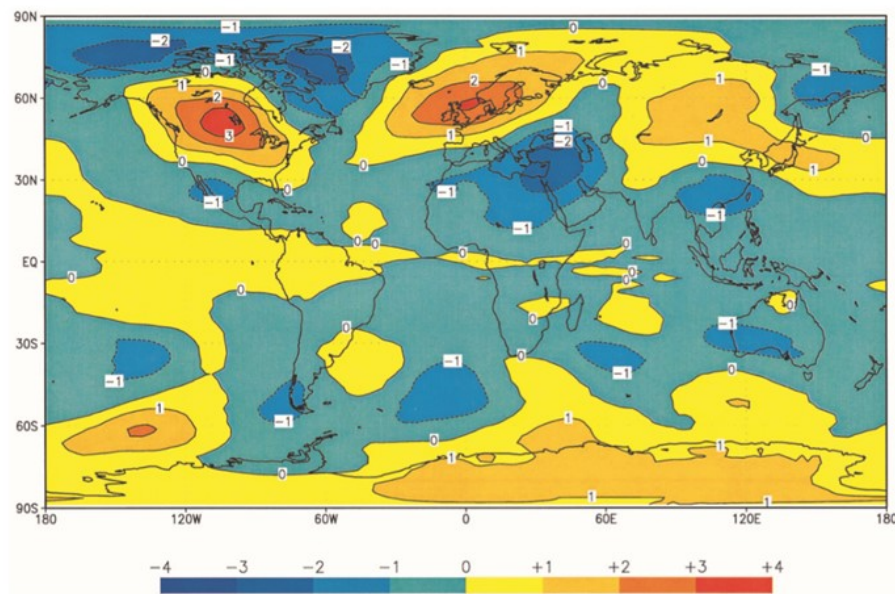


Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud

Fanni Végvári

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 575 (15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2019

**Vulkanisk inverkan på klimatet och
atmosfärcirkulationen:
En litteraturstudie som jämför
vulkanisk på låg respektive hög
latitud**

Kandidatarbete
Fanni Végvári

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2019

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Metod	7
2	Bakgrund	7
2.1	Direkt inverkan	7
2.2	Indirekt inverkan	7
2.2.1	NAO	7
2.2.2	ENSO	8
3	Resultat	8
3.1	Laki	8
3.2	Tambora	9
3.3	Pinatubo	10
4	Diskussion	10
5	Slutsatser	10
6	Tackord	12
7	Referenser	12

Omslagsbild: Lägre troposfärisk temperaturanomali för nordhemisfärisk vinter åren 1991-1992.

Källa: Robock 2000

Sammanfattning

Fanni Végvári

Végvári, F., 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 575, 13 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Vulkanisk aktivitet har sedan längre observerats ha en stor påverkan på klimatet. Svavelaerosoler från utbrott bildar molntäcken som kan sprida sig runt globen och hindrar en del solstrålar från att nå markytan. Till följd av detta sker en temperaturminskning av marknära luft under det område som molnet täcker. Den här kandidatuppsatsen reder ut skillnaden mellan inverkan på klimatet samt atmosfärcirkulationen från vulkanutbrott på låg respektive hög latitud. Forskning visar att direkt samt indirekt inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen avviker sig beroende på var i världen utbrotten sker. Utbrott på låga latituder anses generellt ha en större påverkan än utbrott som sker på höga latituder. Anledningen till detta är bland annat att aerosolerna kan sprida sig längre bort, till skillnad från höglatitudinella utbrott där aerosolerna oftast koncentreras vid den norra eller södra hemisfären. Resultaten antyder på att Lakis utbrott på Island (höglatitudinell) hade en betydligt mindre klimatpåverkan än Tamboras i Indonesien och Pinatubos i Filippinerna (låglatitudinella). Andra fenomen och atmosfärcirkulationsmönster som har en betydande klimatpåverkan är den Nordatlantiska Oscillationen (NAO) och El Niño-Sydlig Oscillation (ENSO).

Nyckelord: vulkanutbrott, aerosoler, låg & hög latitud

Handledare: Jesper Sjolte & Dan Hammarlund

Ämnesinriktning: Kvärtärgeologi

Fanni Végvári, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: Fanni.Vegvari2260@student.lu.se

Abstract

Fanni Végvári

Végvári, F., 2019: Volcanic impact on the climate and atmosphere circulation: A literature study that compares volcanism on low and high latitudes. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 575, 13 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: Volcanic activity has long been observed to have a great impact on climate. Sulfate aerosols from an eruption form aerosol clouds that can spread around the globe and prevent some solar radiation from reaching the surface of the Earth. As a result, there will be a reduction of the surface air temperature below the aerosol cloud. This bachelor thesis discusses the difference between the impact on the climate and atmospheric circulation from volcanic eruptions on low versus high latitude. Research shows that direct and indirect impact on climate and atmosphere circulation deviates depending on the location of the eruption. Eruptions on low latitudes are considered to have a generally bigger impact than those on high latitudes. The reason behind this is that the aerosols can spread longer distances, in contrast to eruptions on high latitudes where the aerosols are concentrated at the northern or southern hemisphere. The results suggest that the Laki eruption on Iceland (highlatitudinal) had less climate impact than the Tambora eruption in Indonesia and the Pinatubo eruption in the Philippines (lowlatitudinal). Other phenomenon and atmospheric circulation patterns that have a great impact on the climate is the North Atlantic Oscillation (NAO) and El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

Keywords: volcanic eruptions, aerosols, low & high latitude

Supervisor: Jesper Sjolte & Dan Hammarlund

Subject: Quaternary Geology

Fanni Végvári, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: Fanni.Vegvari2260@student.lu.se

1 Introduktion

Vulkaniska utbrott har sedan länge varit en viktig naturlig episodisk påverkan på klimatförändringar och har påvisats generera responser i klimatsystemet (McCormick 1995; Robock 2015). Vissa stora explosiva vulkanutbrott slungar ut mycket stora mängder svavel i stratosfären som ombildas till svavelsyra och sulfataerosoler. Dessa aerosoler stannar i den nedre stratosfären 1-3 år efter utbrottet där de absorberar och reflekterar inkommande solstrålning (Robock 2000). Detta leder till avvikelser i jordens strålningsbalans som kan kyla jordytan med flera grader (Robock 2000; Payne & Egan 2019). Flera fall av extraordinärt kalla vintrar under historisk tid har varit förknippade med vulkanutbrott, t.ex. 1816 "året utan sommar" efter Tamboras utbrott i Indonesien (Stothers 1984; Brönniman & Krämer 2016). Utöver den totala avkylningseffekten påverkar den här typen av vulkanutbrott också vindmönstret på olika sätt beroende på var de äger rum. Utbrott nära ekvatorn stärker västvindarna över Nordatlanten, medan nya studier tyder på att utbrott på höga latituder (t.ex. på Island) försvagar västvindarna.

Syftet med detta arbete är att reda ut skillnaden mellan vulkanutbrott på höga respektive låga latituder och hur dessa har påverkat klimatet och atmosfärcirkulationen. Frågeställningen som arbetet ska besvara är därmed vilken inverkan vulkanutbrott har på klimatet och atmosfärcirkulationen beroende på vilken latitud som utbrottet sker på och identifiera skillnaderna mellan de olika utbrottens inverkan.

1.1 Metod

Följande kandidatarbete är en litteraturstudie som behandlar och sammanfattar olika studiers resultat om vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen. De mest centrala observationer och teorier om direkt respektive indirekt inverkan beskrivs och diskuteras i kapitlet nedan. Fokus har varit på studier från tre olika vulkaner som har haft utbrott mellan åren 1783 och 1991 på varierande latituder; Laki på Island, Pinatubo i Filippinerna och Tambora i Indonesien.

2 Bakgrund

Beroende på utbrottets magnitud kan olika vulkanutbrott generera olika inverkan på klimatet samt atmosfärcirkulationen. Nedan beskrivs den direkta respektive indirekta inverkan av stora vulkanutbrott.

2.1 Direkt inverkan

Vid vulkanutbrott sprutas stora mängder gaser och partiklar i atmosfären (Robock 2000). Av alla gaser och partiklar är det främst svavelgaser, oftast i form av SO_2 , som har en signifikant inverkan på klimatet (Pollack et al. 1976; Rampino & Self 1984; Robock 2000; Brönniman & Krämer 2016). Svavelgas reagerar med OH och H_2O i atmosfären och omvandlas inom ett par veckors tid till sulfataerosoler (H_2SO_4), en process som påverkar molnbildningen (Robock 2000;

Chenet et al. 2005; Sigl et al. 2015). Aerosoler samlas i stora molntäcken som hindrar solstrålar att penetrera igenom, då en del av solstrålarna reflekteras tillbaka ut i rymden eller absorberas av molnet (Robock 2000). Aerosolmolnet absorberar även terrestra strålar som reflekteras tillbaka från markytan och värmer upp den lägre delen av stratosfären (Robock 2000). Direkt under molnet i den lägre troposfären och vid markytan sker det en temperaturminskning av luften (Robock 2000; Chenet et al. 2005; Sigl et al. 2015). Den lägre stratosfären hettas upp mer i tropikerna än vid polerna på grund av vinkeln av inkommande solstrålning (Robock 2000). Ovan beskrivna yttemperaturavvikelser av den lägre troposfären finns även under normala förhållanden, därför är det viktigt att urskilja dessa från vulkanisk aktivitet vid simuleringar (Parker et al. 1996).

Klimatpåverkans effekt beror på utbrottets magnitud, vilken altitud som aerosolerna hamnar i samt vindmönstret under tiden som aerosolerna befinner sig i atmosfären (Brönniman & Krämer 2016; Payne & Egan 2019). Dessutom utgör ett tjockare aerosoltäcke en större klimatpåverkan (Payne & Egan 2019). Effekten av strålningsbalansen är ytterligare beroende på aerosolernas livstid i atmosfären, deras utbredning och partiklarnas storleksfördelning (Toohey et al. 2019). I troposfären har aerosolerna en livslängd på några veckor och deponeras relativt snabbt till markytan efter utbrottet. Hamnar aerosolerna i stratosfären där deras livslängd är upp till några år, kan aerosolerna spridas långa sträckor och ha en global påverkan på klimatet (Robock 2000). Aerosolernas spridning beror främst på vindhastigheten och vindriktningen på höga altituder (Grattan & Pyatt 1994). Figur 1 illustrerar de essentiella strålningsprocesserna som påverkas av ett stratosfäriskt aerosolmoln från ett stort explosivt utbrott.

2.2 Indirekt inverkan

2.2.1 NAO

Påföljande vinter på norra hemisfären efter ett tropiskt utbrott har en avvikande klimatrespons från utbrott på höga latituder (Robock 2000). Utbrott som sker vid låga latituder värmer upp den lägre stratosfären i tropikerna mer än vid polerna. Detta resulterar i en förstärkt pol-till-ekvator temperaturgradient, som förstärks vid nordhemisfärisk vinter (Robock 2000). En förstärkt temperaturgradient producerar en starkare polar jetström som fångar upp den stratosfäriska cirkulationens vågenergi (Robock 2000; Wanner et al. 2001). Ett karaktäristiskt stillastående vågmönster bildas, Nordatlantiska Oscillationen (NAO). Istället för en typisk nedkylning av yttemperaturen, producerar detta vågmönster vinteruppvärmning över norra hemisfären och dominerar vintercirkulationen (Robock & Mao 1992; Robock 2000).

NAO kan vara i antingen en positiv eller negativ fas (Wanner et al. 2001). Faserna beskriver styrkan av cirkulationsmönstret. Positiv NAO (NAO+) innebär en

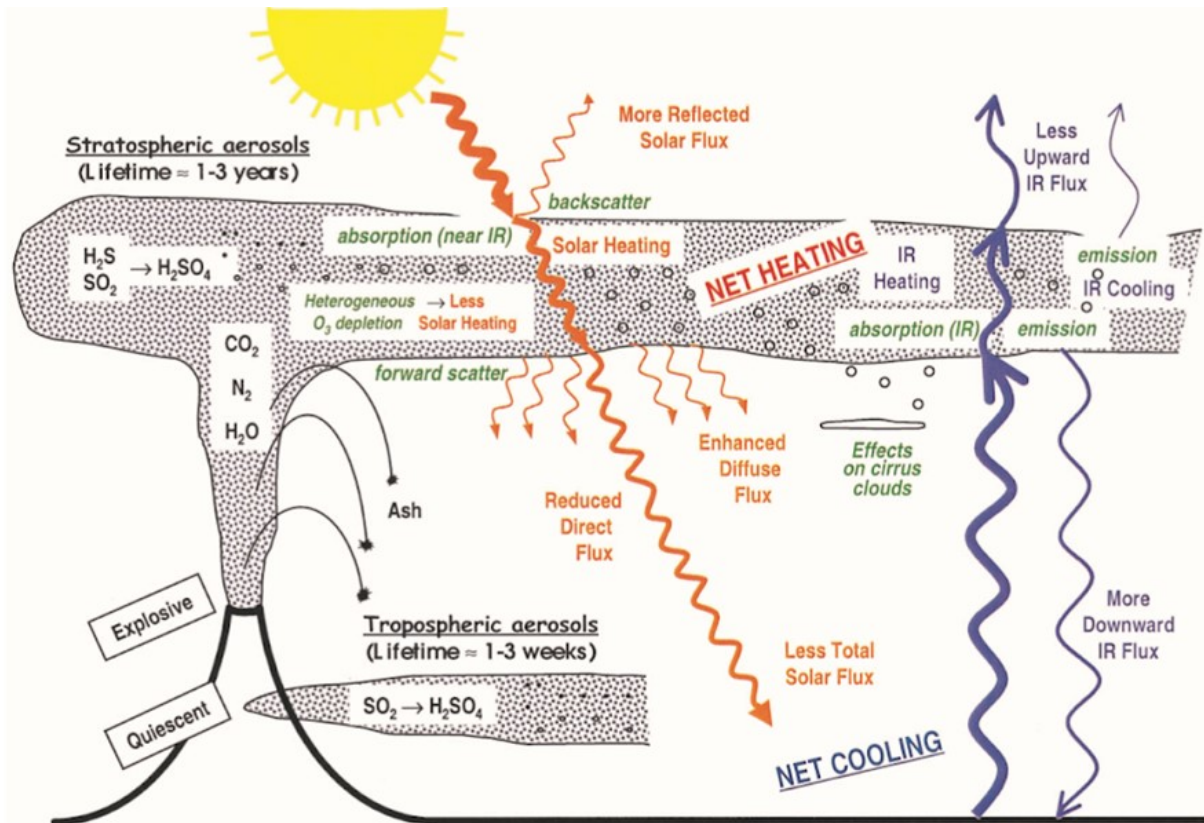


Fig. 1. Schematisk bild över ett vulkanutbrott, dess partiklar som injekteras ut i atmosfären och hur det påverkar klimatet i närområdet. Utbrott som ger upphov till troposfäriska aerosoler har en kort livslängd och deponeras snabbt. Stratosfäriska aerosoler har en längre livstid och kan spridas globalt och därmed ha en större klimatpåverkan. Aerosoltäcket hindrar vissa solstrålar att penetrera igenom via absorption eller reflektion, vilket bidrar till en temperaturminskning av yttemperaturen under molnet och en ökad temperatur av den lägre stratosfären. Illustrationen är tagen från Robock 2000.

förstärkt tryckgradient mellan tropikerna och nordpolen på grund av temperaturskillnaden i stratosfären (Robock 2000). En starkare gradient leder till starkare och fler nordvästliga vindar, som ger upphov till rik nederbörd i Skottland och sydvästra Norge (Wanner et al. 2001). Vid negativ NAO (NAO-) är gradienten mindre påtaglig och resulterar i svagare västliga vindar som dessutom är placerade längre söderut. NAO- genererar kraftig nederbörd över Meditterrana områden och Svarta havet (Wanner et al. 2001). Figur 2 illustrerar den indirekta inverkan vid utbrott på låga och höga latituder, där NAO är positiv för utbrott vid låga latituder samt negativ vid höga latituder.

2.2.2 ENSO

El Niño-Sydliga Oscillationen (ENSO) är en av de viktigaste naturliga fenomen som påverkar det globala klimatet och har en cyklicitet på 2-7 år (Liu et al. 2018; Sun et al. 2019). Liknande NAO, har även ENSO två olika faser; en varm fas som kallas El Niño och en kall fas som kallas La Niña (Sun et al. 2019). Vid El Niño värms havsytan upp vid tropiska Stilla havet som förskjuter atmosfärcirkulationen. Reducerad nederbörd sker över Indonesien och Australien, medan kraftig nederbörd och tropiska cykloner formas över ekvatoriska Stilla havet. Passadvindarna som typiskt blåser från öster till väster längs med ekvatorn försvagas eller

ändrar vindriktning under El Niño. La Niña är det motsatta, den kalla fasen av ENSO där havsytan är kallare än vanligt. Passadvindarna förstärks och är mer ihålliga och tar med sig mer nederbörd in mot Australien samt Sydostasien, medan Sydamerika drabbas av torka.

Explosiva utbrott anses kunna framkalla eller öka möjligheten till El Niño-event (Lui et al 2018; Sun et al. 2019). Den starkare nedkylningen på nordhemisfäriska kontinenten vid utbrott på låga latituder medför i en förändring i temperaturgradienten vilket tvingar en migration av den intertropiska konvergenzonen (ITCZ) längre söderut mot ekvatorn (Pausata et al 2015; Lui et al. 2018; Sun et al. 2019).

3 Resultat

Nedan presenteras resultaten från tidigare nämnda vulkanutbrott genom tidigare studiers simulationer samt data och specifikt hur de har påverkat klimatet samt atmosfärcirkulationen.

3.1 Laki

År 1783 hade Laki ett stort vulkanutbrott på Island (Stothers 1996). Utbrottsplatsen befinner sig på en 25km lång basaltisk sprickzon (Chenet et al. 2005;

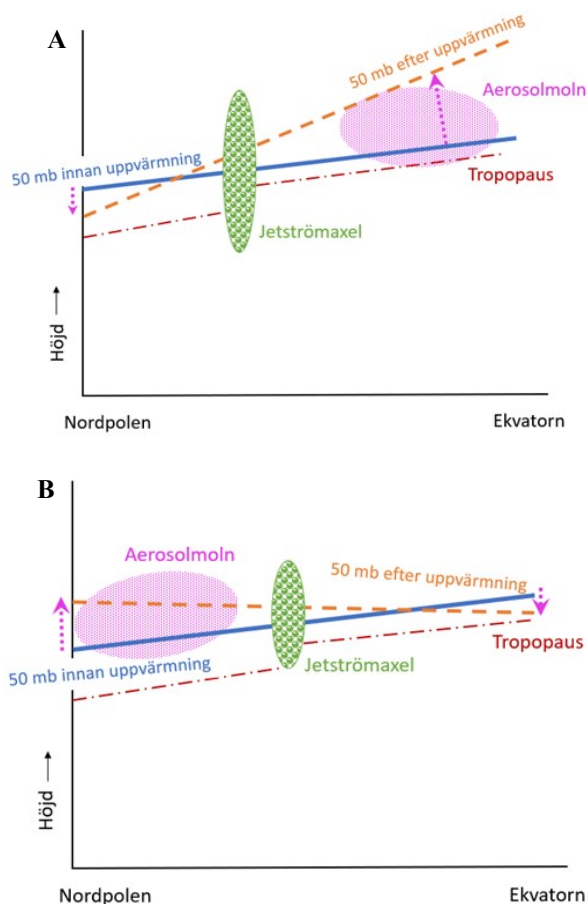


Fig. 2. A. Schematisk bild över förhållandena för ett vulkanutbrott vid ekvatorn. Aerosolmolnet ger upphov till stratosfärisk uppvärmning som producerar en pol-till-ekvator temperaturgradient som i sin tur ökar tryckgradienten och förstärker jetströmmen. B Schematisk bild över förhållandena för ett vulkanutbrott vid norra hemisfären. Den stratosfäriska uppvärmningen är mindre och ger upphov till en svagare pol-till-ekvator temperaturgradient, vilket innebär att tryckgradienten inte är lika markant och istället försvagar jetströmmen. Bild A är baserad på Robocks (2000) figur och inspirerade figur B.

Stothers 1996). Utbrottet varade i åtta månader (juni 1783 – februari 1784) där det skedde 10 utbrott under de första fem månaderna med en kort explosiv fas där gaser och aska emitterades ut i atmosfären (Chenet et al. 2005). Vatten från sprickzonen bidrog till att det mesta av svavelgaserna (SO_2) omvandlades direkt till H_2SO_4 (Thordarson & Self 2003). Kolumnen av aska ska ha varit 13km hög, med en stor injektion i den lägre stratosfären och spridit sig i norra hemisfären med hjälp av den starka polara jetströmmen (Thordarson & Self 2003; Chenet et al. 2005). Enligt Stothers (1996) beskriver ögonvittnen hur pass långt aerosolmolnet kunde observeras. Från västra Skottland vidare till Europa, norra Afrika och Syrien. Detta har bekräftats genom detektering av förhöjda halter av svavelsyra i isbörnkärnor på Grönland under åren 1783–84 (Stothers 1996).

Aerosolerna som injekteras från sprickliga vulkaner har dock oftast inte kapaciteten till att kunna penetrera stratosfären (Grattan & Pyatt 1994). Trots att aerosoler anses ha penetrerat stratosfären, uppskattar Stothers et al (1986) att det inte var särskilt mycket som kan ha penetrerat. Enligt Thordarson & Self (2003) ska mindre än 10% av askan deponerats längre bort än 10km från utbrottets läge. Detta bekräftar varför det mesta av disen hade försvunnit från den europeiska kontinenten vid slutet av året då utbrottet skedde (Stothers 1996). Highwood & Stevenson (2003) har påvisat att troposfäriska aerosoler kan ha en betydande påverkan på klimatet vid utbrottets hemisfär och på säsongen som utbrottet sker på. Anledningen till detta kan vara att aerosolmolnet orsakar stora och vidspridda störningar i strålningsbalansen som påverkar mer än vad man tidigare trott och ett stadigt läge av troposfäriska aerosoler (Highwood & Stevenson 2003). Under de första månaderna påvisas ingen förändring i strålningsbalansen vid ekvatorn och plymen verkar vara koncentrerad vid norra hemisfären (Pausata et al. 2015). Efterföljande vinter var den kallaste som registrerats i flertalet länder i Europa, Nordamerika och Japan på grund av dimman från aerosolmolnet (Stothers 1996; Thordarson & Self 2003). Sommaren 1783 på Island hade kalla och hårda förhållanden, i Europa och norra Amerika blev det en varm sommar (Highwood & Stevenson 2003). Resten av året 1783 var ovanlig och extrem; torrt och varmt i norra Europa, relativt normala förhållanden i centrala och östra Europa och snöfall i Ryssland (Thordarson & Self 2003). De följande tre åren efter Lakis utbrott var väl under medelyttemperaturen i Europa och norra Amerika, de kallaste åren under senare delen av 1700-talet (Thordarson & Self 2003). Inga temperaturanomalier från södra hemisfären antyder endast på att en ökning av sulfataerosoler över större delen av norra hemisfären, slutsatsen dras att det enbart skedde en regional temperaturändring vid norra hemisfären (Highwood & Stevenson 2003).

3.2 Tambora

Tambora hade ett utbrott i Indonesien i april år 1815, det största utbrottet i historisk tid som injekterade sex gånger mer svavel i stratosfären än Pinatubo (Stothers 1984; Oppenheimer 2003). Kolumnen ska ha varit hela 43km hög, vilket är baserat på spridningen av tefraavlagringar (Brönniman & Krämer 2016). Svavel ska ha oxiderats inom några veckors tid till sulfataerosoler (Stothers 1984; Brönniman & Krämer 2016). De finare aerosolpartiklarna ska ha injekterats i stratosfären och spridit sig globalt, medan de grövre partiklarna ska ha fallit ner med nederbörd inom de första veckorna efter utbrottet (Stothers 1984). Den negativa strålningsbalansen resulterade i en global nedkylning (Brönniman & Krämer 2016). I västra och centrala Europa samt Amerika var sommaren betydligt kallare än normalt, året 1816 kom till att kallas "året utan sommar" (Stothers 1984; Brönniman & Krämer 2016). Nordvästliga vindar transporterade snö och frost till Nya England, nordöstra Amerika, samt Kanada och förde även kraftigt skyfall till västra Europa (Stothers

1984). De starka sydvästliga monsunvindarna som drar sig in mot västra Afrika och Indien reducerades och gav till följd svagare monsuner (Stothers 1984; Brönniman & Krämer 2016).

3.3 Pinatubo

År 1991 i Filippinerna hade Pinatubo ett utbrott, som är den näst största störningen i atmosfären på århundradet, efter Tamboras utbrott år 1815 (McCormick et al. 1995). Kolumnen ska ha stigit till 34 km höjd. Pinatubo producerade en global temperaturminskning på ca 0,3 – 0,5 °C som varade under 2 år (Highwood & Stevenson 2003). Sulfataerosolerna ska ha spridit sig mot polerna från ekvatorn, cirkulerat jorden på tre veckors tid och täckt hela globen i januari 1992 (Parker et al. 1996; Robock 2000). Parker et al. (1996) upptäckte en global nedkylning av lägre och mitten av troposfären på 0,5 °C mellan utbrottet och sommaren år 1992 på norra hemisfären. Nedkylningsmaximum observerades vara ungefär ett år efter utbrottet (Robock & Mao 1992). En indikation på en temporär vinteruppvärmning på norra hemisfären upptäcktes av Parker et al. (1996) och Robock (2000), värmen var koncentrerad över kontinenterna på grund av avvikelser i atmosfärcirkulationen efter Pinatubos utbrott.

En stark anticyklonisk tryckanomali centrerades över de brittiska öarna, vilket resulterade i en advektion av varm luft tvärs över Skandinavien. En positiv temperaturanomali längre söderut fortsatte på grund av advektion tillsammans med ett sydligt tillflöde i centrala Asien (Parker et al. 1996).

4 Diskussion

Diskussionen jämför två figurer från Robock (2000) och Pausata et al. (2015) som båda visar den globala yttemperaturanomalin för nordhemisfärisk vinter. Observationer från äldre stora låglatitudinella utbrott som Laki saknas, därför använder forskare sig av modellkörningar som kan simulera tidigare vulkanutbrott.

Vinteruppvärmningsmönstret illustreras i figur 3 som visar den globala yttemperaturanomalin under nordhemisfärisk vinter efter Pinatubos utbrott 1991. Positiva temperaturanomalier kan observeras över Nordamerika och Europa samt negativa temperaturanomalier över Grönland. Dessa förhållanden är typiska för vulkanutbrott på låga latituder som genererar en positiv NAO-fas (Robock 2000). Figur 4 är en modellkörning från ett utbrott på hög latitud som visar förhållanden tvärtom till det som kan observeras i figur 3. Negativa temperaturanomalier kan ses över Nordamerika och Europa. Pausata et al. (2015) tolkar resultatet som en El Niño-liknande anomali som orsakas av nedkylningen på norra hemisfären. Den asymmetriska nedkylningen medför en sydlig riktning av ITCZ mot ekvatorn. Den negativa temperaturanomalin stämmer även överens med andra studier där nedkylning upptäcktes över Europa samt Nordamerika efter Lakis utbrott på Island 1783 (Stothers 1996; Thordar-

son & Self 2003). Dock är det viktigt att nämna att resultaten från Pausata et al. (2015) är från en modellkörning och resultaten kan därmed vara bristfälliga.

Robock (2000) testade en modellkörning lik den som visas i figur 3, fast exkluderade vulkanisk aerosolpåverkan. Simulationen visade då endast ENSO-mönster, vilket inte matchade det som ses i figur 3. Detta ledde till en konklusion att vinteruppvärmningsmönstret över Nordamerika och Europa inte berodde på ENSO-anomalier utan på en ökad stratosfärisk strömvirvel producerad av en ökad temperaturgradient mellan ekvatorn och polerna som orsakades av vulkaniska sulfataerosoler i stratosfären (Robock 2000). Jag föreslår att det dessutom finns en liknelse till en negativ NAO-fas som Pausata et al. (2015) inte diskuterar i studien (se figur 4). Vid utbrott på höga latituder minskar pol-till-ekvator temperaturgradienten i stratosfären och försvagar jetströmmen som i sin tur bidrar till en negativ NAO-fas (Robock 2000). Denna teori har ännu inte kunnat bekräftats, men Oman et al. (2006) har med hjälp av förbättrade modellkörningar bekräftat att vinteruppvärmningsmönstret på hög latitud är motsatt till den som produceras vid låga latituders vulkanutbrott. Dessutom håller Robock (2000) på att testa ytterligare modellkörningar för att undersöka djupare.

Det krävs mer forskning om kring klimatpåverkan av vulkanisk aktivitet för att få en bättre förståelse av dess innebörd. Uppdatering av temperaturrekonstruktioner och korrelation med andra existerande modellkörningar samt simuleringar är en bra metod som kan ytterligare bekräfta eller avkasta teorin (Luterbacher et al. 2016). Nya och flera modellkörningar samt historiska arkiv från flera vulkanutbrott än de som nämns i arbetet kan även vara viktiga för att utvinna mer information om hur klimatet och atmosfärcirkulationen har och kan påverkas efter vulkanutbrott (Luterbacher et al 2016).

5 Slutsatser

Studier om vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen är viktigt då det kan hjälpa till att förstå risken med klimatkatastrofer och extremt väder, då utbrott sker episodiskt. I det här arbetet har det redogjorts för vilka skillnader som finns mellan inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen beroende på vilken latitud vulkanutbrott sker på. Skillnaden mellan höglatitudinella och låglatitudinella utbrott är signifikant. Studier visar på att utbrott på låga latituder har en större inverkan på klimatet då sulfataerosolerna har en global spridning som bidrar till en stor störning i strålningsbalansen och ökar temperaturgradienten i stratosfären, vilket i sin tur leder till en förstärkning av jetströmmen och bidrar till en positiv NAO-fas. Utbrott på höga latituder har visat på en mindre inverkan på klimatet på grund av en koncentration sulfataerosoler vid norra hemisfären som bidrar till en mindre markant temperaturgradient som istället försvagar jetströmmen. Jag föreslår att utbrott på höga latituder har en annorlunda effekt till utbrott på låga latituder, där höga utbrott eventuellt kan ge upphov till en negativ NAO-

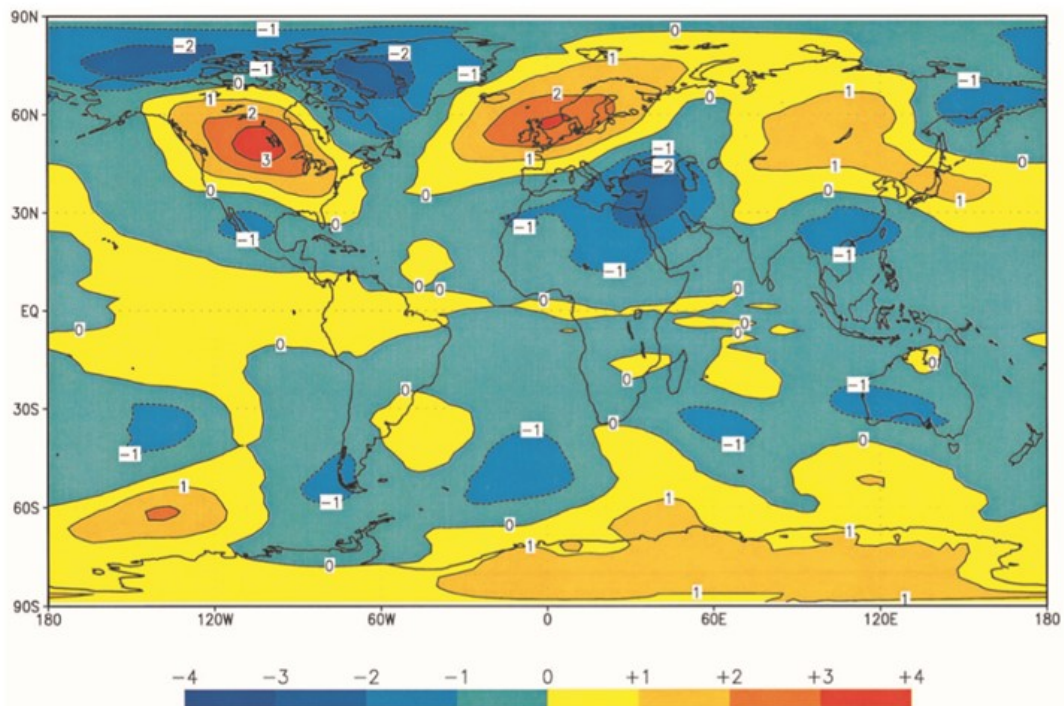


Fig. 3. Illustrerar den globala ytemperaturenanomalin vid nordhemisfärisk vinter efter Pinatubos utbrott år 1991. Mönstret är typiskt efter ett stort tropiskt utbrott, med positiva anomalier över Nordamerika, Europa, Sibirien och negativa anomalier över Alaska, Grönland, Mellanöstern och Kina. Figur tagen från Robock 2000.

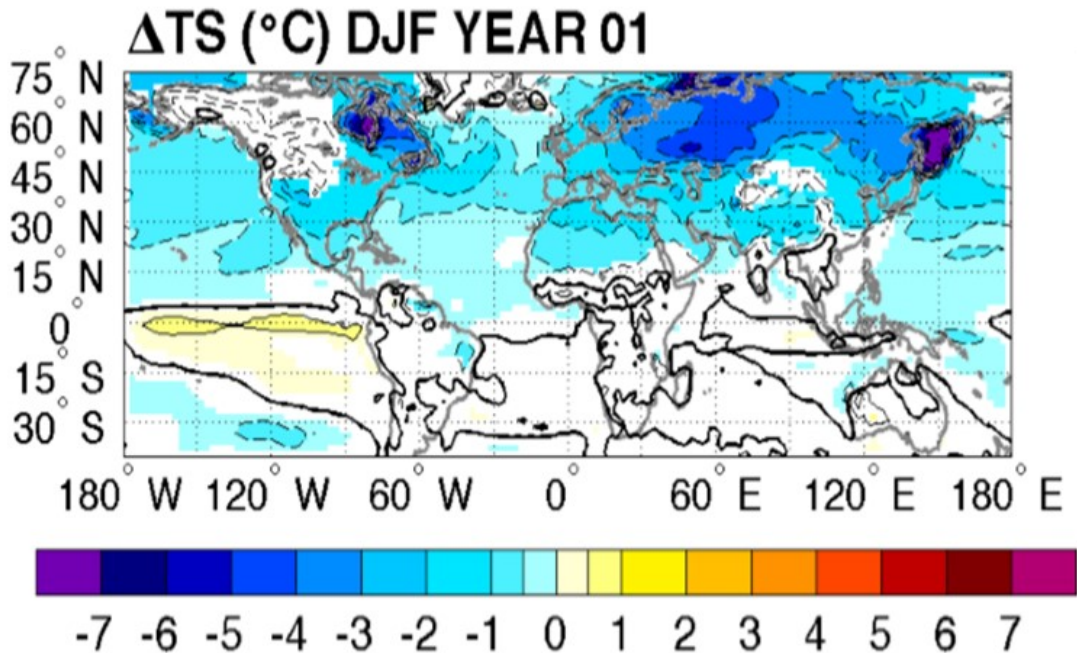


Fig. 4. Illustrerar den globala ytemperaturenanomalin vid nordhemisfärisk vinter från ett stort utbrott på hög latitud, likt Laki. Negativa anomalier visas över Nordamerika och Europa. Figur tagen från Pausata et al. 2015.

fas. Dock krävs mer forskning inom ämnet för att få en djupare insikt till hur vulkanisk aktivitet kan klimatet och atmosfärcirkulationen. Fler modellkörningar samt klimatrekonstruktioner tillsammans med uppdatering av historiska arkiv är några exempel på förbättringsmöjligheter.

6 Tackord

Jag vill tacka mina handledare Jesper Sjolte och Dan Hammarlund för stort stöd och bidragande till god vägledning samt diskussion. Stort tack även till min kära pojkvän som har stöttat mig och stått ut med mig genom resans gång.

7 Referenser

- Brönnimann S, Krämer D., 2016: Tambora and the “Year Without a Summer” of 1816. A Perspective on Earth and Human Systems Science. *Geographica Bernensia G90*, 48 pp. doi:10.4480/GB2016.G90.01.
- Chenet, A. L., Fluteau, F. & Courtillot, V., 2005: Modelling massive sulphate aerosol pollution, following the large 1783 Laki basaltic eruption: *Earth and Planetary Science Letters* 236, 721-731. doi: 10.1016/j.epsl.2005.04.046
- Grattan, J. P. & Pyatt, F. B., 1994: Acid damages to vegetation following the Laki fissure eruption in 1783 - An historical review: *Science of the Total Environment* 151, 241-247. doi: 10.1016/0048-9697(94)90473-1
- Highwood, E. J. & Stevenson, D. S., 2003: Atmospheric impact of the 1783-1784 Laki Eruption: Part II - Climatic effect of sulphate aerosol: *Atmospheric Chemistry and Physics* 3, 1177-1189. doi: 10.5194/acp-3-1177-2003
- Liu, F., Xing, C., Sun, L. Y., Wang, B., Chen, D. L. & Liu, J., 2018: How Do Tropical, Northern Hemispheric, and Southern Hemispheric Volcanic Eruptions Affect ENSO Under Different Initial Ocean Conditions?: *Geophysical Research Letters* 45, 13041-13049. doi: 10.1029/2018gl080315
- Luterbacher, J., Werner, J. P., Smerdon, J. E., Fernandez-Donado, L., Gonzalez-Rouco, F. J., Barriopedro, D., Ljungqvist, F. C., Buntgen, U., Zorita, E., Wagner, S., Esper, J., Mccarroll, D., Toreti, A., Frank, D., Jungclaus, J. H., Barriendos, M., Bertolin, C., Bothe, O., Brazdil, R., Camuffo, D., Dobrovolny, P., Gagen, M., Garcia-Bustamante, E., Ge, Q., Gomez-Navarro, J. J., Guiot, J., Hao, Z., Hegerl, G. C., Holmgren, K., Klimenko, V. V., Martin-Chivelet, J., Pfister, C., Roberts, N., Schindler, A., Schurer, A., Solomina, O., Von Gunten, L., Wahl, E., Wanner, H., Wetter, O., Xoplaki, E., Yuan, N., Zanchettin, D., Zhang, H. & Zerefos, C., 2016: European summer temperatures since Roman times: *Environmental Research Letters* 11. doi: 10.1088/1748-9326/11/2/024001
- McCormick, M. P., Thomason, L. W. & Trepte, C. R., 1995: Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption: *Nature* 373, 399-404. doi: 10.1038/373399a0
- Oman, L., Robock, A., Stenchikov, G. L., Thordarson, T., Koch, D., Shindell, D. T. & Gao, C. C., 2006: Modeling the distribution of the volcanic aerosol cloud from the 1783-1784 Laki eruption: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 111. doi: 10.1029/2005jd006899
- Oppenheimer, C., 2003: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815: *Progress in Physical Geography* 27, 230-259. doi: 10.1191/0309133303pp379ra
- Parker, D. E., Wilson, H., Jones, P. D., Christy, J. R. & Folland, C. K., 1996: The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures: *International Journal of Climatology* 16, 487-497. doi: 10.1002/(sici)1097-0088(199605)16:5<487::Aid-joc39>3.0.Co;2-j
- Pausata, F. S. R., Chafik, L., Caballero, R. & Battisti, D. S., 2015: Impacts of high-latitude volcanic eruptions on ENSO and AMOC: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 13784-13788. doi: 10.1073/pnas.1509153112
- Payne, R. J. & Egan, J., 2019: Using palaeoecological techniques to understand the impacts of past volcanic eruptions: *Quaternary International* 499, 278-289. doi: 10.1016/j.quaint.2017.12.019
- Pollack, J. B., Toon, O. B., Sagan, C., Summers, A., Baldwin, B. & Vancamp, W., 1976: Volcanic explosions and climate change - Theoretical assessment: *Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres* 81, 1071-1083. doi: 10.1029/JC081i006p01071
- Rampino, M. R. & Self, S., 1984: Sulfur-rich volcanic-eruptions and stratospheric aerosols: *Nature* 310, 677-679. doi: 10.1038/310677a0
- Robock, A., 2000: Volcanic eruptions and climate: *Reviews of Geophysics* 38, 191-219. doi: 10.1029/1998rg000054
- Robock, A. 2015: Stratospheric Aerosol Geoengineering. I R. H. Knapp, B. G. Levi & D. M. Kammen (red.): *Physics of Sustainable Energy Iii*, 183-197,
- Robock, A. & Mao, J. P., 1992: Winter warming from large volcanic-eruptions: *Geophysical Research Letters* 19, 2405-2408. doi: 10.1029/92gl02627
- Stothers, R. B., 1984: The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath: *Science* 224, 1191-1198. doi: 10.1126/science.224.4654.1191
- Stothers, R. B., 1996: The great dry fog of 1783: *Climatic Change* 32, 79-89. doi: 10.1007/bf00141279
- Sun, W. Y., Wang, B., Liu, J., Chen, D. L., Gao, C. C., Ning, L. & Chen, L., 2019: How Northern High-Latitude Volcanic Eruptions in Different Seasons Affect ENSO: *Journal of Climate* 32, 3245-3262. doi: 10.1175/jcli-d-18-0290.1
- Thordarson, T. & Self, S., 2003: Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784

- Laki eruption: A review and reassessment: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 108. doi: 10.1029/2001jd002042
- Toohey, M., Kruger, K., Schmidt, H., Timmreck, C., Sigl, M., Stoffel, M. & Wilson, R., 2019: Disproportionately strong climate forcing from extratropical explosive volcanic eruptions: *Nature Geoscience* 12, 100-+. doi: 10.1038/s41561-018-0286-2
- Robock, A., 2000: Volcanic eruptions and climate: *Reviews of Geophysics* 38, 191-219. doi: 10.1029/1998rg000054
- Robock, A. 2015: Stratospheric Aerosol Geoengineering. I R. H. Knapp, B. G. Levi & D. M. Kammen (red.): *Physics of Sustainable Energy Iii*, 183-197,
- Robock, A. & Mao, J. P., 1992: Winter warming from large volcanic-eruptions: *Geophysical Research Letters* 19, 2405-2408. doi: 10.1029/92gl02627
- Sigl, M., Winstrup, M., McConnell, J. R., Welten, K. C., Plunkett, G., Ludlow, F., Büntgen, U., Caffee, M., Chellman, N., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Kipfstuhl, S., Kostick, C., Masselli, O. J., Mekhaldi, F., Mulvaney, R., Muscheler, R., Pasteris, D. R., Pilcher, J. R., Salzer, M., Schüpbach, S., Steffensen, J. P., Vinther, B. M. & Woodruff, T. E., 2015: Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years: *Nature* 523, 543. doi: 10.1038/nature14565
- Stothers, R. B., 1984: The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath: *Science* 224, 1191-1198. doi: 10.1126/science.224.4654.1191
- Stothers, R. B., 1996: The great dry fog of 1783: *Climatic Change* 32, 79-89. doi: 10.1007/bf00141279
- Sun, W. Y., Wang, B., Liu, J., Chen, D. L., Gao, C. C., Ning, L. & Chen, L., 2019: How Northern High-Latitude Volcanic Eruptions in Different Seasons Affect ENSO: *Journal of Climate* 32, 3245-3262. doi: 10.1175/jcli-d-18-0290.1
- Thordarson, T. & Self, S., 2003: Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 108. doi: 10.1029/2001jd002042
- Toohey, M., Kruger, K., Schmidt, H., Timmreck, C., Sigl, M., Stoffel, M. & Wilson, R., 2019: Disproportionately strong climate forcing from extratropical explosive volcanic eruptions: *Nature Geoscience* 12, 100-+. doi: 10.1038/s41561-018-0286-2
- Wanner, H., Bronnimann, S., Casty, C., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Schmutz, C., Stephenson, D. B. & Xoplaki, E., 2001: North Atlantic Oscillation - Concepts and studies: *Surveys in Geophysics* 22, 321-382. doi: 10.1023/a:1014217317898

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

520. Karlstedt, Filippa, 2017: P-T estimation of the metamorphism of gabbro to garnet amphibolite at Herrestad, Eastern Segment of the Sveconorwegian orogen. (45 hp)
521. Önnervik, Oscar, 2017: Ooider som naturliga arkiv för förändringar i havens geokemi och jordens klimat. (15 hp)
522. Nilsson, Hanna, 2017: Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark. (15 hp)
523. Christensson, Lisa, 2017: Geofysisk undersökning av grundvattenskydd för planerad reservvattentäkt i Mjölkalånga, Hässleholms kommun. (15 hp)
524. Stamsnijder, Joaen, 2017: New geochronological constraints on the Klipriviersberg Group: defining a new Neoproterozoic large igneous province on the Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
525. Becker Jensen, Amanda, 2017: Den eocena Furformationen i Danmark: exceptionella bevaringstillstånd har bidragit till att djurs mjukdelar fossiliserats. (15 hp)
526. Radomski, Jan, 2018: Carbonate sedimentology and carbon isotope stratigraphy of the Tallbacken-1 core, early Wenlock Slite Group, Gotland, Sweden. (45 hp)
527. Pettersson, Johan, 2018: Ultrastructure and biomolecular composition of sea turtle epidermal remains from the Campanian (Upper Cretaceous) North Sulphur River of Texas. (45 hp)
528. Jansson, Robin, 2018: Multidisciplinary perspective on a natural attenuation zone in a PCE contaminated aquifer. (45 hp)
529. Larsson, Alfred, 2018: Rb-Sr sphalerite data and implications for the source and timing of Pb-Zn deposits at the Caledonian margin in Sweden. (45 hp)
530. Baliya, Fisnik, 2018: Stratigraphy and pyrite geochemistry of the Lower–Upper Ordovician in the Lerhamn and Fågelsång-3 drill cores, Scania, Sweden. (45 hp)
531. Höglund, Nikolas, 2018: Groundwater chemistry evaluation and a GIS-based approach for determining groundwater potential in Mörbylånga, Sweden. (45 hp)
532. Haag, Vendela, 2018: Studie av mikrostrukturer i karbonatslagkägglor från nedslagsstrukturen Charlevoix, Kanada. (15 hp)
533. Hebrard, Benoit, 2018: Antropocen – vad, när och hur? (15 hp)
534. Jancsak, Nathalie, 2018: Åtgärder mot kusterosion i Skåne, samt en fallstudie av erosionsskydden i Löderup, Ystad kommun. (15 hp)
535. Zachén, Gabriel, 2018: Mesosideriter – redogörelse av bildningsprocesser samt SEM-analys av Vaca Muerta meteoriten. (15 hp)
536. Fägersten, Andreas, 2018: Lateral variability in the quantification of calcareous nannofossils in the Upper Triassic, Austria. (15 hp)
537. Hjertman, Anna, 2018: Förutsättningar för djupinfiltration av ytvatten från Ivösjön till Kristianstadbassängen. (15 hp)
538. Lagerstam, Clarence, 2018: Varför svalde svanödlor (Reptilia, Plesiosauroidea) stenar? (15 hp)
539. Pilser, Hannes, 2018: Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperaturer nära 0°C. (15 hp)
540. Christiansen, Emma, 2018: Mikroplast på och i havsbotten - Utbredningen av mikroplaster i marina bottensediment och dess påverkan på marina miljöer. (15 hp)
541. Staahlacke, Simon, 2018: En sammanställning av norra Skånes prekambrika berggrund. (15 hp)
542. Martell, Josefín, 2018: Shock metamorphic features in zircon grains from the Mien impact structure - clues to conditions during impact. (45 hp)
543. Chitindingu, Tawonga, 2018: Petrological characterization of the Cambrian sandstone reservoirs in the Baltic Basin, Sweden. (45 hp)
544. Chonewicz, Julia, 2018: Dimensionerande vattenförbrukning och alternativa vattenkvaliteter. (15 hp)
545. Adeen, Lina, 2018: Hur lämpliga är de geofysiska metoderna resistivitet och IP för kartläggning av PFOS? (15 hp)
546. Nilsson Brunlid, Anette, 2018: Impact of southern Baltic sea-level changes on landscape development in the Verkeån River valley at Haväng, southern Sweden, during the early and mid Holocene. (45 hp)
547. Perälä, Jesper, 2018: Dynamic Recrystallization in the Sveconorwegian Frontal Wedge, Småland, southern Sweden. (45 hp)
548. Artursson, Christopher, 2018: Stratigraphy, sedimentology and geophysical assessment of the early Silurian Halla and Klinteberg formations, Altajme core, Gotland, Sweden. (45 hp)
549. Kempengren, Henrik, 2018: Att välja den mest hållbara efterbehandlingsmetoden vid sanering: Applicering av beslutsstödsverktyget SAMLA. (45 hp)
550. Andreasson, Dagnija, 2018: Assessment of using liquidity index for the approxi-

- mation of undrained shear strength of clay tills in Scania. (45 hp)
551. Ahrenstedt, Viktor, 2018: The Neoproterozoic Visingsö Group of southern Sweden: Lithology, sequence stratigraphy and provenance of the Middle Formation. (45 hp)
552. Berglund, Marie, 2018: Basaltkuppen - ett spel om mineralogi och petrologi. (15 hp)
553. Hernnäs, Tove, 2018: Garnet amphibolite in the internal Eastern Segment, Sveconorwegian Province: monitors of metamorphic recrystallization at high temperature and pressure during Sveconorwegian orogeny. (45 hp)
554. Halling, Jenny, 2019: Characterization of black rust in reinforced concrete structures: analyses of field samples from southern Sweden. (45 hp)
555. Stevic, Marijana, 2019: Stratigraphy and dating of a lake sediment record from Lyngsjön, eastern Scania - human impact and aeolian sand deposition during the last millennium. (45 hp)
556. Rabanser, Monika, 2019: Processes of Lateral Moraine Formation at a Debris-covered Glacier, Suldenferner (Vedretta di Solda), Italy. (45 hp)
557. Nilsson, Hanna, 2019: Records of environmental change and sedimentation processes over the last century in a Baltic coastal inlet. (45 hp)
558. Ingered, Mimmi, 2019: Zircon U-Pb constraints on the timing of Sveconorwegian migmatite formation in the Western and Median Segments of the Idefjorden terrane, SW Sweden. (45 hp)
559. Hjorth, Ingeborg, 2019: Paleomagnetisk undersökning av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, för att bestämma dess utbrotthistoria. (15 hp)
560. Westberg, Märta, 2019: Enigmatic worm-like fossils from the Silurian Waukesha Lagerstätte, Wisconsin, USA. (15 hp)
561. Björn, Julia, 2019: Undersökning av påverkan på hydraulisk konduktivitet i förorenat område efter in situ-saneringsförsök. (15 hp)
562. Faraj, Haider, 2019: Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län. (15 hp)
563. Bjeremo, Tim, 2019: Eoliska avlagringar och vindriktningar under holocen i och kring Store Mosse, södra Sverige. (15 hp)
564. Langkjaer, Henrik, 2019: Analys av Östergötlands kommande grundvattenresurser ur ett klimtperspektiv - med fokus på förstärkt grundvattenbildning. (15 hp)
565. Johansson, Marcus, 2019: Hur öppet var landskapet i södra Sverige under Atlantisk tid? (15 hp)
566. Molin, Emmy, 2019: Litologi, sedimentologi och kolisotopstratigrafi över krita-paleogen-gränsintervallet i borrhningen Limhamn-2018. (15 hp)
567. Schroeder, Mimmi, 2019: The history of European hemp cultivation. (15 hp)
568. Damber, Maja, 2019: Granens invandring i sydvästa Sverige, belyst genom pollenanalys från Skottenesjön. (15 hp)
569. Lundgren Sassner, Lykke, 2019: Strandmorfologi, stranderosion och stranddeposition, med en fallstudie på Tylösand sandstrand, Halland. (15 hp)
570. Greiff, Johannes, 2019: Mesozoiska konglomerat och Skånes tektoniska utveckling. (15 hp)
571. Persson, Eric, 2019: An Enigmatic Cerapodian Dentary from the Cretaceous of southern Sweden. (15 hp)
572. Aldenius, Erik, 2019: Subsurface characterization of the Lund Sandstone - 3D model of the sandstone reservoir and evaluation of the geoenergy storage potential, SW Skåne, South Sweden. (45 hp)
573. Juliusson, Oscar, 2019: Impacts of subglacial processes on underlying bedrock. (15 hp)
574. Sartell, Anna, 2019: Metamorphic paragenesis and P-T conditions in garnet amphibolite from the Median Segment of the Idefjorden Terrane, Lilla Edet. (15 hp)
575. Végvári, Fanni, 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund