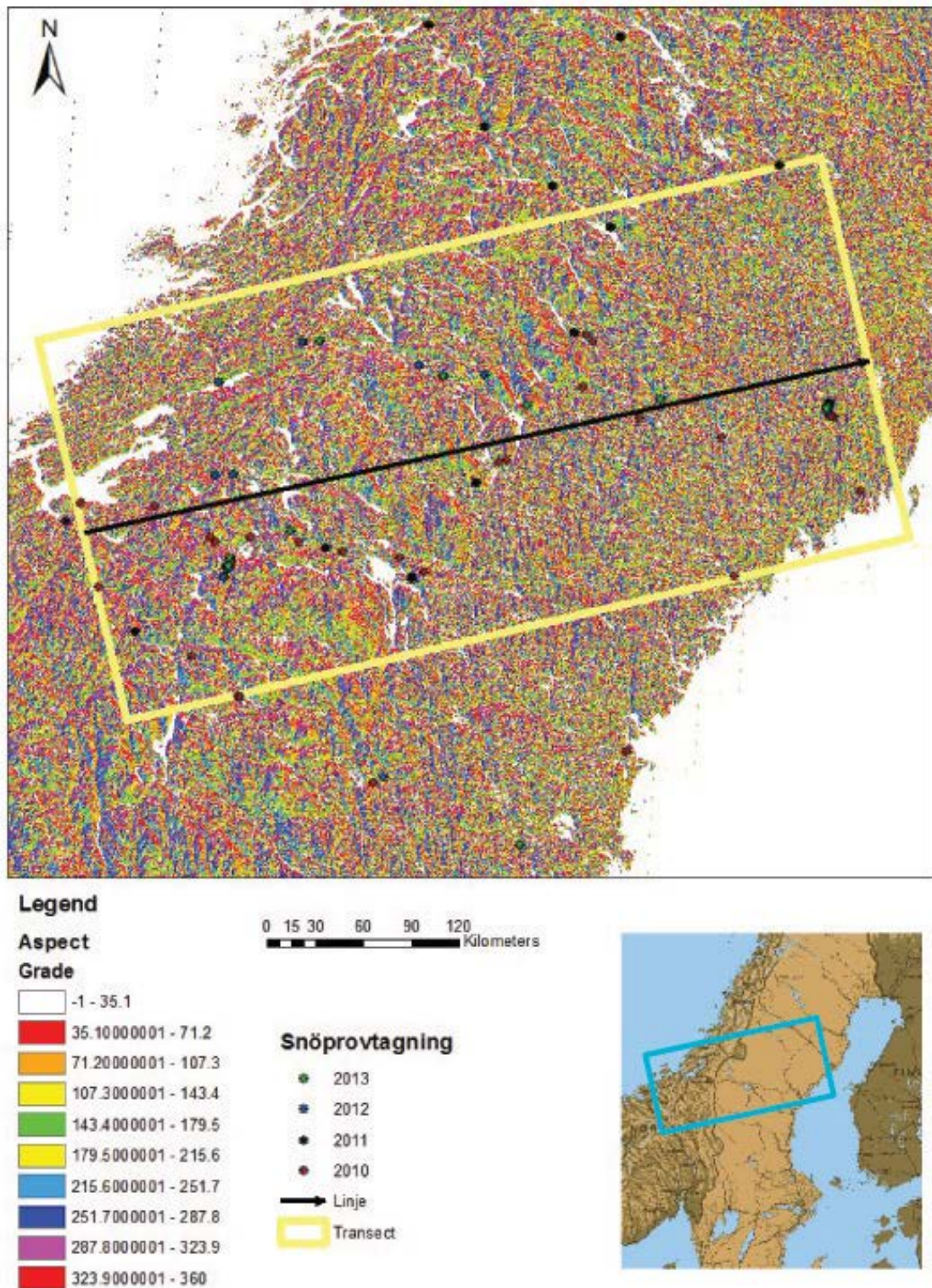
Vi har inga extrema lutningar i transektområdet och enligt lutningskartan har vi mindre än 5 grader lutning i mer än 90 procent av transektområdet. Lutningskartan visar också att transektområdet är ganska platt och därmed är snösmältningsrisken relativt liten. Aspekt definieras som lutningens riktning d.v.s. visar riktningarna på lutningen. Gula och gröna färger visar lutningar mot söder och rosa och röda färger visar lutningar mot norr. Man kan se skillnaden mellan lutning mot söder eller lutning mot norr (figur 7). När NAO-index är negativt, faller det mindre snö och vi får kallare väder, vilket leder till mindre snösmältning. Om man går mot söder (mot→+1), $\delta^{18}\text{O}$ är större (-10); men om man går mot norr (mot→-1) är $\delta^{18}\text{O}$ mindre (-18). Vi har större snösmältning mot söder än norr; nämligen ^{18}O som är en tyngre isotop stanna kvar i snön men lättare isotop som ^{16}O smälter mest och utarmat i den återstående snön (tabell 3, $\delta^{18}\text{O}$ variation med lutningsriktning).

Först verkar aspekten inte ha så stor roll och generellt ligger många punkter mellan -20 och -15 oavsett i vilken riktning de pekar förutom 2012 då man kan se en skillnad i de gröna trianglarna. Detta korrelerar med det positiva NAO-index värde som nämnt ovan är unikt för 2012.



Tabell 3: $\delta^{18}\text{O}$ -variation med lutningsriktning (aspekt).

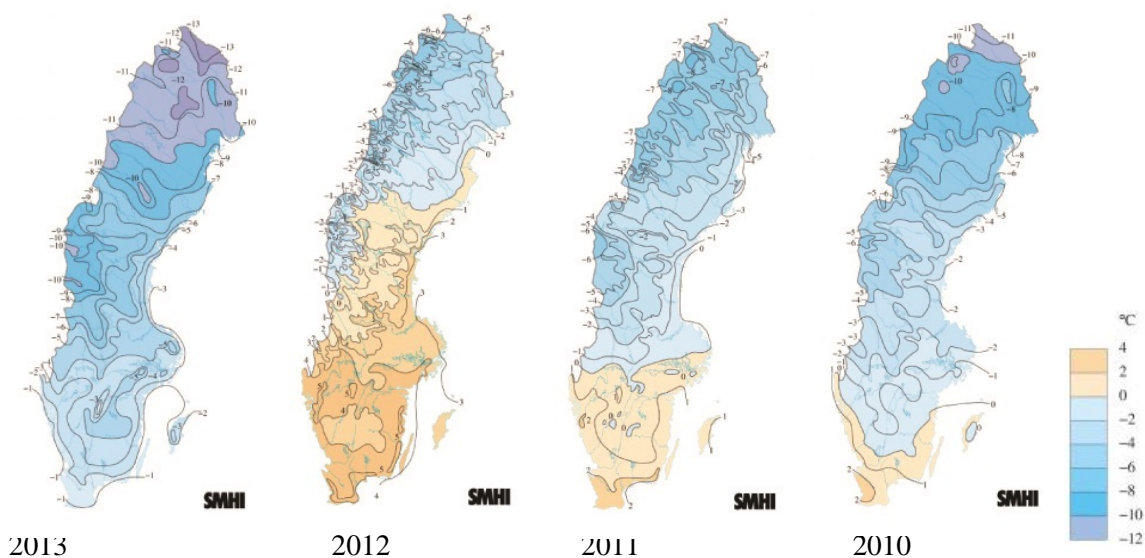
Aspect



Figur 7: karta överlutningens riktning, skapad från ArcMap 10.1; (Det mäts medurs i grader från 0 (norr) till 360 (återigen rakt norrut). Flacka områden som inte har någon nedåtlutande riktning ges ett värde på -1)

SMHI temperatur kartor

Figur 8 visar kartor över temperaturen i mars månad för åren 2010-2013. Kartorna ger möjlighet att jämföra temperatur och NAO-index för samma period. Figuren visar att 2010 och 2013 var mycket kallare än övriga år och att 2012 var ett mycket varmt år medan 2011 ligger temperatur mässigt någonstans mittemellan 2010/2013 och 2012. Om man jämför NAO-grafen (se figur 4 i introduktionen) med temperaturkartor från SMHI kan man förstå att temperaturen är beroende av NAO-index. NAO-värdena är negativa för 2010 (-2.5) och för 2013 (-1.5) men positivt för 2012 (+1,5) medan NAO-värdet för 2011 (-0,5) är svagt negativt. Det överensstämmer med NAO-indexgrafen - när NAO-index är positivt förväntar vi oss varmare väder och högre temperaturer.

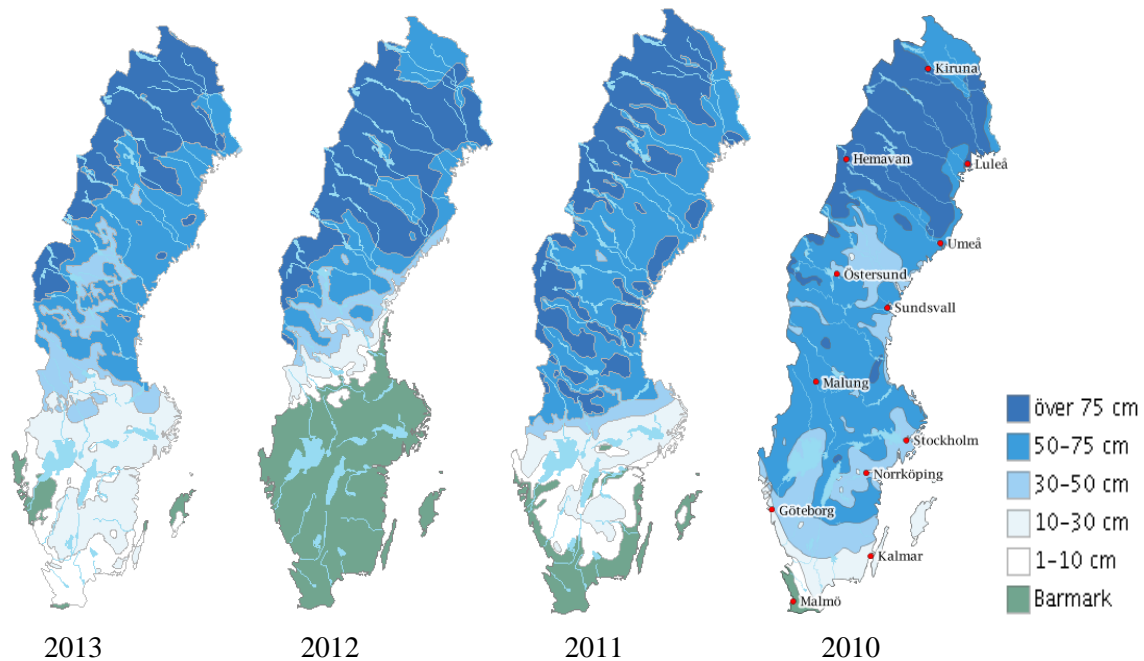


Figur 8: Medeltemperatur mitten av Mars för Sverige 2013-2010 från vänster till höger Hämtas från: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/2.1353/monYrTable.php?month=3&par=tmp>

SMHI Nederbörd kartor

Snödjupet i mars-månad under perioden 2010-2013 visas i figur 9. Vintern 2011-12 var det barmark som ett resultat av att NAO-index för den vintern var positiv, vilket normalt betyder varmare och fuktigare väder.

Man kan förstå från de här kartorna att under 2012, som NAO-värdet var positivt, hade vi mer nederbörd och temperaturen var högre, d.v.s. att vi hade varmare och fuktigare väder det här året. Åren 2010 och 2013, som hade negativt NAO index, hade vi kallare och torrare vintrar vilket betyder att vi hade mindre nederbörd och högre temperaturer i Sverige. Sist men inte minst har vi året 2011 som ligger mellan värdena 2010 och 2013.

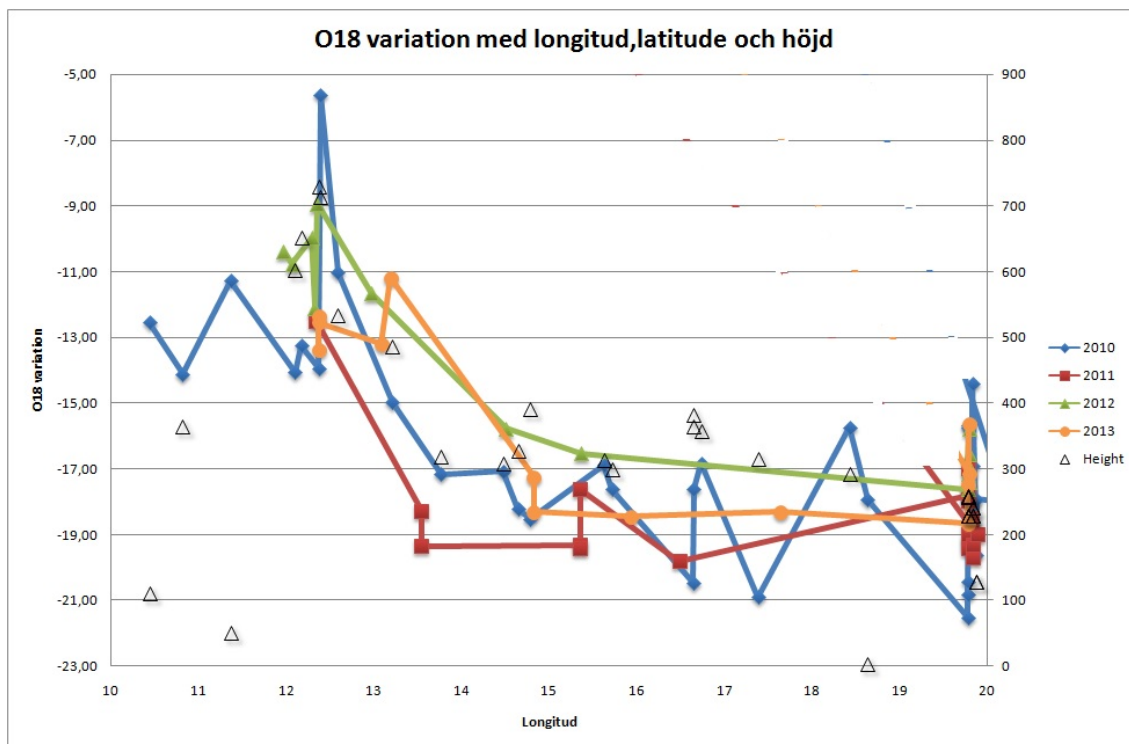


Figur 9: Snödjupskartor över Sverige i mars 2010-2013, hämtas: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/2.1353/monYrTable.php?month=3&par=nb>

Diskussion

Figuren nedan visar $\delta^{18}\text{O}$ värden i transektområdet; vänster y-axel visar $\delta^{18}\text{O}$ som varierar mellan (-23 till -5), höger y-axel är höjden som höjas till 900m, x-axel visar longituden mellan 10-20 och vita trianglarna visar latitud för varje punkt samt de färgade kurvorna är höjden årligen för varje punkt som förändras med nederbördsmängden. Figuren visar att när latituden går upp så går $\delta^{18}\text{O}$ upp och när latituden går ner så går $\delta^{18}\text{O}$ ner också. Om man skapar en kurva mellan alla vita trianglarna så skulle den kurvan vara ganska lik de färgade kurvorna. Det vill säga de färgade kurvorna visar ungefär samma sak som vita trianglar kurva.

Figuren visar också ett betydligt högre $\delta^{18}\text{O}$ värde i 2012 jämfört med 2013 och 2011 och det överensstämmer med NAO-index grafen; NAO-index är positivt i 2012 nämligen mer snö och varmare väder än 2013 och 2011 som har negativa NAO-index.



Figur10: $\delta^{18}\text{O}$ variation med longitud, latituden och höjden, (y-axeln höger är höjden (0-900m), y-axeln vänster är $\delta^{18}\text{O}$ (-23 till -5), x-axeln upp longitud (10-20), vita triangelar är altitud för varje punkt, färgade kurvorna är höjden årligen för varje punkt som varierar p.g.a. snömängds)

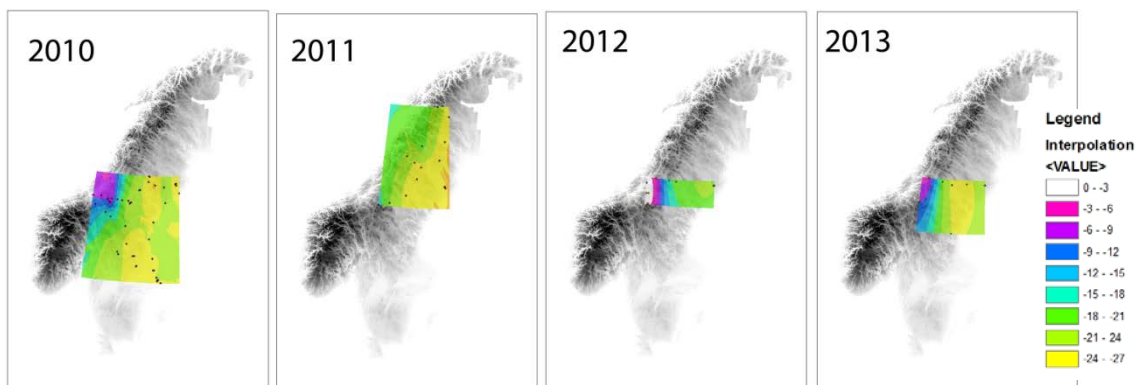
Det finns en högre oväntade av $\delta^{18}\text{O}$ mängd i östra delen av figuren 10. Där finns kanske en blandning av de atlantiska och baltiska luftmassorna. Eftersom baltiska luftmassor är anrikade på ^{18}O (högre $\delta^{18}\text{O}$ värden) blandas med utarmade atlantiska luftmassor.

Jag vill bara tillägga en fundering som jag hade med mig hela tiden under det här projektet och som kanske är intressant för andra också; vi får hela tiden höra att jorden blir varmare och varmare, men varför händer inte det också i Sverige d.v.s. varför har vi haft hårdare vintrar och extrem kyla här i Sverige de senaste åren? Allt detta beror på NAO-index som handlar om lufttrycksförändringar över nordatlanten och Azorerna. Är NAO-index positivt kan det ge en mild och snöfattig vinter och är NAO-index extremt negativt kan det ge en extremkall och snörik vinter.

Interpolation med kriging i transektområdena

Interpolation ger en möjlighet för oss att få värden för ett helt område utifrån ett antal provpunkter. En enkel interpoleringsmetod är att ge varje okänd punkt samma värde som närmaste kända punkts värde. I vårt studieområde är snöprovtagningarnas platser olika för varje år och med den här metoden uppskattas värden för en viss plats enligt den närmaste punkten. Den här metoden är inte lämpligast eftersom interpolationsvariabler förändras gradvis över en yta. Istället för en enkel geometrisk interpolation, baseras kriginginterpolation på en semi-kriging på en semivariogramanalys av data X,Y,Z; det är baserat på ett stokastisk och geostatistisk interpolationsmetod. Det ger oss ett samband mellan de olika avstånden från

snöprovtagningen för varje år. SMHI och andra institut använder ofta en enkel interpolation. Detta har en fördel, och det är att man kan ge platser/punkter en automatisk uppskattning av osäkerhet med konfidensintervall. Det här är anledningen till att interpolationskriging används. Då det blev ett problem med att olika höjd värden presenterades för varje punkt/plats bestämde vi att bara använda respektive total värde för varje punkt/plats istället, vilket löste problemet. Om man högerklickar på kriginglayer>Properties> 9 Klass i ArcGIS 10.1 måste man ändra den på samma sätt liksom lutning och aspekt.



Figur 10: Interpolationskriging 2010-2013, Skapad i ArcGIS 10.1. Rosa och vita färger representerar värden med högre $\delta^{18}O$ värden. Gula och ljusgröna representerar motsatsen, vilket betyder lägre $\delta^{18}O$ värden.

Man klassificerar dem manuellt av den orsaken att den kriging som gjordes inte hade likadana längder från centerpunkten samt att klassindelningen inte hade samma färg för varje år. När alla år fick samma färg ses tydliga mönster (Figur 9). Rosa och vita färger representerar värden med högre $\delta^{18}O$ värden. Gula och ljusgröna representerar motsatsen, vilket betyder lägre $\delta^{18}O$ värden.

SLUTSATS

Denna aktuella studie visar hur NAO-index påverkar Sveriges vintrar nämligen hur NAO-index inverkar på temperatur- och nederbördsmängd under vintrarna 2010-2013. Vi undersöker flera olika parametrar t.ex. höjd, lutning, aspekt relativ med $\delta^{18}O$ mängd och tolka de enligt vår uppfattning.

Isotops gradient illustrerar hur Rayleighs destillations modell definieras mellan väst – öst i vår transekt område. De båda geografisk och ”continental rain out” destillation processer är beroende av NAO-index eftersom om NAO-index är negativt vi har mindre snömängd och även kallare temperatur, d.v.s. ingen smältning eller avdunstning. Rayleighs destillations modell är den bästa förklaringen för $\delta^{18}O$ värdenas variation i den studerade transekten. Variationen i $\delta^{18}O$ med altitud och longitud samt höjd- diagram bekräftas med båda geografisk och rain out destillation processer. Geografisk destillation processer börjar med att ^{18}O förångas vid en relativt hög temperatur, och sedan ångan reser till ett område med lägre temperatur när den kondenserar. Ju längre avståndet blir från den västra kusten, desto mer utarmat blir molnen på ^{18}O och $\delta^{18}O$ blir då lägre.

Anledningen till $\delta^{18}\text{O}$ -värden studerades i förhållande till aspekt och lutning, var för att undersöka "Post deposition effect", efterhands deponeringseffekten. Slutsatser kan då dras att om snöprover tagna sent under vintern (mitten av mars), då smältning inte har påverkat så mycket, är representativa.

Vi har inga geografiska destillationer processer efter skandinaviska fjällkedjor. Höjden är ungefär samma över hela studien område efter skandinaviska fjällkedjor (ca 200-300m) och ändringar på $\delta^{18}\text{O}$ orsakas bara av kontinental rain out.

Temperaturen är en viktig parameter över isotop-sammansättningen under vintrarna. $\delta^{18}\text{O}$ mängd kan använda som ett klimat arkiv i framtida meteorologiska undersökningar.

Med hjälp av ArcGIS kartor och statistisk bearbetning av fältobservationer går det att analysera SWI: s sammansättning samt att undersöka kvantitativt förhållandet mellan variabiliteten i NAO och SWI i snö.

SWI avslöjar intressant information som gör det möjligt att undersöka klimatet. Vi inser att det finns en korrelation mellan SWI och NAO-index under vintern i Skandinavien. Om NAO-index förändras, då ändras också temperaturen, men påverkar också på nederbördsmängden.

Bilaga

GIS-metod med ArcGIS

Först öppnar man ArcGIS program och klicka i Tools ikonen; Adda X,YData från CSV filen (X: Longituder, Y: Latitud) och man väljer ett rätt koordinatsystem (Data Management Tools, Projektion and Transformation, WGS 1984, Northern Hemisfärer, WGS 1984 UTM Zoner 33 N, SWEREF99_TM) sedan högerklicka på lager som skapades nyss och öppna Data, Export Data och eftersom det är en SHAPE fil, den får ett lämpligt namn. SHP i slutet av filensnamn.

Digital Elevation Metod

Höjddata eller DEM (Digital Elevation Modell) kan skapas så här: först man måste aktivera Spatial Analys knappen och man framställa så här: klicka man på Customize> Extension >Spatial Analys och sedan aktivera detta och okej.

DEM kartor importeras från AddaData Fram i ArcGIS online och i sök meny man skriver DEM och då man kan ladda ner DEM kartan för hela Europa. Europa DEM karta heter 30-arc-second DEM of Europa (DataBasinData); den laddande kartan visar olika färger för olika höjddata. Eftersom den här DEM karta har 900 m noggrannhet och vi behöver mer noggrannhet då tvingades oss att ladda ner en ny DEM karta bara för Sverige och Norge.

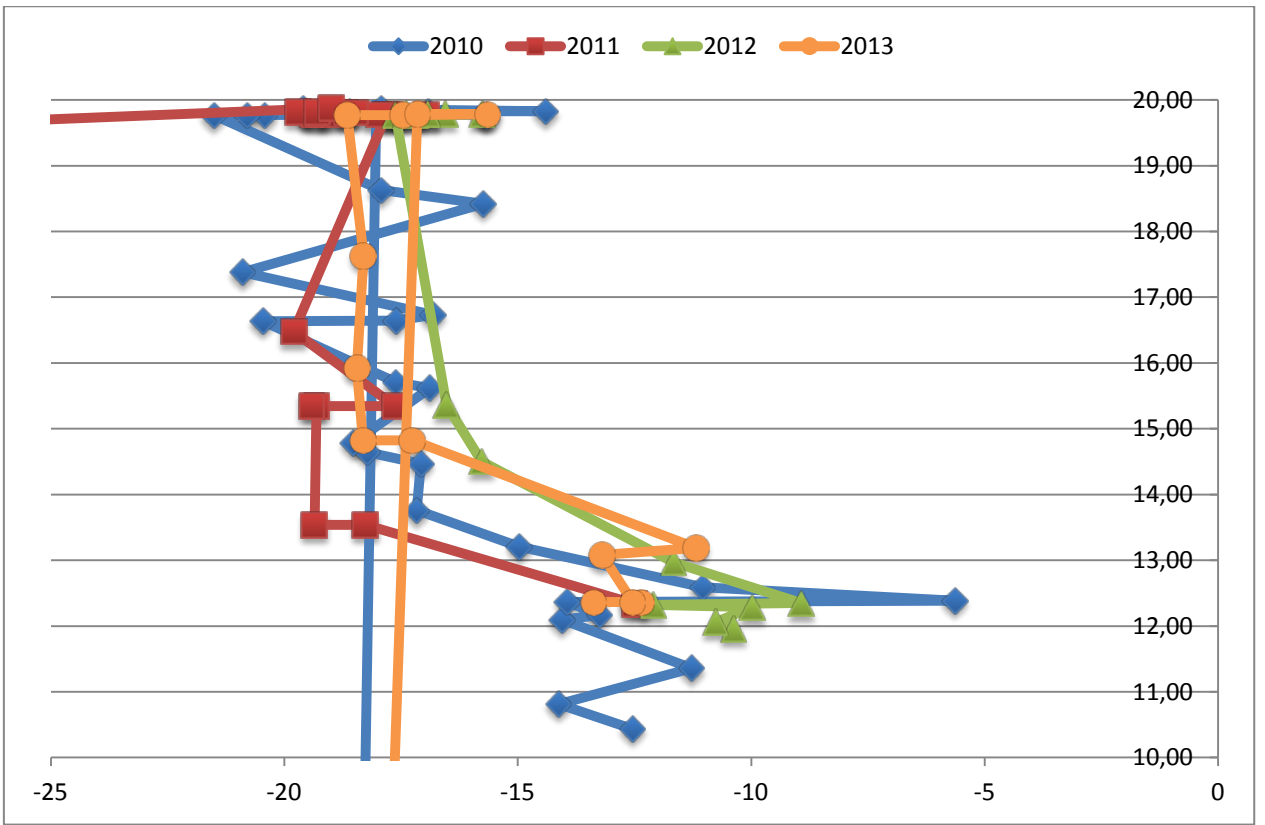
Nu ArcGIS programmen är mycket hjälpsam, man kan klicka i ArcToolbox> Spatial Analys Tools>Extraction>ExtractValuestopoints och nu öppnar en ny Ikon. I den här nya ikonerna lägger in man. SHPfilen som vi hade skapat för varje år t.ex. Export_Output 2010.shp och i Input Raster lägger man DEM kartan och sedan Okej.

Under lager menyn öppnar man det nya lager t.ex. Extract_Export_Outout 2010. Om man högerklick på denna lager och öppnar Attributen Table har vi nu en ny kolumn som heter RasterValues, den nya kolumnen är elevation eller höjddata för varje punkt och det betyder att extraktion höjd värde för varje punkt har skapat nu.

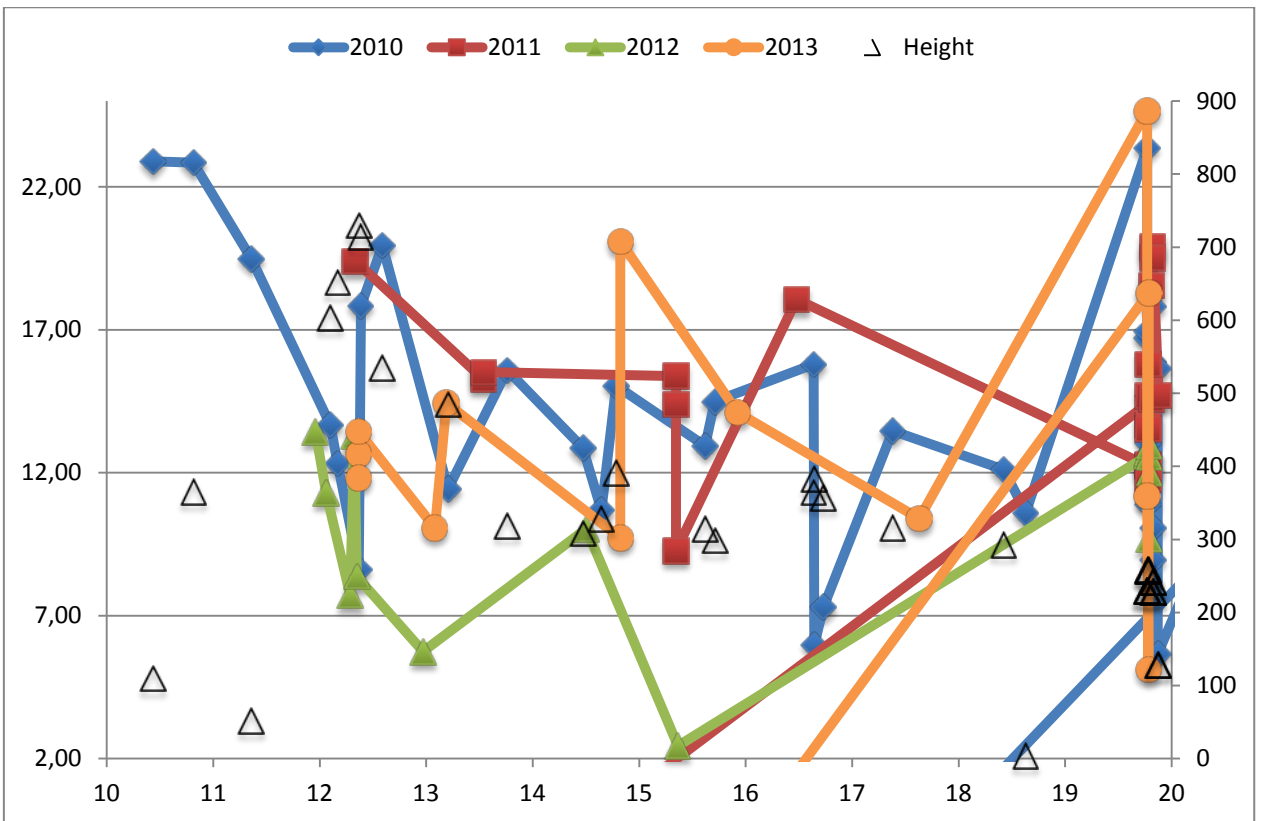
Interpolation Kriging i Transekt område

Vi gjorde en interpolation kriging av total värdena för varje år. Klicka man på Customise>Environment>ProcessingExtent>Same as Layer> Raster Analysis> Maximum of Inputs >Ok för att förbereda ArcGIS program inför Kriging.

Nu i ArcGIS Toolbox > Spatial Analys Tools > Interpolation > Kriging > Input: DEM >Ok.



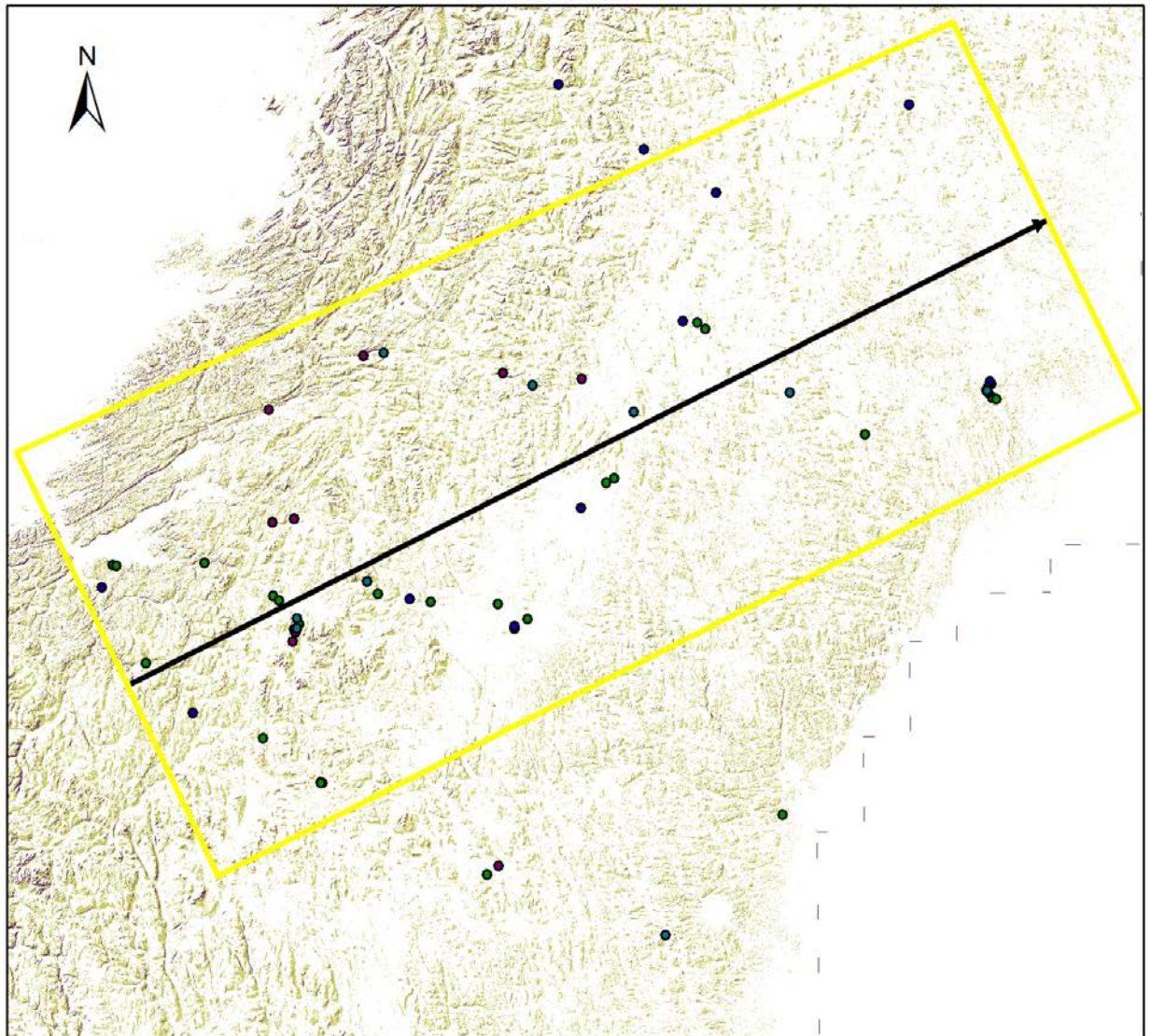
XS Diagram



XS= $\delta D - 8 \cdot \delta O18$

Vi kan anta från XS diagrammet att snön som faller, påverkades inte av någon avdunstning eller smältning. Fraktion koefficienterna δD och $\delta^{18}O$ har ett förhållande lika med 8, (förhållandet mellan ^{18}O och D massor). Det finns ytterligare kinetisk fraktion för avdunstning på grund av olika diffusivitet av de två isotoperna som rör sig isotopsignalen från GMWL (Clark och Frotz, 1997).

Hillshade



Legend

Hillshade

Value

	0 - 89
	89.00000001 - 141
	141.00000001 - 170
	170.00000001 - 194
	194.00000001 - 254

0 15 30 60 90 120
Kilometers

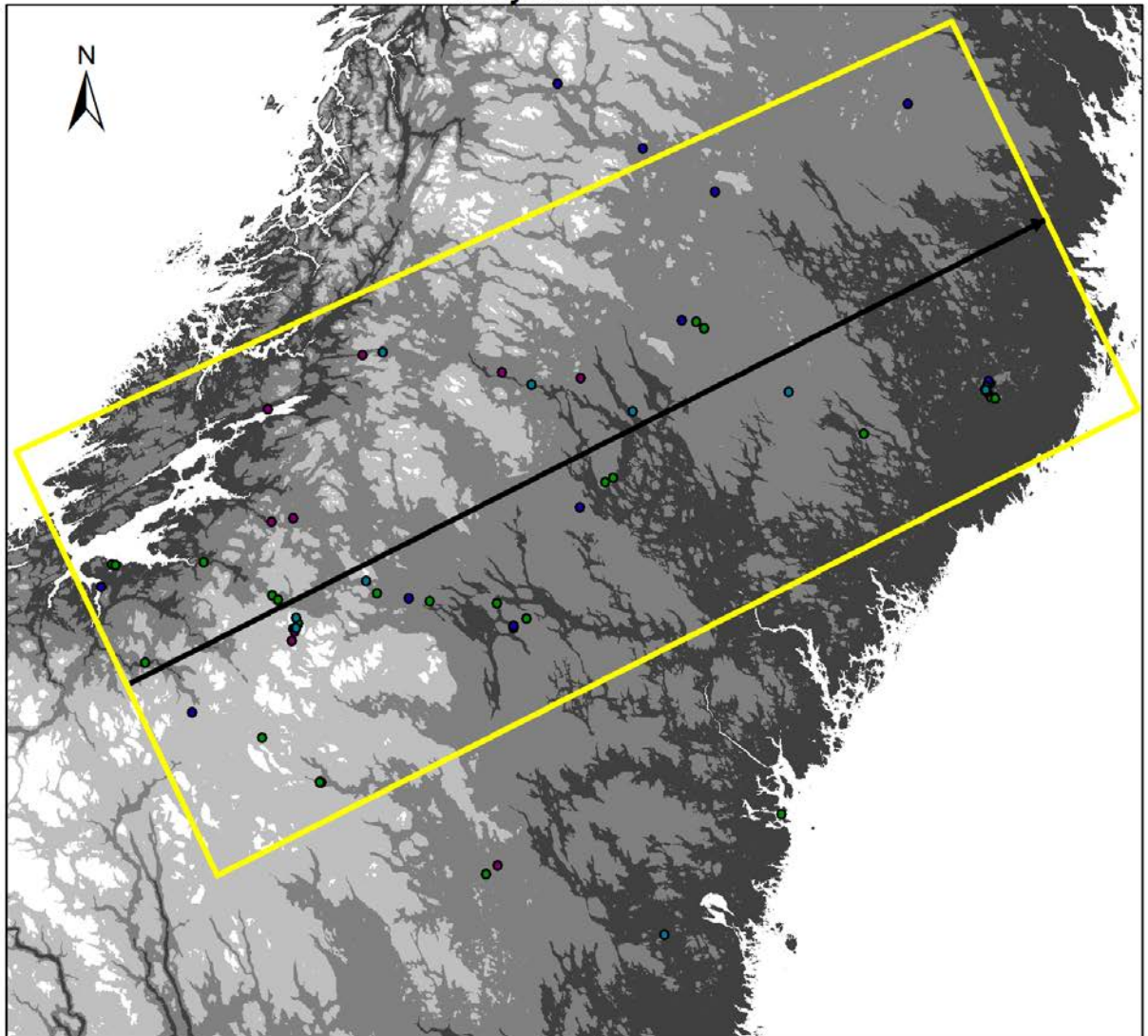
Snöprovtagning

	2013
	2012
	2011
	2010
	linje
	Transect



Det är en översikt kartan över vår studie område som hjälpa att förstå bättre topografierna. Hillshade karta som är en ljus- och skuggmodell.

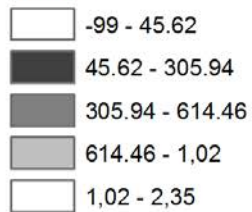
Höjddata



Legend

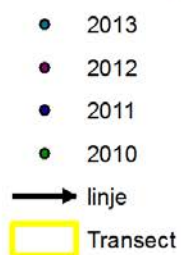
Höjddata

meter



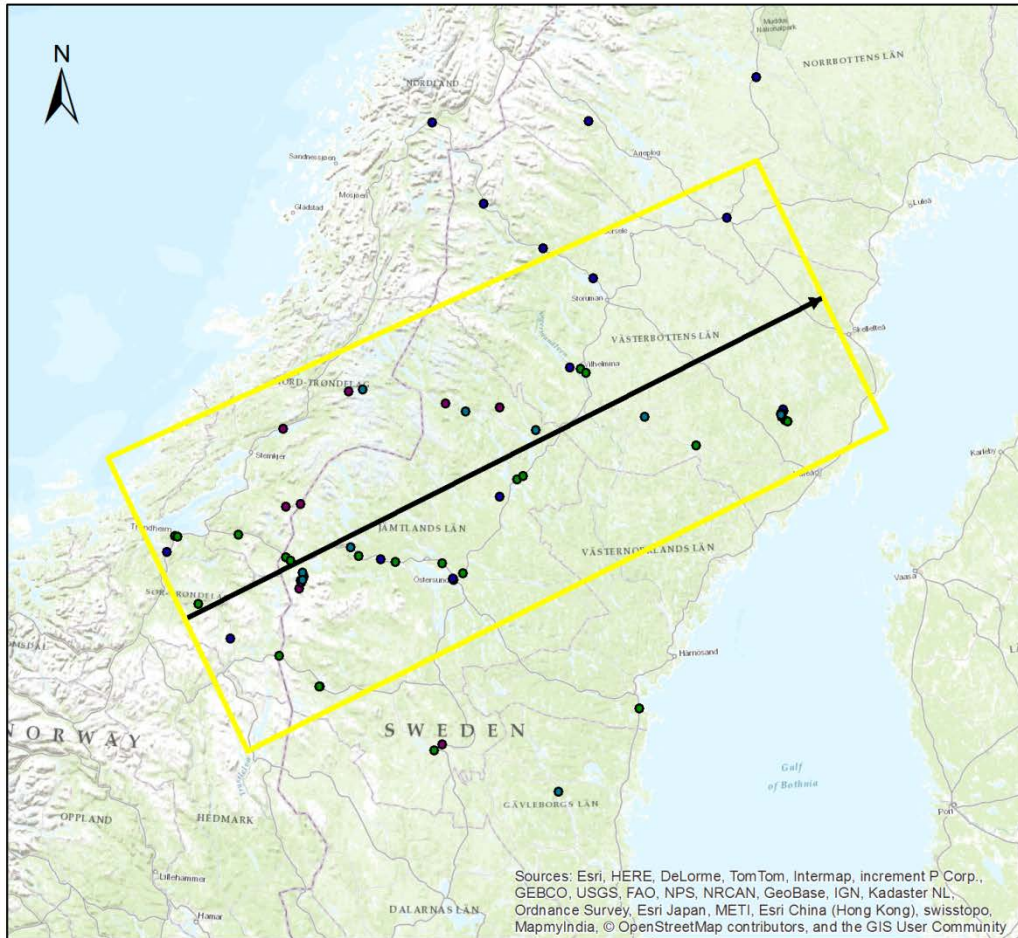
0 15 30 60 90 120
Kilometers

Snöprovtagning



Höjddata karta representera höjden så man känner bättre terrängen i vår studie område.

Topografi



Snöprovtagning

- 2013
- 2012
- 2011
- 2010

→ linje

□ Transect

0 25 50 100 150 200
Kilometers



Referenser

Qian, B., Corte-Real, J., Xu, H., 2000. Is the North Atlantic Oscillation the most important atmospheric pattern for precipitation in Europe? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 105, 11901–11910

Rousseau, G., 2010. Characterization of the Winter of 2009/2010 by the Stable Water Isotopes in the Snowpack over Sweden. (Master). Stockholm University, Stockholm

Rozanski, K., Araguás-Araguás, L., Gonfiantini, R., 1992. Relation Between Long-Term Trends of Oxygen-18 Isotope Composition of Precipitation and Climate. *Science* 258, 981–985

Sodemann, H., 2006. Chapter 2: Stable Isotopes of Water. In: *Tropospheric transport of water vapour: Lagrangian and Eulerian perspectives* (PhD). Swiss Federal Institute of Technology, Zurich

Sturm, C., Zhang, Q., Noone, D., 2010. An introduction to stable water isotopes in climate models: benefits of forward proxy modelling for paleoclimatology. *Clim. Past.* 6, 115–129

Sturm, K., Hoffmann, G., Langmann, B., Stihler, W., 2005. Simulation of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation by the regional circulation model REMOiso. *Hydrological Processes* 19, 3425–3444

Baldini, L.M., McDermott, F., Foley, A.M., Baldini, J.U.L., 2008. Spatial variability in the European winter precipitation $\delta^{18}\text{O}$ -NAO relationship: Implications for reconstructing NAO-mode climate variability in the Holocene. *Geophysical Research Letters* 35

Kendall, C., Caldwell, E.A., 1998. Chapter 2: Fundamentals of Isotope Geochemistry, in: *Isotopes Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 51–86

North Atlantic Oscillation (NAO) (climatology) -- Britannica Online Encyclopedia [WWW Document], n.d. URL <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/661549/North-Atlantic-Oscillation-NAO> (accessed 7.5.13)

The North Atlantic Oscillation Climatic Significance and Environmental Impact by James W.Hurrell

Online-publicering:

Norska kartverket och Lantmäteriet: <http://www.slu.se/sv/bibliotek/soka/digitala-kartor/lantmateriets-kartor/> och <http://www.kartverket.no/kart/gratis-kartdata/lisens/>

Vinter vädret vis positivt NAO-index och negativ NAO-index: <http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/darfor-far-vi-vargavintrar>

Sverige-kallt, dyrt & natur:

<http://jade.se/resor-nyheter/sverige-kallt-dyrt-natur>

Kartverkets data via kartverket.no, lisens till kartverkets gratisprodukter:

<http://www.kartverket.no/kart/gratis-kartdata/lisens/>

Månads nederbörd i mm, mars:

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/2.1353/monYrTable.php?month=3&par=nb>

Månads medeltemperatur mars:

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/2.1353/monYrTable.php?month=3&par=tmp>

NAO positive och negative:

<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/>

NAO-index graf:

<http://www.gns.cri.nz>