



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Suomessa

Essi Lappi

Maantiede
LuK-tutkielma
Laajuus: 6 op

29.4.2024

Turku

LuK-tutkielma

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Essi Lappi

Otsikko: NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Suomessa

Ohjaaja: Risto Kalliola

Sivumäärä: 39 sivua

Päivämäärä: 29.4.2024

NAO-ilmiö eli Pohjois-Atlantin värähtely on Islannin ja Azorien saariryhmän välisen ilmanpaine-eron aiheuttama ilmiö, joka vaikuttaa etenkin Euroopan talvisäähän. NAO-ilmiön vaihteluita kuvaavan NAO-indeksin ja lumen määrän välillä on havaittu olevan yhteys, joka vaihtelee sijainnista riippuen. Tämän yhteyden tutkiminen on tärkeää, sillä lumella on Suomessa suuri merkitys.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten NAO-indeksi ja Suomen eri kuntien lumensyvyys ovat vaihdelleet viimeisten 60 vuoden aikana ja millainen yhteys NAO-indeksin ja helmikuun loppupuolen keskimääräisellä lumensyvyydellä on Suomen eri kunnissa. Tavoitteena on myös selvittää, onko NAO-indeksin ja lumensyvyyden vaihteluissa havaittavissa trendejä. Tutkielmassa käytetään NAO-indeksin aineistona Climate Prediction Centerin aineistoa NAO-indeksin päivittäisistä arvoista ja lumensyvyyden aineistona Ilmatieteen laitoksen Havaintojen lataus -palvelun päivittäishavaintoja. Aineistoja analysoidaan määrällisesti ja analyysimenetelmänä käytetään regressioanalyysiä.

Tutkimuksen tuloksien perusteella helmikuun kahden viimeisen viikon keskimääräiset NAO-indeksin arvot ovat vuosina 1965–2024 vaihdelleet suuresti, ja NAO-indeksi on viime vuosina helmikuun lopulla ollut enimmäkseen positiivinen. Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun lopussa on Turussa vuosina 1965–2024 vaihdellut paljon ja Kajaanissa sekä Utsjoella melko paljon. Lumensyvyyden trendi on kaikissa kolmessa kunnassa laskeva, vaikka Kajaanissa ja Utsjoella trendi on ajoittain 20 vuoden ajanjaksojen sisällä kasvava. NAO-indeksi on yhteydessä lumensyvyyteen eri tavoin eri puolilla Suomea. Turussa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on koko tarkasteluajanjakson ajan ollut negatiivinen. Kajaanissa ja Utsjoella yhteys on kääntynyt negatiivisesta positiiviseksi.

NAO-indeksin viimeaikaiset positiiviset arvot voivat mahdollisesti johtua ilmastonmuutoksesta, sillä NAO-indeksin on tutkittu olevan kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyessä aikaisempaa korkeampi. Ilmastonmuutos on voinut johtaa myös lumensyvyyden vähenemiseen lämpötilojen kohotessa ja sateisuuden lisääntyessä. Turussa lumensyvyys on ollut suurinta silloin, kun sää on ollut kylmää ja kuivaa. Tämä johtuu luultavasti siitä, että jos sää olisi lämpimämpi, sade sataisi useammin lumen sijaan vetenä eikä lumi jäisi maahan. Kajaanissa ja Utsjoella lumensyvyys on positiivisen yhteyden vallitessa ollut suurinta silloin, kun sää on ollut lämpimämpää ja sateisempaa. Kajaanissa ja Utsjoella korkeammat talvilämpötilat eivät pohjoisemman sijainnin vuoksi vaikuta sateen olomuotoon yhtä paljoa kuin Turussa, jolloin sateisuuden lisääntyessä myös lumensyvyys on suurempaa. Myös muut tekijät NAO-indeksin ohella ovat voineet vaikuttaa lumensyvyyteen kolmessa Suomen kunnassa.

Tutkielman tulokset NAO-indeksin ja lumensyvyyden vaihteluista sekä NAO-indeksin yhteydestä lumensyvyyteen Suomessa voivat auttaa ymmärtämään paremmin maapallolla vallitsevien ilmastojärjestelmien toimintaa ja niiden vaikutuksia sääolosuhteisiin sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia ilmastojärjestelmiin ja säätilaan. Tutkielman tulokset NAO-indeksin ja lumensyvyyden välisestä yhteydestä vastaavat melko hyvin aikaisempia tuloksia aiheesta, mutta jatkotutkimusta NAO-ilmiöstä ja sen yhteydestä lumensyvyyden muutoksiin tarvitaan.

Avainsanat: NAO-indeksi, NAO-ilmiö, lumensyvyys, Suomi

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tutkimuksen viitekehys	6
2.1	NAO-ilmiö	6
2.2	Lumensyvyys Suomessa	7
2.3	NAO-ilmiön vaikutus sääolosuhteisiin	9
3	Tutkimusalueen kuvaus	12
4	Aineistot ja menetelmät	14
4.1	Aineistot	14
4.2	Aineistojen rajaus	14
4.3	Analyysimenetelmät	15
5	Tulokset	17
5.1	NAO-indeksin vaihtelu vuosina 1965–2024	17
5.2	Lumensyvyyden vaihtelu kolmessa Suomen kunnassa vuosina 1965–2024	19
5.2.1	Lumensyvyyden vaihtelu Turussa vuosina 1965–2024	19
5.2.2	Lumensyvyyden vaihtelu Kajaanissa vuosina 1965–2024	21
5.2.3	Lumensyvyyden vaihtelu Utsjoella vuosina 1965–2024	23
5.2.4	Trendiviivojen vertailu	25
5.3	NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys kolmessa Suomen kunnassa vuosina 1965–2024	26
5.3.1	NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Turussa vuosina 1965–2024	26
5.3.2	NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Kajaanissa vuosina 1965–2024	27
5.3.3	NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Utsjoella vuosina 1965–2024	29
5.3.4	Regressiosuorien vertailu	30
6	Keskustelu	32
7	Johtopäätökset	35
	Lähteet	36

1 Johdanto

NAO-ilmio (engl. North Atlantic Oscillation) eli Pohjois-Atlantin värähtely on Islannin ja Azorien saariryhmän välisen ilmanpaine-eron aiheuttama ilmio (Walker & Bliss 1932). NAO-ilmion voimakkuutta havainnollistetaan NAO-indeksin avulla, joka kuvaa Islannin ja Azorien välisen ilmanpaine-eron suuruutta (Nesje ym. 2000: 591). NAO-ilmio vaikuttaa etenkin Euroopan talvisäähän (George ym. 2004: 389).

NAO-ilmion vaihteluita kuvaavan NAO-indeksin ja lumen määrän välillä on havaittu olevan yhteys, joka kuitenkin vaihtelee sijainnista riippuen (George ym. 2004; Theakstone 2013; Spencer & Essery 2016). Suomessa kyseistä yhteyttä ei ole vielä tutkittu paljoa, joten tutkimustieto aiheesta on erityisen tärkeää. NAO-indeksin ja lumensyvyiden välisen yhteyden sekä lumensyvyiden muutoksien tutkiminen on tärkeää, sillä lumella on suuri merkitys Suomen luonnolle ja suomalaisille (Jylhä ym. 2008: 442). NAO-indeksin vaihteluiden selvittäminen taas auttaa ymmärtämään paremmin maapallon ilmaston toimintaa ja sitä kautta myös sään ominaisuuksien, kuten lumensyvyiden, muutoksia.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten NAO-indeksi ja Suomen eri kuntien lumensyvyys ovat vaihdelleet viimeisten 60 vuoden aikana ja millainen yhteys NAO-indeksin ja helmikuun loppupuolen keskimääräisellä lumensyvyydellä on Suomen eri kunnissa. Lisäksi tavoitteena on selvittää, onko NAO-indeksin ja lumensyvyiden vaihteluissa havaittavissa trendejä.

Tutkimuskysymyksetni ovat:

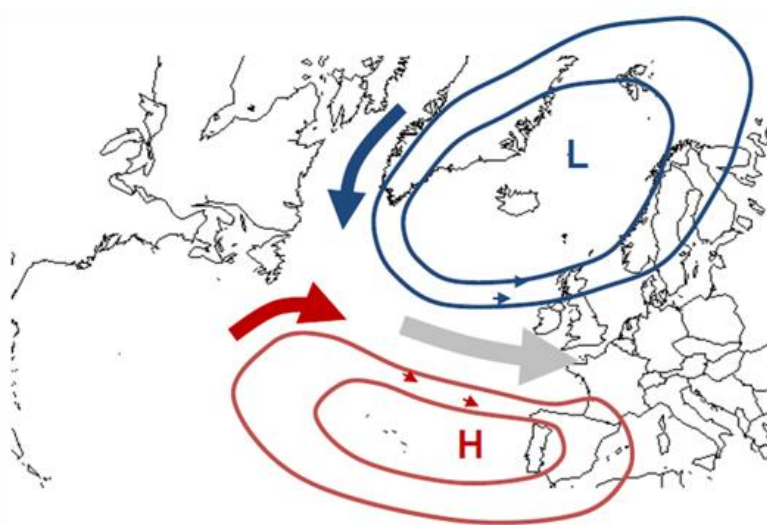
1. Miten NAO-indeksi on vaihdellut vuosina 1965–2024 ja onko kolmen 20 vuoden ajanjakson aikana havaittavissa trendejä?
2. Miten lumensyvyys on vaihdellut Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1965–2024 ja onko kolmen 20 vuoden ajanjakson aikana havaittavissa trendejä?
3. Millainen yhteys NAO-indeksillä ja lumensyvyydellä on ollut Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1965–2024?

Esittelen toisessa luvussa tutkimuksen viitekehyksen, jossa käsittelen NAO-ilmiötä, lumensyvyyttä Suomessa sekä NAO-ilmiön vaikutuksia sääolosuhteisiin. Tämän jälkeen kolmannessa luvussa esittelen tutkimusalueen eli tutkimukseen sisältyvät havaintoasemat. Neljännessä luvussa käsittelen käyttämiäni aineistoja NAO-indeksistä sekä lumensyvyydestä ja viidennessä luvussa käyn läpi saamiani tuloksia. Lopuksi keskustelu-luvussa pohdin syitä tuloksien taustalla sekä tuloksien merkitystä ja jatkotutkimuksen tarvetta.

2 Tutkimuksen viitekehys

2.1 NAO-ilmio

Islannin yllä sijaitsee suuri, suhteellisen pysyvä matalapaineen alue ja Portugalin Azorien saariryhmän yllä vastaavanlainen korkeapaineen alue (Rashid ym. 2012: 992). Nämä pysyvät ilmanpainealueet ovat osa maailmanlaajuisia ilmanpainejakaumaa, ja alueiden ilmanpaineiden välinen ero muodostaa NAO-ilmion (Tsanis & Tapoglou 2019: 323). Islannin matalapaineen ympärillä ilma kiertää vastapäivään ja Azorien matalapaineen kohdalla myötäpäivään (kuva 1), ja näiden kiertoliikkeiden vuoksi länsituulet ohjautuvat Eurooppaan (Zuba 2012).



Kuva 1. Ilmavirtojen liikkeet Islannin pysyvän matalapaineen ja Azorien pysyvän korkeapaineen ympäristössä. Lähde: Zuba 2012.

Länsituulet ovat muiden pysyvien tuulten tavoin osa maapallon ilmastojärjestelmää (Toggweiler 2009: 1434). Länsituulet puhaltavat keskileveyksien pysyvän korkeapaineen alueilta lännestä kohti napojen pysyvän matalapaineen alueita. Kun Islannin kohdalla sijaitsevan pysyvän matalapaineen alueella ilmanpaine on keskimääräistä alhaisempi ja vastaavasti Azorien korkeapaineen alueella ilmanpaine keskimääräistä korkeampi (Hurrell 1996: 666), pohjoiselta Atlantilta Eurooppaan puhaltavat länsituulet ovat tavallista voimakkaampia (Hurrell 1995: 676). Tyynenmeren ENSO-ilmio (engl. El Niño – Southern Oscillation) sekä pohjoisen Atlantin termohaliinikierto ovat NAO-ilmion ohella tunnettuja ilmavehän ja valtameren välisiä värähtelyilmiöitä (Nesje ym. 2000: 587), mutta NAO-ilmio on merkittävä ilmavehän kiertoliikkeen vaihteluihin vaikuttava tekijä erityisesti Euroopassa (Hurrell 1995: 676).

NAO-ilmion voimakkuutta kuvataan NAO-indeksillä (Hurrell 1995: 676). Kuukausittainen NAO-indeksi lasketaan Islannin matalapainealueen ja Azorien korkeapainealueen merenpinnan tasolla vallitsevien ilmanpaine-erojen avulla (Nesje ym. 2000: 591–592). Nämä arvot normalisoidaan jakamalla jokaisen kuukauden ilmanpaine-ero vuosien 1865–1984 välisen ilmanpaineen keskihajonnalla. NAO-indeksi perustuu Islannin ja Azorien väliseen eroon normalisoidussa merenpinnan tason ilmanpaineessa vuodesta 1865 nykyhetkeen asti. Islannin ja Azorien välisen ilmanpaine-erojen mittaamisessa käytetään havaintoasemina usein Islannin Stykkisholmuriä ja Azorien Ponta Delgadaa (Nesje ym. 2000: 591; Tsanis & Tapoglou 2019: 323). Ilmanpaine-eron mittaamiseen voidaan kuitenkin käyttää muidenkin läheisten paikkojen, kuten Lissabonin tai Gibraltarin, asemia (Tsanis & Tapoglou 2019: 323).

Kun NAO-indeksi on positiivinen, Islannin matalapainealueen ja Azorien korkeapainealueen välinen ilmanpaine-ero on keskimääräistä suurempi (What is the NAO? 2021). Tällainen tilanne syntyy, kun joko Islannin matalapaine tai Azorien korkeapaine on keskimääräistä voimakkaampi tai kun molemmat ovat samanaikaisesti keskimääräistä voimakkaampia. Negatiivisen NAO-indeksin aikaan Islannin ja Azorien ilmanpaineen välillä vallitseva ero on vastavasti keskimääräistä pienempi, ja tällöin joko Islannin matalapaine tai Azorien korkeapaine tai molemmat ovat keskimääräistä heikompia.

NAO-ilmioilla on arveltu olevan yhteys ilmastonmuutokseen (Arganis-Juárez ym. 2014: 91), sillä NAO-ilmion muutoksien ja kasvihuonekaasupäästöjen välillä on todetusti yhteys (Gillett ym. 2002: 6). NAO-indeksin arvot ovat kasvihuonekaasujen määrän kasvaessa nimittäin olleet aikaisempaa suurempia. NAO-indeksin on myös tulevaisuudessa ennustettu saavan talvisin yhä korkeampia arvoja samalla, kun ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät (McKenna & Maycock 2022: 1).

2.2 Lumensyvyys Suomessa

Lumiolosuhteisiin eniten vaikuttavat tekijät ovat sademäärä sekä lämpötila (Luomaranta ym. 2019: 3148). Sademäärän lisääntyminen johtaa yleensä suurempaan lumisateen ja kasaantuneen lumen määrään, mutta toisaalta lämpötilan nousu johtaa lumisateen osuuden vähenemiseen sekä suurempaan lumen sulamiseen (Räisänen 2008: 307). Lumen määrään ja lumensyvyyteen vaikuttaa siis olennaisesti se, millaisessa tasapainossa sademäärä ja lämpötila ovat. Sademäärän ja lämpötilan lisäksi kohteen korkeus merenpinnasta voi vaikuttaa lumensyvyyteen (Spencer &

Essery 2016: 627). Tämä johtuu siitä, että matalammat alueet ovat usein lämpimämpiä kuin korkealla merenpinnasta sijaitsevat alueet, jolloin sade tulee siellä harvemmin lumena ja maassa oleva lumi sulaa nopeammin.

Suomessa lumensyvyys on tyypillisesti suurimmillaan maaliskuun puolivälissä (Seasons in Finland s.a.). Pohjois-Suomessa lumensyvyys on suurimmillaan maaliskuussa (Merkouriadi ym. 2016: 49) tai huhtikuun alussa (Talvien lumista ja lumisuudesta s.a.). Maaliskuussa lumensyvyys on suurinta Pohjois- ja Itä-Suomessa ja pienintä Länsi- ja Lounais-Suomessa. Lumensyvyyttä mitataan Ilmatieteen laitoksella yli 180 asemalla, joista osalla mittaus tapahtuu manuaalisesti ja osalla automaattisesti (Lumensyvyyden mittaus on taitolaji s.a.). Manuaalisesti lumensyvyys mitataan lumikepillä, jossa on senttimetriasteikko. Automaattinen lumensyvyyden mittaus taas tapahtuu ultraäänellä toimivan etäisyysmittauksen avulla.

Vuosina 1961–2014 jokaisen talvikuukauden keskimääräinen lumensyvyys on lähes koko Suomessa vähentynyt (Luomaranta ym. 2019: 3153). Lumensyvyys on vähentynyt eniten helmi- ja maaliskuussa Länsi- ja Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa lumensyvyys on pienentynyt vähemmän kuin eteläisessä Suomessa tai jopa pysynyt samana (Luomaranta ym. 2019: 3157). Pohjois-Suomen lumensyvyydessä vuosina 1982–2011 ei ole havaittavissa nousevaa eikä laskevaa trendiä (Merkouriadi ym. 2016: 50). Tämä voi johtua siitä, että ilmaston lämmitessä ilmamassat tuovat mukanaan enemmän kosteutta ja näin ollen myös enemmän lumisateita. Suomen eteläisissä osissa lumensyvyys on kuitenkin leutojen talvien ja mereisemmän ilmaston vuoksi Pohjois-Suomea herkempää lämpötilan nousemiselle (Luomaranta ym. 2019: 3153).

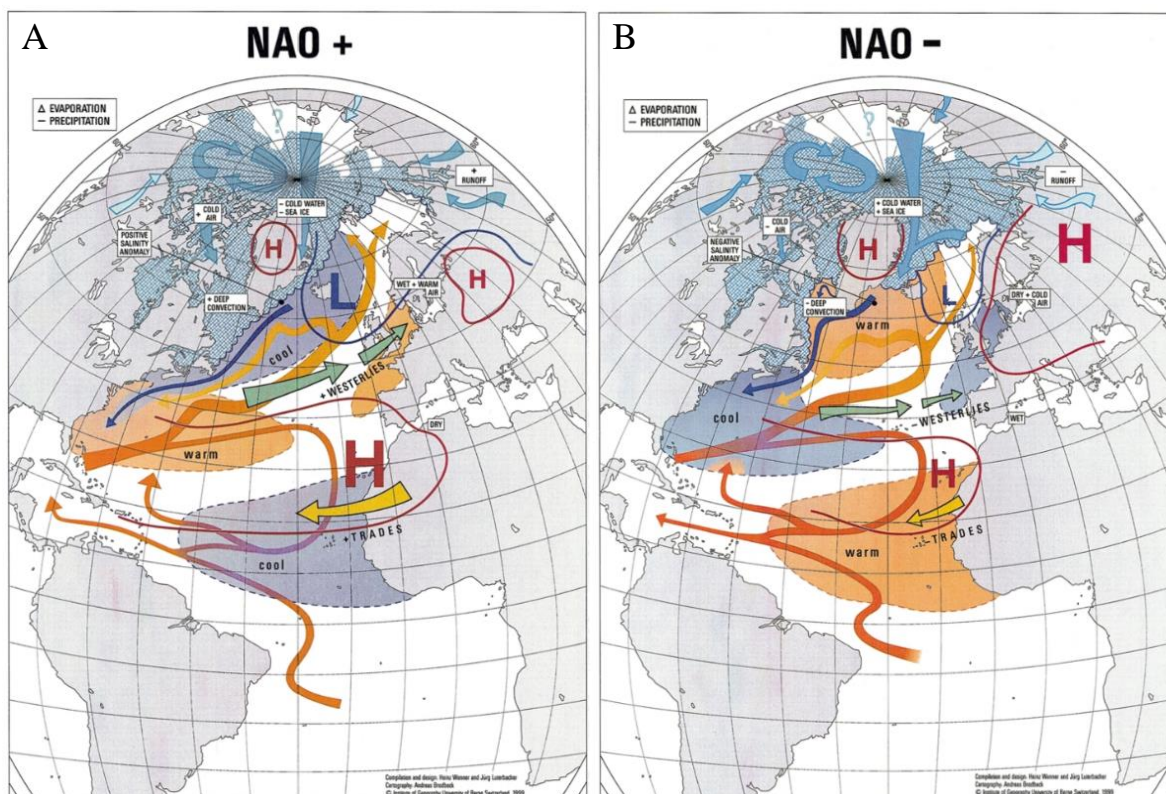
Lumen määrän on ennustettu vähenevän Pohjois-Euroopassa (Räisänen & Eklund 2012: 2589–2590). Tämä johtuisi siitä, että talvien sademäärä tulee lisääntymään ja samanaikaisesti lämpötila tulee kasvamaan. Talvien lämpenemisen seurauksena suurempi osa sateesta tulee vetenä ja lumen sulamisjaksoista tulee yleisempiä. Ennusteiden mukaan Lounais-Suomessa ei 2000-luvun loppuun mennessä tule olemaan talvisin enää juurikaan lunta (Räisänen & Eklund 2012: 2590). Kasvihuonekaasupäästöjen määrän lisääntymisestä seuraavalla ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan suuria vaikutuksia lumen ominaisuuksiin ja määrään tulevaisuudessa (Irannezhad ym. 2016: 110): lumen määrän vähenemisen ennustetaan kiihtyvän kasvavien kasvihuonekaasupäästöjen seurauksena (Räisänen & Eklund 2012: 2589). Tämä johtuu siitä, että sademäärät ja lämpötilat tulevat ilmastonmuutoksen myötä muuttumaan (Irannezhad ym. 2016:

110). Talvilämpötilojen nouseminen voi johtaa kylmien päivien vähenemiseen ja edelleen lumisateen ja lumen kasaantumisen vähenemiseen.

Lumella on Suomessa tärkeä hydrologinen merkitys (Irannezhad ym. 2016: 110). Lumi ohjaa veden virtaamaa, sillä se varastoi vettä talvisin ja vapauttaa sen keväisin lumen sulaessa, jotta kasvukausi pääsee alkamaan (Merkouriadi ym. 2016: 47). Lumi myös heijastaa lyhytaaltoista säteilyä ja tarjoaa lämmöneristystä. Lumipeite on tärkeää maaekosysteemeille, etenkin talvehetiville eläimille ja kasveille (Jylhä ym. 2008: 442). Tämän lisäksi lumella on Suomessa suuri merkitys ihmisille. Lumi on nimittäin tärkeää esimerkiksi metsätaloudelle, virkistymiselle, terveydelle sekä maanviljelylle. Tämän lisäksi lumi vaikuttaa merkittävästi turismiin sekä poronhoitoon Suomessa (Merkouriadi ym. 2016: 47). Ilmastonmuutoksen aiheuttamasta lumen määrän vähenemisestä voi seurata turismille merkittäviä haittoja (Merkouriadi ym. 2016: 48).

2.3 NAO-ilmion vaikutus sääolosuhteisiin

NAO-ilmion voimakkuuden vaihtelun on todettu olevan yhteydessä pohjoisen pallonpuoliskon, etenkin Euroopan, säähän ja ilmastonvaihteluihin (George ym. 2004: 389). Positiivinen NAO-indeksi johtaa usein melko leutoihin ja sateisiin talviin Pohjois-Euroopassa sekä kylmiin ja kuiviin talviin eteläisessä Euroopassa (kuva 2A) (Hurrell 1995: 678; Dong ym. 2011: 1622; McKenna & Maycock 2022: 1). Negatiivisen NAO-indeksin aikaan päinvastaiset sääolosuhteet vallitsevat (kuva 2B) (Dong ym. 2011: 1622). NAO-ilmion vaikutukset Euroopan säähän ovat seurausta siitä, että Islannin ja Azorien välinen ilmanpaine-ero ohjaa keskileveyksien talvimyrskyjä itään ja koilliseen päin (Nesje ym. 2000: 587; Dong ym. 2011: 1621). Positiivisen NAO-indeksin aikaan nämä myrskyt kuljettavat mukanaan matalapaineita, jotka tuovat kosteaa ja leutoa ilmaa sekä voimakkaita sateita Luoteis-Eurooppaan. Pohjoisessa Euroopassa positiivisen NAO-indeksin vallitessa voimakkaiden myrskyjen todennäköisyys lisääntyy ja erittäin alhaisia lämpötiloja esiintyy tavallista vähemmän (Tsanis & Tapoglou 2019: 323).



Kuva 2. NAO-ilmio A. positiivisen NAO-indeksin aikaan, B. negatiivisen NAO-indeksin aikaan. Lähde: Wanner ym. 2001: 354–355.

Vaikka NAO-ilmion vaikutukset sähän ovatkin selvästi merkittävimpiä talvisin, on NAO-ilmioyllä yhteys myös kesän sähän (Folland ym. 2009: 1082). Kesäisin positiivinen NAO-indeksi on ollut yhteydessä kuivaan ja lämpimään sähän Luoteis-Euroopassa ja Skandinaviassa sekä kosteaan ja viileään sähän Etelä-Euroopassa (Folland ym. 2009: 1101). Kesällä NAO-ilmio ei kuitenkaan ole alueellisesti yhtä laaja kuin talvella, ja se sijoittuu pohjoisemmaksi kuin talvisin (Folland ym. 2009: 1100).

NAO-ilmio on tutkitusti yhteydessä lumisuuteen (George ym. 2004; Theakstone 2013; Spencer & Essery 2016). Pohjoisessa Euraasiassa lumen kasaantumiseen nimittäin vaikuttavat erityisesti ilmakedän kiertoilikkeet, kuten NAO-ilmio (Popova 2007: 1732). Positiivinen NAO-indeksi on esimerkiksi Itämeren rannoilla ja Fennoskandiassa ollut yhteydessä lumen kasaantumisen vähenemiseen. Tämä johtuu todennäköisesti leudoista talvista, kun lunta sulaa enemmän ja suurempi osa sateista tulee vetenä kuin kylmempinä talvina.

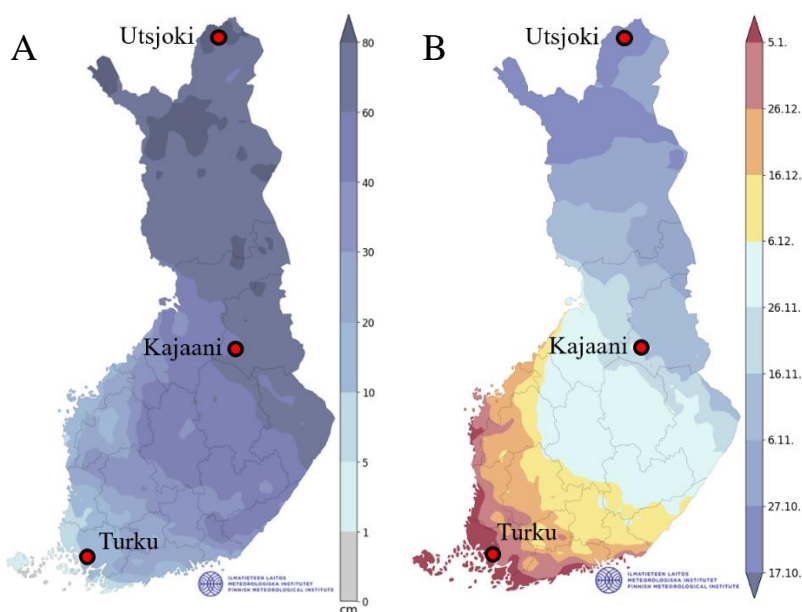
NAO-ilmiön ja lumisuuden välinen yhteys kuitenkin vaihtelee alueellisesti (George ym. 2004; Theakstone 2013; Spencer & Essery 2016). Sekä Skotlannissa että Luoteis-Englannissa positiivisen NAO-indeksin aikaan lumipeitepäivien määrä on ollut pienempi kuin silloin, kun indeksi on ollut negatiivinen (George ym. 2004: 392; Spencer & Essery 2016: 624). Luoteis-Englannissa positiivinen NAO-indeksi on ollut yhteydessä myös suurempaan sademäärään ja korkeampaan ilman lämpötilaan kuin negatiivisen indeksin aikaan (George ym. 2004: 392). Pohjois-Norjassa Nordlandin läänin alueella taas positiivinen NAO-indeksi on ollut yhteydessä suureen myrskyjen tuomaan lumen määrään (Theakstone 2013: 31). Kuitenkin myös Nordlandin alueella positiivinen NAO-indeksi on liittynyt lämpimämpiin talvisäihin.

Myös Suomessa NAO-indeksillä on tutkittu olevan yhteys lumen määrään (George ym. 2004). Etelä-Suomessa Lammin Pääjärvellä lumensyvyys on ollut suurempi silloin, kun NAO-indeksi on ollut negatiivinen (George ym. 2004: 392). Positiivinen NAO-indeksi taas on ollut yhteydessä suurempaan sademäärään ja korkeampiin lämpötiloihin. Suomessa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys muistuttaa siis Isosta-Britanniasta saatuja tuloksia. Positiivisen NAO-indeksin yhteys korkeampiin talvilämpötiloihin Suomessa vastaa Luoteis-Englannin ja Pohjois-Norjan tilannetta.

3 Tutkimusalueen kuvaus

Tarkastelen tutkielmassani NAO-indeksin ja lumensyvyuden välistä yhteyttä Etelä-Suomessa Turussa, Keski-Suomessa Kajaanissa ja Pohjois-Suomessa Utsjoella. Valitsin havaintoasemiksi Turusta lentoaseman ja Artukaisen, Kajaanista lentoaseman ja Paltaniemen sekä Utsjoelta Kevon. Turusta ja Kajaanista valitsin kaksi eri havaintoasemaa, sillä kummastakaan kunnasta Ilmatieteen laitokselta ei ollut saatavilla yhtenäistä mittausjaksoa vuodesta 1965 vuoteen 2024. Turun kohdalla lumensyvyyshavainnot päättyivät lentoasemalla heinäkuussa vuonna 2006 ja alkavat Artukaisissa vuoden 2005 joulukuussa. Kajaanin lentoaseman havainnot päättyvät vuoteen 2000 ja Paltaniemen havainnot alkavat samana vuonna.

Valitsin kyseiset kunnat tarkasteluun sen perusteella, että ne ovat suunnilleen yhtä etäällä toisistaan pohjois-eteläsuunnassa tarkasteltuna. Valintani perustuu myös kuntien välisiin eroihin tyypillisessä lumensyvyudessa: maaliskuun puolivälissä vuosina 1991–2020 lumensyvyys on ollut Turussa keskimäärin noin 10–20 cm, Kajaanissa noin 40–60 cm ja Utsjoella noin 60–80 cm (kuva 3A). Kuntien välillä on eroja myös pysyvän lumipeitteen tulon keskimääräisessä ajankohdassa vuosina 1990–2020, sillä Turkuun pysyvä lumipeite tulee tammikuun alussa, Kajaaniin marraskuun loppupuolella ja Utsjoelle jo lokakuun loppupuolella (kuva 3B). Haluan tutkia, miten kuntien sijainti eri leveysasteilla Suomen sisällä sekä erot tyypillisessä lumensyvyudessa vaikuttavat tutkittavaan ilmiöön.



Kuva 3. Valitsemani tarkastelukunnat ja A. tyypillinen lumensyvyys senttimetreinä 15.3. vertailukaudella 1991–2020, B. pysyvän lumipeitteen tulon ajankohta vertailukaudella 1991–2020. Lähde: Talvien lumista... s.a., kunnat lisätty itse.

Turku sijaitsee Varsinais-Suomen maakunnassa (Kuntien ja maakuntien... s.a.), ja sen kokonaispinta-ala on noin 310 km² (Tilastot s.a.). Turussa vuosina 1991–2020 helmikuun keskimääräinen lämpötila on ollut -4,0 °C ja sademäärä 41 mm (Lämpötila- ja sadetilastoja... s.a.). Turun lentoaseman havaintoasema sijaitsee viiden kilometrin päässä Turun keskustasta, ja asemalta on rannikolle yli 10 kilometriä (Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat s.a.). Havaintoaseman välittömässä läheisyydessä on avointa nurmialuetta ja lähiympäristössä sekä viljelymaata että metsää. Havaintoasema sijaitsee 45 metrin korkeudella merenpinnasta. Turun Artukaisten havaintoasema sijaitsee Raisionjoen laaksossa myös viiden kilometrin päässä Turun keskustasta, lähellä rannikkoa. Havaintoasema sijaitsee kahdeksan metrin korkeudella merenpinnasta. Kyseiset havaintoasemat sijaitsevat noin kahdeksan kilometrin etäisyydellä toisistaan.

Kajaani sijaitsee Kainuun maakunnassa (Kuntien ja maakuntien... s.a.), ja sen kokonaispinta-ala on noin 2 260 km² (Tilastot s.a.). Kajaanissa helmikuun keskimääräinen lämpötila on vuosina 1991–2020 ollut -9,5 °C ja sademäärä 30 mm (Lämpötila- ja sadetilastoja... s.a.). Kajaanin lentoaseman havaintoasema sijaitsee 132 metrin korkeudella merenpinnasta ja Paltaniemen havaintoasema 134 metrin korkeudella merenpinnasta (Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat s.a.). Ilmatieteen laitokselta ei ollut saatavilla ympäristökuvauksia Kajaanin lentoaseman tai Paltaniemen havaintoasemista. Kyseiset havaintoasemat sijaitsevat noin kahden kilometrin etäisyydellä toisistaan.

Utsjoki sijaitsee Lapin maakunnassa (Kuntien ja maakuntien... s.a.), ja sen kokonaispinta-ala on noin 5 370 km² (Tilastot s.a.). Utsjoella vuosina 1991–2020 helmikuun keskimääräinen lämpötila on ollut -12,5 °C ja sademäärä 28 mm (Lämpötila- ja sadetilastoja... s.a.). Utsjoen Kevon havaintoasema sijaitsee Utsjoen kanjonissa noin 15 kilometrin päässä Utsjoen taajamasta (Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat s.a.). Havaintoaseman lähiympäristö on tunturimaastoa, jossa kasvaa mäntyä sekä tunturikoivua. Havaintoasema sijaitsee 107 metrin korkeudella merenpinnasta.

4 Aineistot ja menetelmät

4.1 Aineistot

Käytän tutkielmassa NAO-indeksin aineistona Climate Prediction Centerin verkkosivuilta ladattua aineistoa NAO-indeksin päivittäisistä arvoista (North Atlantic Oscillation... s.a.). Aineiston tiedot alkavat vuoden 1950 tammikuusta. Latasin aineiston 3.3.2024. Climate Prediction Centerin kuukausittainen NAO-indeksi on laskettu Barnstonin ja Livezey'n (1987) RPC-analyysiä (engl. Rotated Principal Component) käyttäen (Teleconnection Pattern... s.a.). RPC-analyysissä käytettävien ruudukkopisteiden avulla voidaan kuvata ilmanpainealueiden liikkumista ja pysyvyyttä (Barnston & Livezey 1987: 1083). Analyysi on alun perin toteutettu käyttäen leveysasteiden 20–85 °N välisellä alueella 358:aa ruudukkopistettä (Barnston & Livezey 1987: 1086), jotka sijaitsevat tasaisten välimatkojen päässä toisistaan joka viidennellä leveyspiirillä (Barnston & Livezey 1987: 1085). Climate Prediction Centerin NAO-indeksiaineistoa varten RPC-analyysissä on käytetty leveysasteita 20–90 °N ja tietoja vuosilta 1950–2000 (Teleconnection Pattern... s.a.). Päivittäiset NAO-indeksit on saatu interpoloimalla kuukausittaisista arvoista.

Lumensyvyysaineistona käytän tutkielmassa Ilmatieteen laitoksen Havaintojen lataus -palvelun kautta ladattuja päivittäishavaintoja lumensyvyydestä vuosilta 1965–2024 (Havaintojen lataus s.a.). Latasin aineistot jokaisen havaintoaseman osalta erikseen 6.3.2024. Vuorokausikohtainen lumensyvyys mitataan Ilmatieteen laitoksella aamuisin kello 8 (Lisätietoa havaintosuureista s.a.). Aineiston arvot -1 tarkoittavat sitä, että havaintoasemalla ei ole lunta. Myös arvot 0 tarkoittavat, että havaintoasemalla ei ole lunta, mutta tällöin aseman lähiympäristössä avoimella alueella on lunta.

4.2 Aineistojen rajaus

Valitsin tutkittavan ilmiön tarkastelujaksoksi vuosilta 1965–2024 helmikuun kaksi viimeistä viikkoa. Esitän tulokset 20 vuoden jaksoissa, sillä se on tarpeeksi pitkä aika mittaamaan muutosta mutta ei yksinkertaista ilmiön muutoksia liikaa. Haluan tarkastella NAO-indeksin ja lumensyvyyden yhteyttä silloin, kun NAO-ilmiön voimakkuuden vaihteluväli sekä alueellinen laajuus ovat suurimmillaan, sillä oletan, että tutkittava ilmiö on tällöin helpompi havaita. NAO-ilmiön muutokset ovat voimakkaimmillaan joulukuun ja helmikuun välisenä aikana (Nesje ym.

2000: 592), joten valitsemani tarkasteluajankohta soveltuu tarkoitukseeni hyvin. Valitsin kahden viikon pituisen jakson sen vuoksi, että siinä ajassa NAO-indeksi ja lumensyvyys eivät ehdi vaihdella kohtuuttoman paljoa, mutta lumen kasaantuminen sekä sulaminen tulevat huomioon otetuksi.

Valitsin helmikuun kaksi viimeistä viikkoa tarkasteluun myös siksi, että haluan tutkia ilmiötä silloin, kun lumensyvyys on suuri. Arvelen, että NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on myös tällöin helpompi havaita. Suomessa lumensyvyys on suurimmillaan yleensä maaliskuun puolivälissä (Talvien lumista... s.a.). Valitsemani ajankohta sopii siis tarkasteluun hyvin, sillä se on melko lähellä maaliskuun puoliväliä. Lisäksi esimerkiksi vuonna 2016 Turun Artukaisissa ehjä lumipeite tuli vasta 12.1. (Talvien lumista... s.a.), joten joulukuun tai tammi-kuun tarkastelu olisi voinut aiheuttaa tältä kannalta haasteita.

4.3 Analyysimenetelmät

Käyttämäni aineistot vaativat jonkin verran muokkaamista. Rajasin ensin NAO-indeksiaineiston tiedot Excel-sovelluksessa alkamaan vuodesta 1965. Seuraavaksi suodatin aineistosta muut kuukaudet paitsi helmikuun pois. Tämän jälkeen rajasin aineiston koskemaan helmikuun kahta viimeistä viikkoa eli päiviä 15–29. Kun sain haluamani tarkastelujakson rajattua aineistosta, laskin helmikuun kahdelle viimeiselle viikolle NAO-indeksin keskiarvon jokaisen vuoden osalta.

Muutin lumensyvyysaineistojen arvot -1 arvoiksi 0, jotta lumensyvyyden keskiarvojen laskeminen onnistuu. Kaikkien havaintoasemien lumensyvyysaineistosta suodatin muut kuukaudet paitsi helmikuun pois ja rajasin aineiston koskemaan helmikuun päiviä 15–29. Myös lumensyvyydestä laskin keskiarvot helmikuun kahdelle viimeiselle viikolle jokaisen vuoden osalta.

Laskin NAO-indeksin keskiarvot sekä suurimman ja pienimmän NAO-indeksin arvot kaikkien ajanjaksojen osalta. Myös lumensyvyyden osalta laskin kaikkien ajanjaksojen keskiarvot sekä suurimman ja pienimmän lumensyvyyden arvot. Laskin nämä käyttäen Excel-sovelluksen keskiarvo-, maks- ja min-laskukaavoja.

Muodostin saamistani NAO-indeksin keskiarvoista Excel-sovelluksessa kuvaajat kolmelta 20 vuoden ajanjaksolta ja laitoin kuvaajiin näkyviin suuntaviivan sekä sen yhtälön kaavan ja selityksasteen. Lumensyvyuden keskiarvoista muodostin kuvaajat jokaisen kunnan osalta kolmelta 20 vuoden ajanjaksolta ja laitoin kuvaajiin näkyviin suuntaviivan sekä sen yhtälön kaavan ja selityksasteen. Vaikka Turussa on vuonna 2006 sekä lentoaseman että Artukaisten havaintoasemalta havaintoja, päätin käyttää kyseiseltä vuodelta Artukaisten aseman havaintoja. Tällöin tarkastelujakso 2005–2024 on eheämpi, kun mukana on vain yksi havainto lentoaseman havaintoasemalta.

Analysoin aineistoja määrällisesti ja analyysimenetelmänä käytin regressioanalyysiä. Muodostin Excel-sovelluksessa regressiokuvaajia, joissa on jokaisen kunnan osalta sekä NAO-indeksin että lumensyvyuden keskiarvot helmikuun kahdelta viimeiseltä viikolta vuosilta 1965–2024. Muodostin kunkin kunnan osalta kolme eri regressiokuvaajaa, joista jokainen käsittää 20 vuoden mittaisen jakson. Laitoin kuvaajiin näkyviin suuntaviivan sekä sen yhtälön kaavan ja selityksasteen. Yhteensä muodostin yhdeksän regressiokuvaajaa.

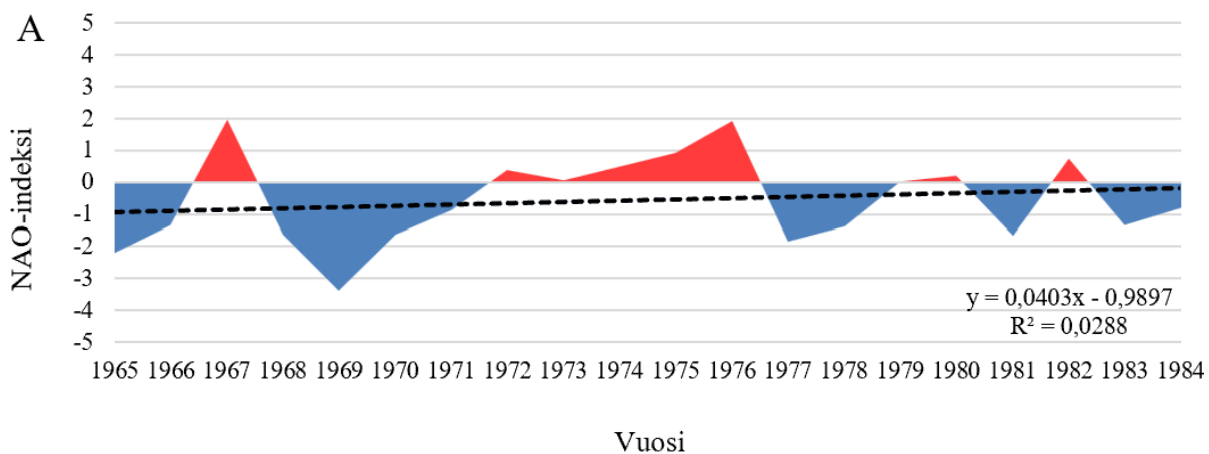
5 Tulokset

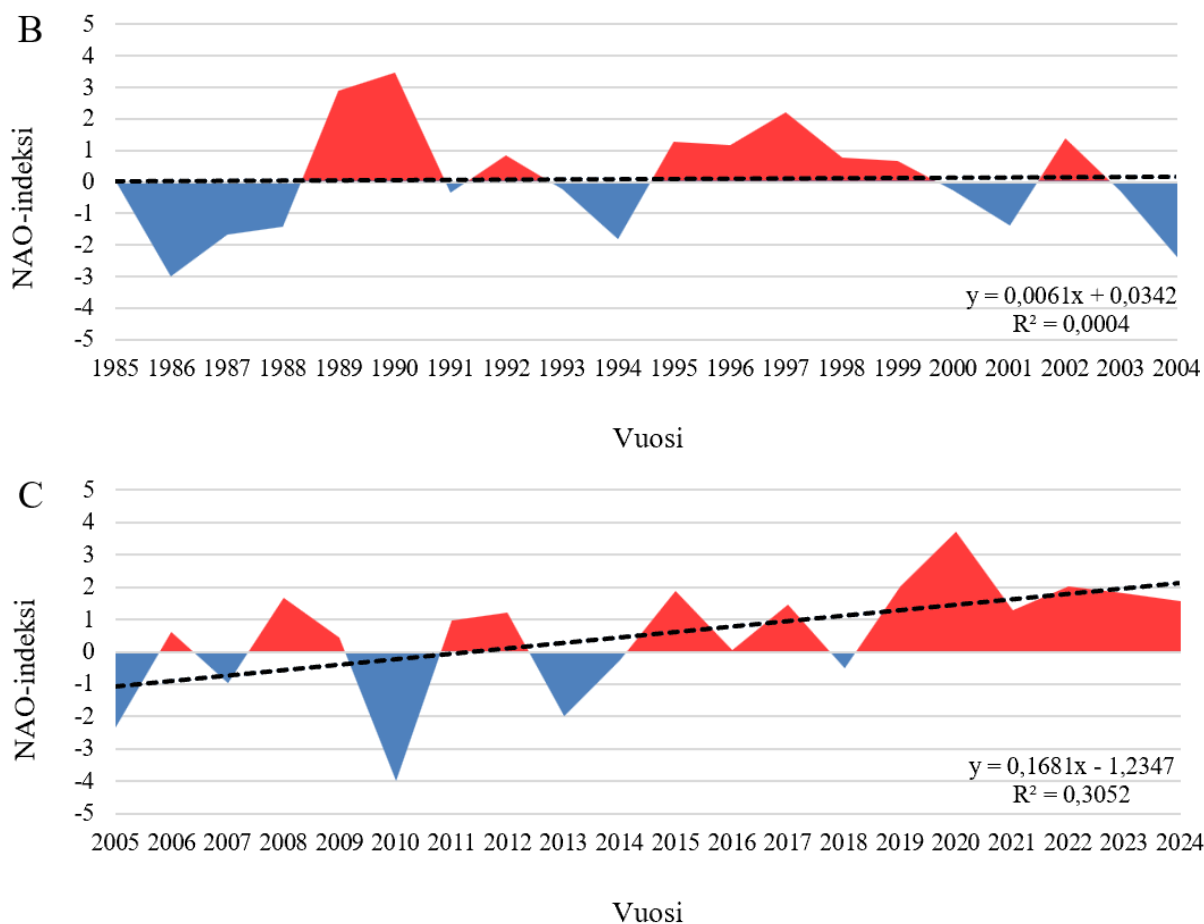
5.1 NAO-indeksin vaihtelu vuosina 1965–2024

Helmikuun kahden viimeisen viikon keskimääräiset NAO-indeksin arvot ovat vuosina 1965–2024 vaihdelleet suuresti. NAO-indeksin arvot ovat vuodesta 1965 vuoteen 1971 olleet vuotta 1967 lukuun ottamatta negatiivisia, ja vuodesta 1972 eteenpäin NAO-indeksin arvot ovat vaihdelleet positiivisen ja negatiivisen välillä (kuva 4A). Vuosien 1965–1984 välillä NAO-indeksin muutoksia kuvaavan trendiviivan kulmakerroin on ollut noin 0,04 eli NAO-indeksin arvoissa on havaittavissa loivasti kasvava trendi.

Vuosien 1985–2004 välillä NAO-indeksin arvot ovat vaihdelleet positiivisen ja negatiivisen välillä, mutta positiiviset jaksot ovat olleet keskimäärin pidempiä, ja niiden aikana NAO-indeksin itseisarvot ovat olleet keskimäärin suurempia kuin negatiivisten jaksoiden aikana (kuva 4B). NAO-indeksin arvojen positiivisia jaksoja on vuodesta 1989 eteenpäin ollut keskimäärin useammin kuin vuoteen 1988 asti. Vuosien 1985–2004 välillä NAO-indeksin muutoksia kuvaavan trendiviivan kulmakerroin on ollut noin 0,006 eli NAO-indeksin arvoissa ei ole havaittavissa merkittävää trendiä.

Vuosien 2005–2015 välillä NAO-indeksi NAO-indeksin arvot ovat joka vuosi tai joka toinen vuosi vaihdelleet positiivisen ja negatiivisen välillä (kuva 4C). Viimeisen kymmenen vuoden ajan NAO-indeksin arvojen voidaan havaita olleen pelkästään positiivisia vuotta 2018 lukuun ottamatta. Vuosien 2005–2024 välillä NAO-indeksin muutoksia kuvaavan trendiviivan kulmakerroin on ollut noin 0,17 eli NAO-indeksin arvoissa on havaittavissa kasvava trendi.





Kuva 4. Keskimääräinen NAO-indeksi helmikuun kahtena viimeisenä viikkona A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähde: North Atlantic Oscillation... s.a.

Kunkin 20 vuoden ajanjakson NAO-indeksin keskiarvo sekä suurin arvo ovat edellistä ajanjaksoa suurempia (taulukko 1), joten näiden osalta NAO-indeksin arvoissa voidaan havaita koko 60 vuoden ajanjakson aikana olevan kasvava trendi. NAO-indeksin keskiarvo on myös viimeisten 40 vuoden aikana ollut suurempi kuin vuosien 1965–2024 keskiarvo. NAO-indeksi on kuitenkin saavuttanut pienimmän arvonsa -3,99 viimeisimmän ajanjakson aikana, vuonna 2010, mikä ei ilmennä kasvavaa trendiä. Toisaalta tämä voi kertoa indeksin kasvaneista ääriarvoista.

Taulukko 1. NAO-indeksin keskiarvo sekä suurin ja pienin keskimääräinen NAO-indeksi helmikuun kahtena viimeisenä viikkona. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

Ajanjakso	Keskiarvo	Suurin NAO-indeksi	Pienin NAO-indeksi
1965–1984	-0,57	1,98	-3,37
1985–2004	0,10	3,47	-3,00
2005–2024	0,53	3,70	-3,99
1965–2024	0,02	3,70	-3,99

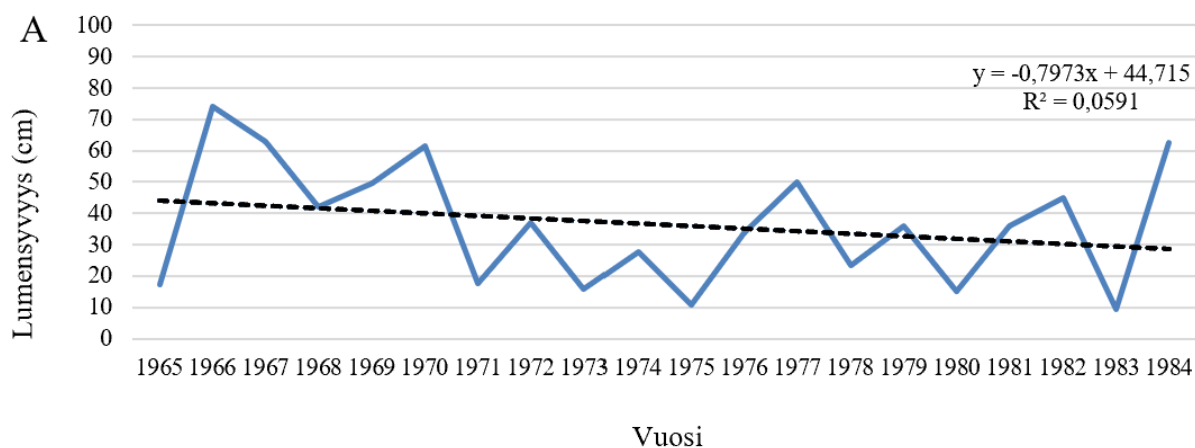
5.2 Lumensyvyiden vaihtelu kolmessa Suomen kunnassa vuosina 1965–2024

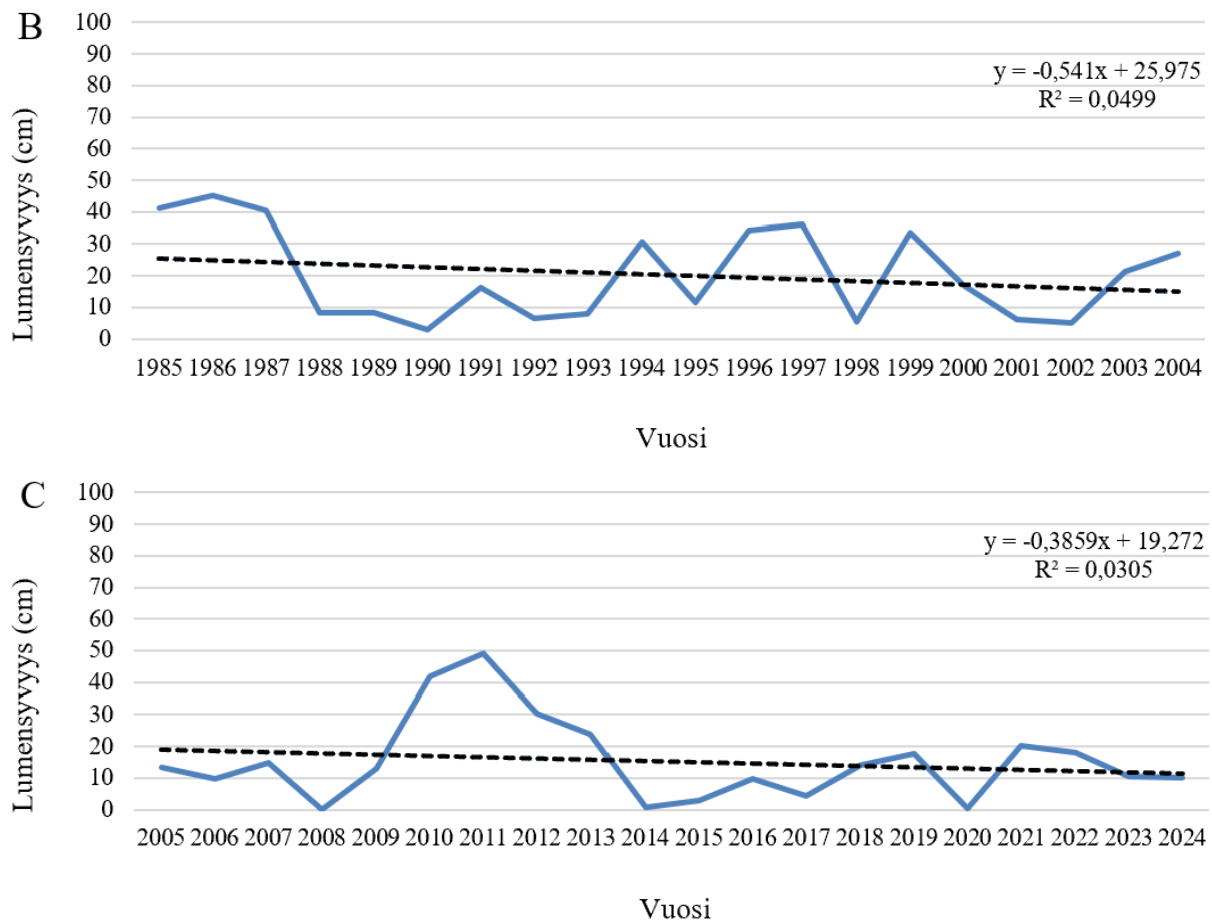
5.2.1 Lumensyvyiden vaihtelu Turussa vuosina 1965–2024

Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun lopussa on Turussa vaihdellut paljon vuosina 1965–2024. Vuosien 1965 ja 1984 välillä Turun lumensyvyiden vaihtelut ovat olleet suuria: lumensyvyys on vaihdellut yhdeksän ja 74 senttimetrin välillä (kuva 5A). Vuosien 1965–1984 välillä Turun lumensyvydessä on havaittavissa laskeva trendi.

Vuosina 1985–2004 lumensyvyys ei Turussa ole vaihdellut kovin paljoa. Vuodesta 1988 vuoteen 2004 lumensyvyys Turussa on ollut suhteellisen pientä, sillä se ei yllä kertaakaan 40 cm:iin (kuva 5B), toisin kuin vuosina 1965–1987. Kyseisenä aikana lumensyvyys on Turussa ylittänyt 40 cm:n rajan 11 kertaa. Vuosien 1985–2004 välillä Turun lumensyvydessä on havaittavissa laskeva trendi.

Vuosien 2010–2013 välillä on havaittavissa poikkeama ajanjakson 2005–2024 tyypillisestä lumensyvyydestä Turussa, jolloin lumensyvyys on ympäröiviä vuosia selvästi suurempaa (kuva 5C). Vuodesta 2014 eteenpäin lumensyvyys pysyttelee alle 25 cm:n. Vuosien 2005–2024 välillä Turun lumensyvydessä on havaittavissa loivasti laskeva trendi.





Kuva 5. Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Turussa A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

Turussa helmikuun lopun lumensyvyyden 20 vuoden ajanjakson keskiarvot ovat vuosien 1965–2024 välillä olleet laskussa: vuosina 1965–1984 keskiarvo on ollut 36,3 cm ja 2005–2024 enää 15,2 cm (taulukko 2). Myös ajanjaksojen pienimmät lumensyvyysarvot ovat Turussa laskeneet, joten keskiarvojen sekä pienimmän lumensyvyyden arvon lasku ilmentävät lumensyvyyden laskevaa trendiä Turussa. Lumensyvyyden keskiarvo on myös viimeisten 40 vuoden aikana ollut pienempi kuin vuosien 1965–2024 keskiarvo. Suurin lumensyvyysarvo viimeisen 20 vuoden ajanjakson aikana on ollut merkittävästi pienempi kuin vuosina 1965–1984, mutta kuitenkin suurempi kuin sitä edeltävänä ajanjaksona, vuosina 1985–2004.

Taulukko 2. Lumensyvyyden keskiarvo sekä suurin ja pienin keskimääräinen lumensyvyyden arvo helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Turussa. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

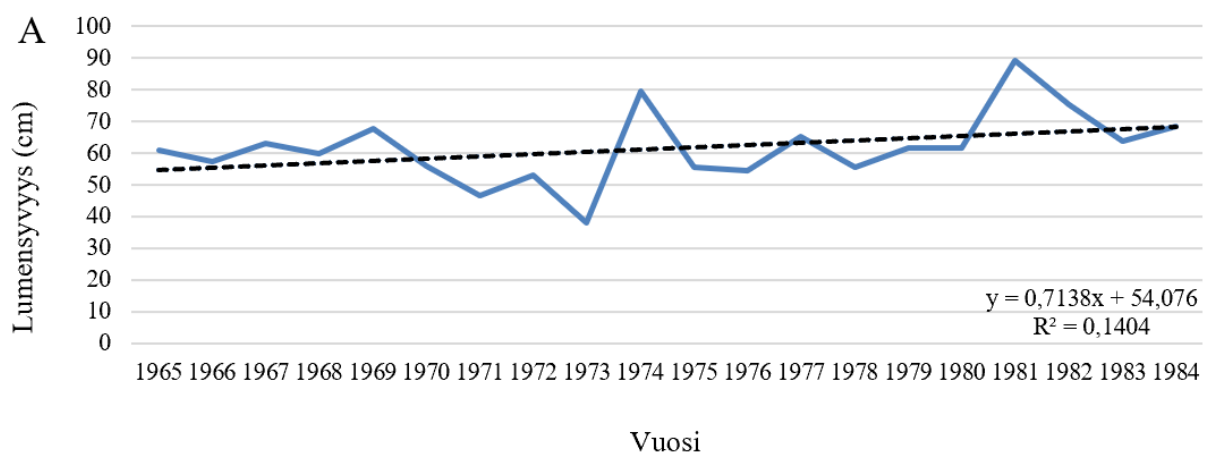
Ajanjakso	Keskiarvo (cm)	Suurin lumensyvyys (cm)	Pienin lumensyvyys (cm)
1965–1984	36,3	74,1	9,4
1985–2004	20,3	45,1	2,9
2005–2024	15,2	48,9	0,0
1965–2024	24,0	74,1	0,0

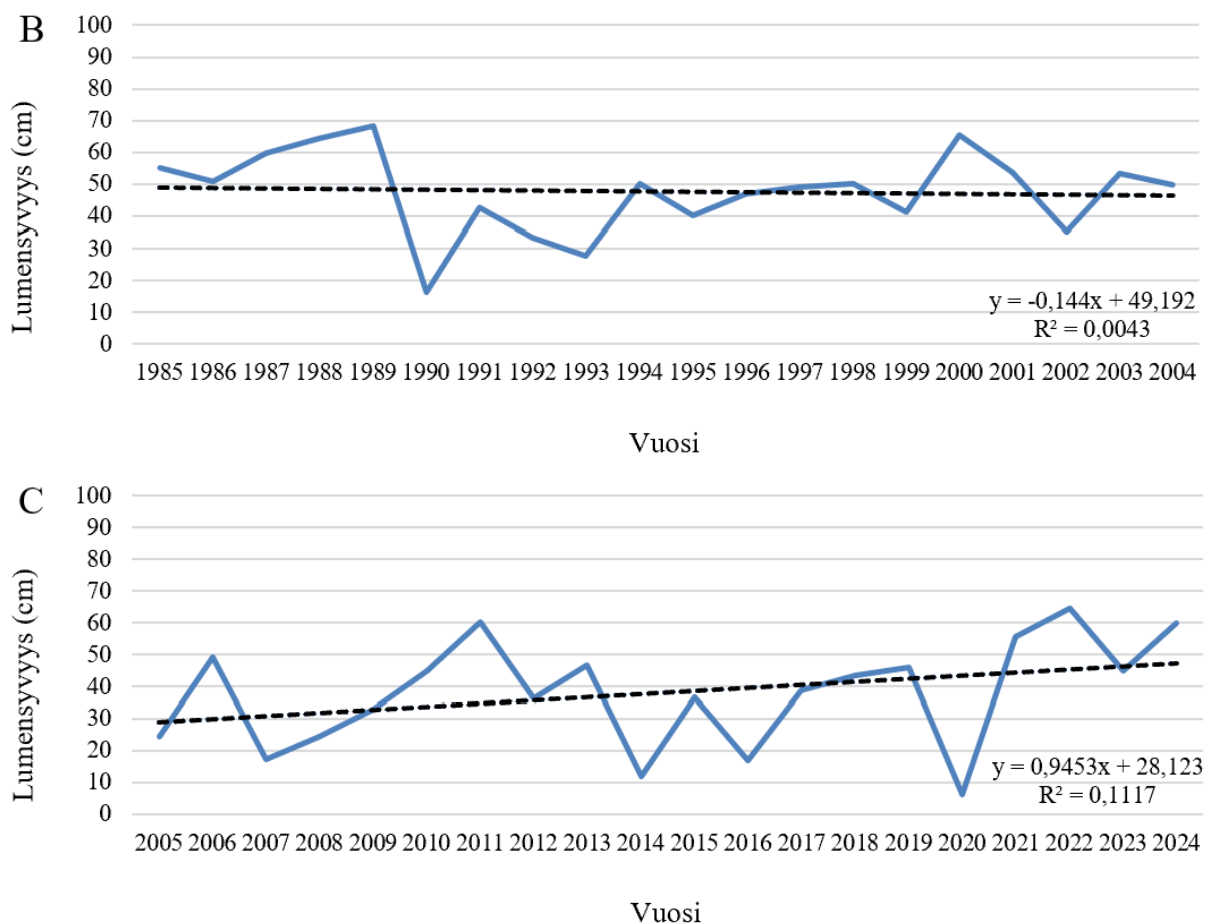
5.2.2 Lumensyvyyyden vaihtelu Kajaanissa vuosina 1965–2024

Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun lopussa on Kajaanissa vaihdellut melko paljon vuosina 1965–2024. Vuosien 1965–1984 välillä lumensyvyyyden vaihtelu on Kajaanissa ollut melko pientä ja lumensyvyys on pysytellyt vuotta 1973 lukuun ottamatta yli 40 cm:n (kuva 6A). Suurimmillaan lumensyvyys on ollut vuonna 1981, lähes 90 cm. Vuosien 1965–1984 välillä Kajaanin lumensyvyyydessä on havaittavissa nouseva trendi.

Vuosien 1985–2004 välillä lumensyvyyyden vaihtelut ovat Kajaanissa olleet melko pieniä lukuun ottamatta vuosia 1989–1990 (kuva 6B). Tänä aikana helmikuun lopun keskimääräinen lumensyvyys on vähentynyt 68 senttimetrinä vain 16 senttimetriin. Lumensyvyys on kuitenkin enimmäkseen pysytellyt yli 40 cm:n. Vuosien 1985–2004 välillä Kajaanin lumensyvyyydessä ei ole havaittavissa merkittävää trendiä.

Vuosien 2005–2024 välillä Kajaanin lumensyvyyydessä on havaittavissa enemmän vaihtelua kuin aikaisempina kahtena ajanjaksona. Lumensyvyys on vaihdellut kuuden ja 64 senttimetrin välillä, ja lähes puolina ajanjakson vuosista se on ollut alle 40 cm (kuva 6C). Lisäksi vuosia, joina helmikuun lopun keskimääräinen lumensyvyys on alle 20 cm, on ollut neljä. Aikaisempien kahden ajanjakson aikana lumensyvyys on yhteensä vain kerran ollut alle 20 cm. Vuosien 2005–2024 välillä Kajaanin lumensyvyyydessä on havaittavissa nouseva trendi.





Kuva 6. Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Kajaanissa A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

Vaikka lumensyvyyden trendi näyttäisi Kajaanissa 20 vuoden ajanjaksojen sisällä olevan kasvava, on helmikuun kahden viimeisen viikon lumensyvyyden keskiarvo ollut laskussa: lumensyvyys on pienentynyt vuosien 1965–1984 arvosta 61,6 cm vuosien 2005–2024 arvoon 38 cm (taulukko 3). Tämän lisäksi myös suurimmat ja pienimmät lumensyvyyden arvot ovat olleet aina edeltävän ajanjakson arvoja pienemmät. Koko ajanjakson 1965–2024 aikana lumensyvyyden trendi on Kainuussa siis laskeva, ja koko ajanjakson lumensyvyyden keskiarvo on ollut suurempi kuin viimeisten 40 vuoden aikana.

Taulukko 3. Lumensyvyyden keskiarvo sekä suurin ja pienin keskimääräinen lumensyvyyden arvo helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Kajaanissa. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

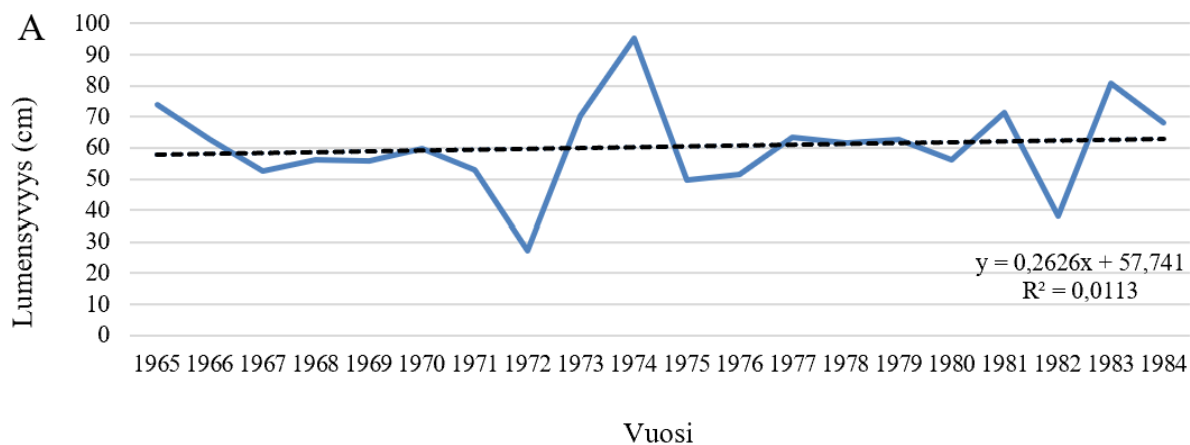
Ajanjakso	Keskiarvo (cm)	Suurin lumensyvyys (cm)	Pienin lumensyvyys (cm)
1965–1984	61,6	89,3	37,9
1985–2004	47,7	68,3	16,4
2005–2024	38,0	64,6	6,3
1965–2024	49,1	89,3	6,3

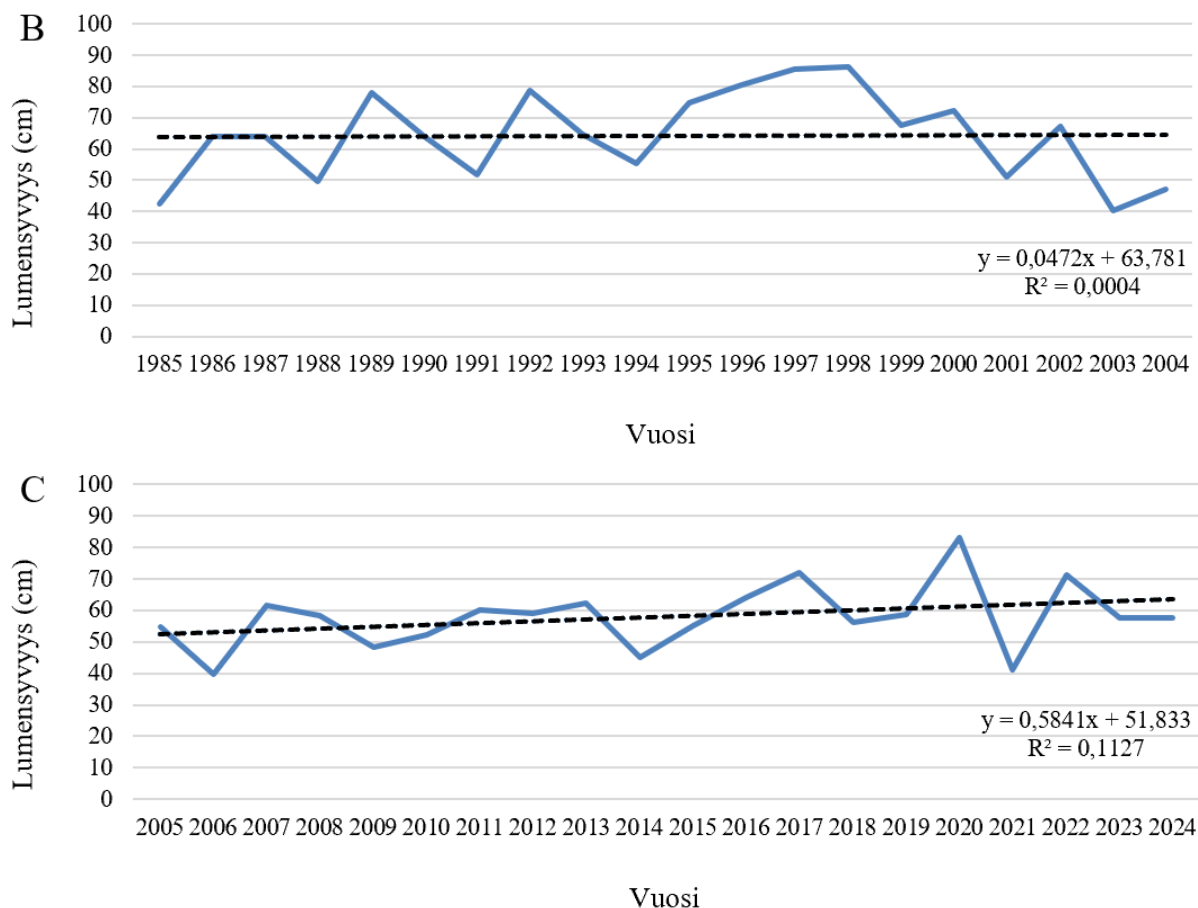
5.2.3 Lumensyvyyyden vaihtelu Utsjoella vuosina 1965–2024

Vuosien 1965–2024 välillä helmikuun lopun keskimääräinen lumensyvyys Utsjoella on vaihdellut melko paljon. Vuosina 1965–1984 vaihtelu on ollut kolmesta ajanjaksosta suurinta: vuonna 1972 lumensyvyys oli 27 cm ja kahden vuoden kuluttua vuonna 1974 jopa 95 cm (kuva 7A). Kyseisiä ääriarvoja lukuun ottamatta lumensyvyys on pysytellyt 38 ja 80 cm:n välillä. Vuosien 1965–1984 välillä Utsjoen lumensyvyudessa ei ole havaittavissa merkittävää trendiä.

Vuosina 1985–2004 lumensyvyyyden vaihtelu Utsjoella on ollut melko pientä. Lumensyvyyyden arvot ovat pysytelleet 40 ja 86 cm välillä, eikä lumensyvyys ole vuoden 1998 jälkeen noussut yli 80 cm:n (kuva 7B) vuotta 2020 lukuun ottamatta. Vuosien 1985–2004 välillä Utsjoen lumensyvyudessa ei ole havaittavissa merkittävää trendiä.

Myös vuosina 2005–2024 lumensyvyyyden vaihtelu on ollut Utsjoella melko vähäistä. Lumensyvyys on enimmäkseen pysynyt alle 72 cm:n ja on vain vuonna 2020 noussut yli 80 cm:n (kuva 7C). Vuosien 2020 ja 2021 välillä lumensyvyudessa on havaittavissa jyrkkä lasku 83 senttimetristä 41 senttimetriin. Vuosien 2005–2024 välillä Utsjoen lumensyvyudessa on havaittavissa kasvava trendi.





Kuva 7. Keskimääräinen lumensyvyys helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Utsjoella A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

Vaikka Utsjoen lumensyvyydessä ei kahden ensimmäisen ajanjakson aikana ole havaittavissa trendejä, lumensyvyyden keskiarvoista voidaan huomata, että koko 1965–2024 välisen ajanjakson aikana Utsjoen lumensyvyyden trendi on loivasti laskeva (taulukko 4). Ensimmäisen ajanjakson lumensyvyyden keskiarvo on nimittäin 2,5 cm korkeampi kuin viimeisimmän ajanjakson, vaikka keskiarvo onkin vuosina 1985–2004 korkeampi kuin ensimmäisen ajanjakson aikana. Myös lumensyvyyden suurin arvo on kunkin ajanjakson aikana ollut edellistä pienempi. Lumensyvyyden pienin arvo on kuitenkin kasvanut 27 senttimetristä noin 40 senttimetriin.

Taulukko 4. Lumensyvyyden keskiarvo sekä suurin ja pienin keskimääräinen lumensyvyyden arvo helmikuun kahtena viimeisenä viikkona Utsjoella. Lähde: Havaintojen lataus s.a.

Ajanjakso	Keskiarvo (cm)	Suurin lumensyvyys (cm)	Pienin lumensyvyys (cm)
1965–1984	60,5	95,1	27,3
1985–2004	64,3	86,4	40,4
2005–2024	58,0	83,2	39,9
1965–2024	60,9	95,1	27,3

5.2.4 Trendiviivojen vertailu

Turussa lumensyvyiden muutoksia kuvaavan trendiviivan kulmakertoimen itseisarvo on ollut korkeimmillaan noin -0,80 (taulukko 5). Korkein selitysaste, noin 0,06, on ilmennyt saman ajanjakson aikana, vuosina 1965–1984. Voidaan huomata, että Turussa kulmakertoimen itseisarvo ja samalla myös selitysaste ovat kunkin ajanjakson jälkeen pienentyneet. Tämä tarkoittaa sitä, että lumensyvyiden väheneminen on Turussa hidastunut.

Kajaanissa trendiviivan kulmakerroin on ollut korkeimmillaan vuosina 2005–2024, noin 0,95, mutta selitysaste on ollut korkein ensimmäisen ajanjakson aikana. Tämä merkitsee siitä, että viimeisen ajanjakson aikana lumensyvyys Kajaanissa on kasvanut eniten ja lumensyvyiden vaihtelu on ollut suurempaa kuin vuosina 1965–1984. Sekä kulmakerroin että selitysaste ovat olleet pienimmät vuosina 1985–2004.

Utsjoella trendiviivan selitysaste on ollut suurin viimeisen ajanjakson aikana eli tällöin lumensyvyiden vaihtelut ovat olleet pienimpiä. Viimeisen ajanjakson aikana myös kulmakerroin on ollut suurin eli lumensyvyys on kasvanut voimakkaimmin. Vuosien 1965–1984 aikana lumensyvyiden vaihtelu on ollut suurempaa kuin viimeisen ajanjakson aikana, mikä voidaan huomata pienemmästä selitysasteesta.

Sekä Kajaanissa että Utsjoella lumensyvyiden kasvu on ollut voimakkainta viimeisen ajanjakson aikana. Turussa viimeisen ajanjakson aikana lumensyvyiden väheneminen on ollut pienintä. Utsjoella lumensyvyiden kasvu on vuosien 1985–2004 aikana ollut pienintä, ja saman ajanjakson aikana Kajaanissa lumensyvyiden trendiviivan kulmakerroin on muista ajanjaksoista poiketen ollut negatiivinen.

Taulukko 5. Kuvien 5, 6 ja 7 trendiviivojen kulmakertoimet ja selitysasteet.

Ajanjakso	Turku		Kajaani		Utsjoki	
	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)
1965–1984	-0,7973	0,0591	0,7138	0,1404	0,2626	0,0113
1985–2004	-0,541	0,0499	-0,144	0,0043	0,0472	0,0004
2005–2024	-0,3859	0,0305	0,9453	0,1117	0,5841	0,1127

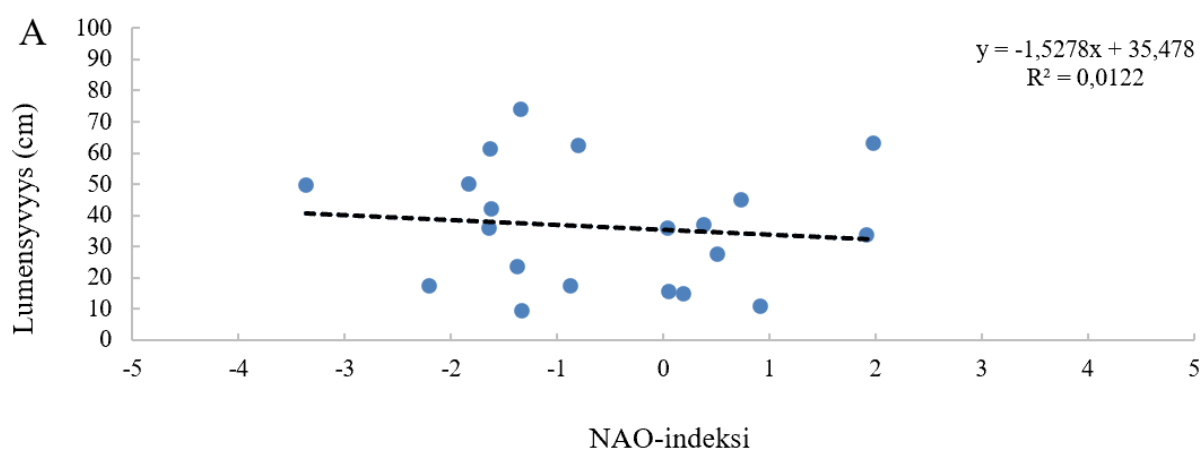
5.3 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys kolmessa Suomen kunnassa vuosina 1965–2024

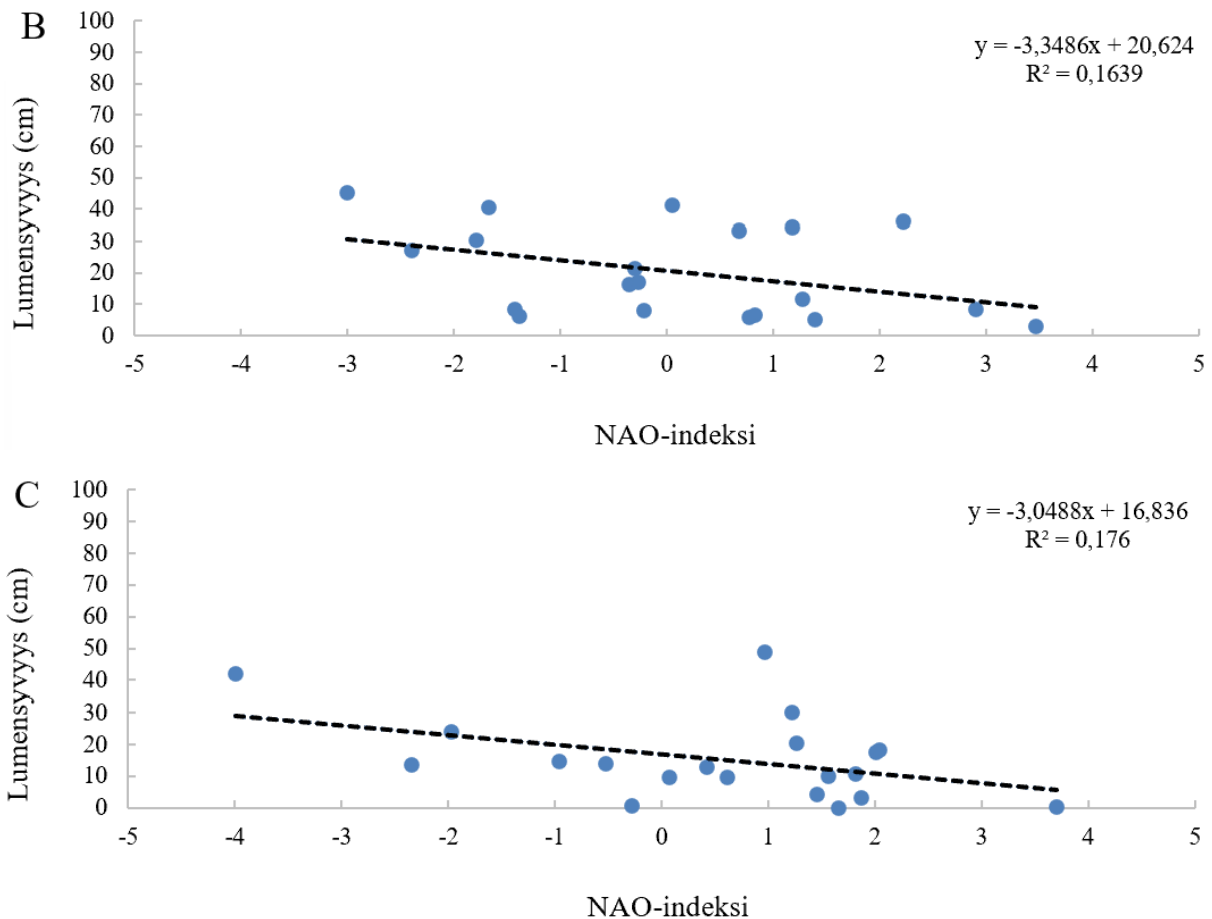
5.3.1 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Turussa vuosina 1965–2024

NAO-indeksillä ja lumensyvyydellä on Turussa vuosina 1965–2024 ollut negatiivinen yhteys eli kun NAO-indeksi on suuri, lumensyvyys on pientä. Yhteys on ensimmäisen ajanjakson jälkeen voimistunut ja sen jälkeen hieman heikentynyt. Vuosina 1965–1984 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys on ollut heikko, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut vain noin -1,5 (kuva 8A). R^2 -arvo eli selitysaste on ollut 0,0122 eli 1,2 % lumensyvyuden vaihteluista on selitettävissä NAO-indeksillä.

Vuosina 1985–2004 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys on Turussa ollut melko voimakas, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut noin -3,3 (kuva 8B). Selitysaste on ollut 0,1639 eli lumensyvyuden vaihteluista 16,39 % on selitettävissä NAO-indeksillä. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Turussa on ajanjakson 1985–2004 aikana ollut selvästi voimakkaampi kuin sitä edeltävän ajanjakson aikana.

Vuosina 2005–2024 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Turussa on ollut hieman heikompi kuin vuosina 1985–2004 (kuva 8C). Selitysaste on kuitenkin ollut 0,176 eli 17,6 % lumensyvyuden vaihteluista on selitettävissä NAO-indeksillä. Tämän ajanjakson selitysaste on siis hieman yli prosenttiyksikön suurempi kuin aikaisemman ajanjakson selitysaste eli poikkeavia havaintoja on vähemmän.





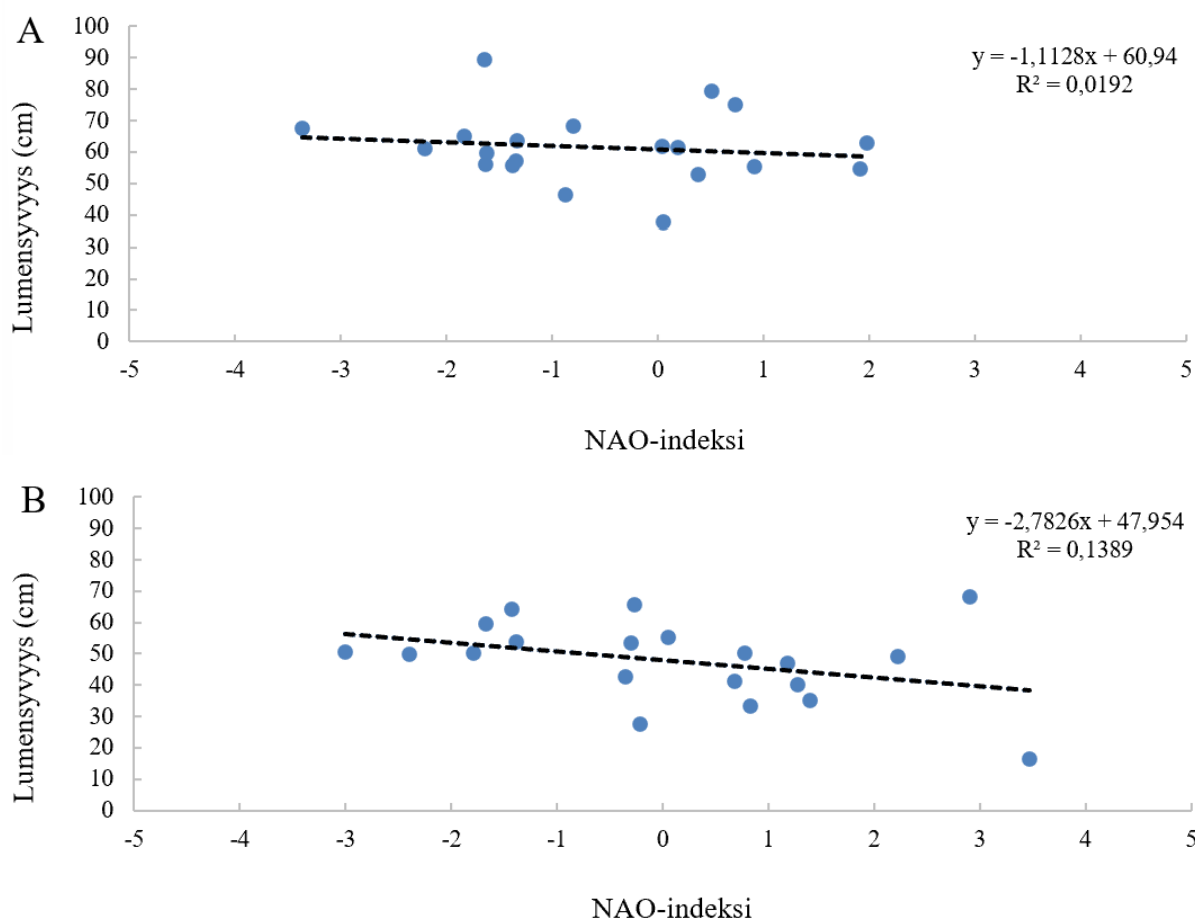
Kuva 8. NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Turussa helmikuun kahtena viimeisenä viikona A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähteet: Havaintojen lataus s.a.; North Atlantic Oscillation... s.a.

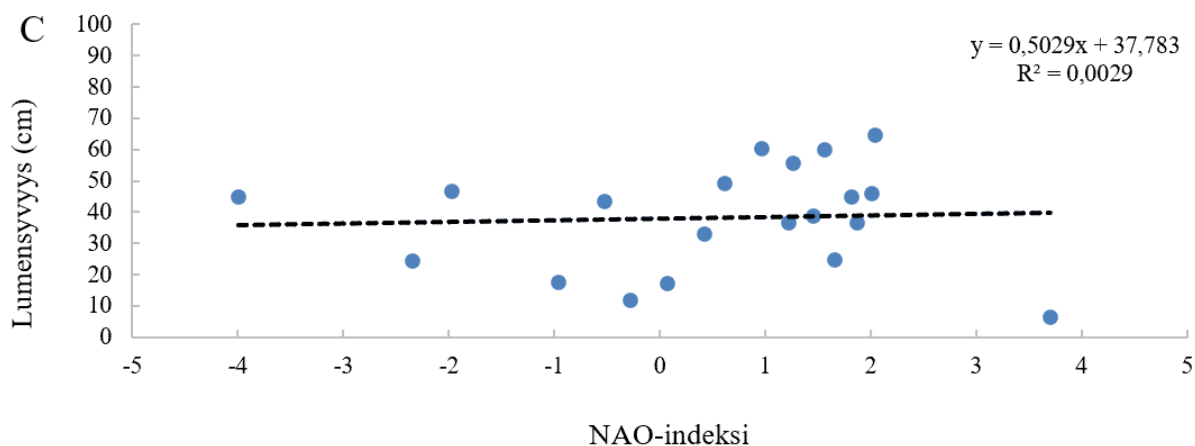
5.3.2 NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Kajaanissa vuosina 1965–2024

NAO-indeksillä ja lumensyvyydellä on Kajaanissa vuosina 1965–2024 ollut ensin negatiivinen yhteys, minkä jälkeen se on kääntynyt positiiviseksi. Ensin lumensyvyys on siis ollut pientä, kun NAO-indeksi on suuri, mutta myöhemmin lumensyvyys on ollut pientä silloin, kun NAO-indeksikin on pieni. Vuosina 1965–1984 NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Kajaanissa on ollut negatiivinen mutta heikko, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut vain noin -1,1 (kuva 9A). Selitysaste on ollut 0,0192 eli Kajaanin lumensyvyyden vaihteluista 1,92 % on selitettävissä NAO-indeksillä.

Vuosina 1985–2004 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Kajaanissa on ollut negatiivinen ja melko voimakas (kuva 9B). Selitysaste on ollut 0,1389 eli NAO-indeksillä on selitettävissä 13,89 % Kajaanin lumensyvyuden vaihteluista. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Kajaanissa on ajanjakson 1985–2004 aikana ollut selvästi voimakkaampi kuin sitä edeltävän ajanjakson aikana.

Vuosina 2005–2024 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Kajaanissa on ollut positiivinen mutta hyvin heikko, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut vain noin 0,5 (kuva 9C). Selitysaste on ollut 0,0029 eli lumensyvyuden vaihteluista vain 0,29 % on selitettävissä NAO-indeksillä. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Kajaanissa on ajanjakson 2005–2024 aikana ollut erisuuntainen ja selvästi heikompi kuin sitä edeltävän ajanjakson aikana.





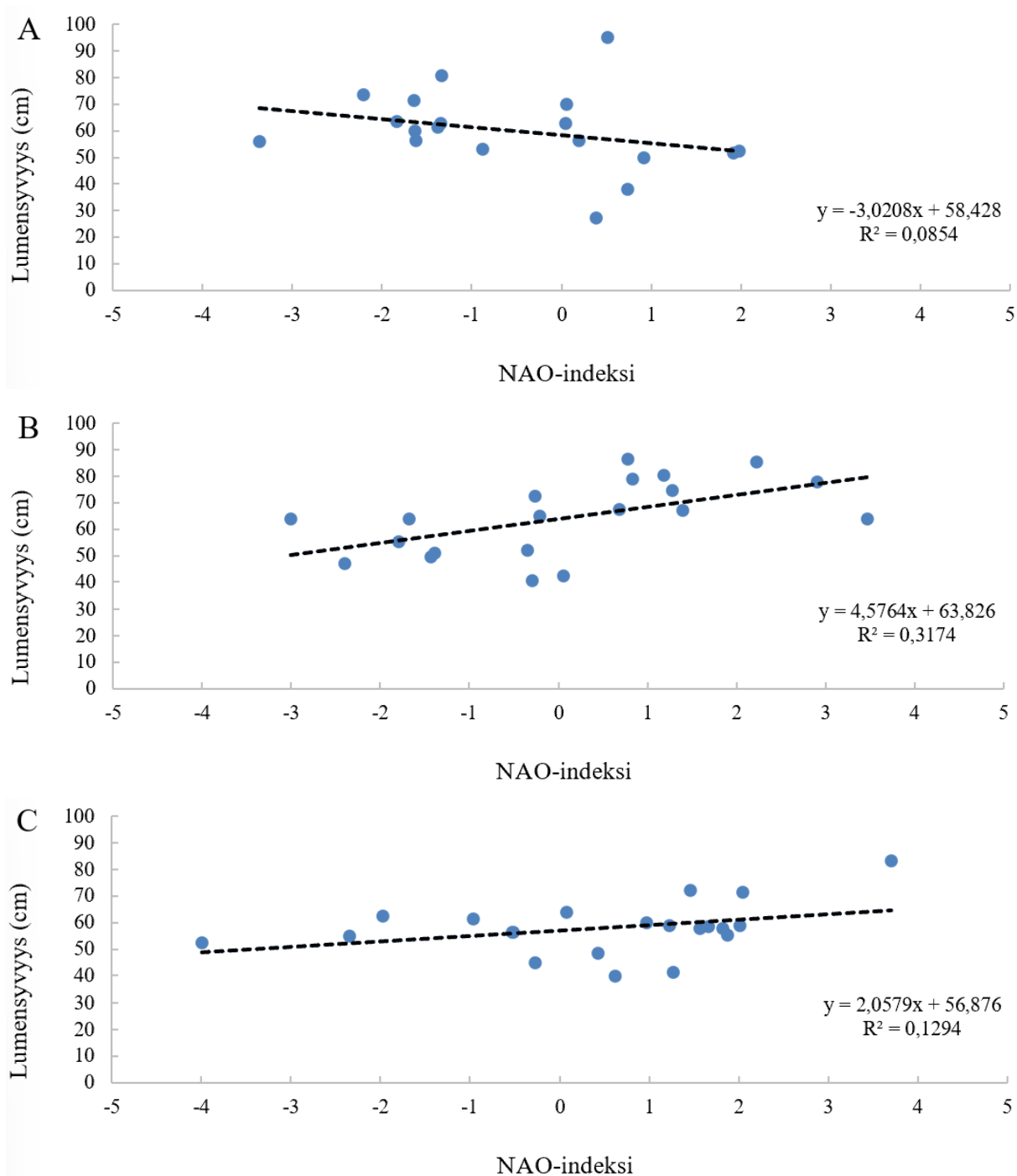
Kuva 9. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Kajaanissa helmikuun kahtena viimeisenä viikkona A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1984–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähteet: Havaintojen lataus s.a.; North Atlantic Oscillation... s.a.

5.3.3 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella vuosina 1965–2024

Kajaanin tavoin NAO-indeksillä ja lumensyvyydellä on myös Utsjoella vuosina 1965–2024 ollut ensin negatiivinen yhteys, minkä jälkeen se on kääntynyt positiiviseksi. Lumensyvyys on siis ensin ollut pientä silloin, kun NAO-indeksi on suuri, mutta myöhemmin lumensyvyys on ollut pientä NAO-indeksin ollessa pieni. Vuosina 1965–1984 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella on ollut negatiivinen (kuva 10A). Yhteys on ollut melko voimakas, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut noin -3. Selitysaste on kuitenkin ollut vain 0,0854. Utsjoen lumensyvyuden vaihteluista 8,54 % on siis selitettävissä NAO-indeksillä.

Vuosina 1985–2004 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella on ollut positiivinen ja voimakas (kuva 10B). Selitysaste on ollut 0,3174 eli NAO-indeksillä on selitettävissä jopa 31,74 % Utsjoen lumensyvyuden vaihteluista. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella on ajanjakson 1985–2004 aikana ollut erisuuntainen ja voimakkaampi kuin sitä edeltävän ajanjakson aikana.

Vuosina 2005–2024 NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella on ollut positiivinen ja melko voimakas, sillä regressiosuoran kulmakerroin on ollut noin 2,1 (kuva 10C). Selitysaste on ollut 0,1294 eli Utsjoella 12,94 % lumensyvyuden vaihteluista on selitettävissä NAO-indeksillä. NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys Utsjoella on ajanjakson 2005–2024 aikana ollut heikompi kuin sitä edeltävän ajanjakson aikana.



Kuva 10. NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Utsjoella helmikuun kahtena viimeisenä viikona A. vuosina 1965–1984, B. vuosina 1985–2004, C. vuosina 2005–2024. Lähteet: Havaintojen la-
taus s.a.; North Atlantic Oscillation... s.a.

5.3.4 Regressiosuorien vertailu

Turussa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välistä yhteyttä kuvaavan regressiosuoran kulmakertoimen itseisarvo on ollut korkeimmillaan vuosina 1985–2004 (taulukko 6), jolloin yhteys on

ollut voimakkaimmillaan. Regressiosuoran selitysaste on kuitenkin ollut suurin viimeisen ajanjakson aikana eli tällöin regressiomallin selitysvoima on ollut parhaimmillaan ja havaintojen arvot ovat poikenneet regressiosuorasta vähiten. Pienin kulmakerroin on esiintynyt ensimmäisen ajanjakson aikana samanaikaisesti pienimmän selitysasteen kanssa. Tällöin yhteys on ollut heikoimmillaan.

Kajaanissa sekä regressiosuoran kulmakertoimen itseisarvo että selitysaste ovat olleet suurimpia toisen ajanjakson aikana. Tällöin siis NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys on ollut voimakkain. Vuosina 2005–2024 sekä selitysaste että kulmakertoimen itseisarvo ovat olleet pienimmät eli yhteys on ollut heikoin.

Kajaanin tavoin myös Utsjoella yhteys NAO-indeksin ja lumensyvyuden välillä on ollut voimakkain vuosina 1984–2004, jolloin regressiosuoran kulmakerroin ja selitysaste ovat olleet suurimmat. Ensimmäisen ajanjakson aikana kulmakerroin on ollut suurempi mutta samalla selitysaste on ollut pienempi kuin viimeisen ajanjakson aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäisenä ajanjaksona NAO-indeksin ja lumensyvyuden yhteys on ollut voimakkaampi, mutta tällöin poikkeavia havaintoja on ollut enemmän.

Regressiosuorien kulmakertoimien perusteella NAO-indeksin ja lumensyvyuden välinen yhteys on ollut keskimäärin voimakkainta Utsjoella, toiseksi voimakkainta Turussa ja heikointa Kajaanissa. Selitysasteet ovat myös suurimpia Utsjoella ja pienimpiä Kajaanissa, eli niiden perusteella NAO-indeksillä on selitettävissä lumensyvyuden vaihteluista suurin osuus Utsjoella ja pienin osuus Kajaanissa.

Taulukko 6. Kuvien 8, 9 ja 10 regressiosuorien kulmakertoimet ja selitysasteet.

Ajanjakso	Turku		Kajaani		Utsjoki	
	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)	Kulmakerroin (y)	Selitysaste (R ²)
1965–1984	-1,5278	0,0122	-1,1128	0,0192	-3,0208	0,0854
1985–2004	-3,3486	0,1639	-2,7826	0,1389	4,5764	0,3174
2005–2024	-3,0488	0,176	0,5029	0,0029	2,0579	0,1294

6 Keskustelu

NAO-indeksi on viime vuosina helmikuun lopulla ollut enimmäkseen positiivinen. Tämä voi mahdollisesti johtua ilmastonmuutoksesta, sillä NAO-indeksin on tutkittu olevan kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyessä aikaisempaa korkeampi (Gillett ym. 2002: 6). Muita syitä NAO-indeksin muutoksille voivat mahdollisesti olla esimerkiksi luonnolliset vaihtelut NAO-ilmion voimakkuudessa sekä muutokset muissa ilmastojärjestelmän osissa.

Helmikuun lopun keskimääräinen lumensyvyys on kaikissa kolmessa tarkastellussa kunnassa vähentynyt. Lumensyvyyden vähenemiseen on voinut johtaa ilmastonmuutos, samoin kuten NAO-indeksin kohdalla. Turussa lumensyvyyden väheneminen on ollut voimakkainta ja Utsjoella taas melko pientä, mikä voi johtua siitä, että eteläisemmät alueet ovat usein herkempiä lumensyvyyden muutoksille kuin pohjoiset (Luomaranta ym. 2019: 3153). Turussa lumensyvyyden väheneminen on kuitenkin hidastunut. Tämä voi olla seurausta lisääntyneistä talvisateista (Theakstone 2013: 25).

NAO-indeksi näyttäisi olevan yhteydessä lumensyvyyteen eri tavoin eri puolilla Suomea. NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on kaikissa kolmessa tarkastellussa kunnassa kuitenkin ollut voimakkaimmillaan toisen ajanjakson aikana eli vuosina 1985–2004, minkä jälkeen se on taas heikentynyt. Toinen ajanjakso on myös ainoa, jonka aikana NAO-indeksin arvoissa ei ole havaittavissa merkittävää trendiä.

Turussa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on koko tarkasteluajanjakson ajan ollut negatiivinen. Lumensyvyys on siis ollut suurinta silloin, kun NAO-indeksi on ollut negatiivinen eli sää on ollut kylmää ja kuivaa. Kajaanissa taas yhteys on kääntynyt negatiivisesta positiiviseksi toisen ajanjakson jälkeen ja Utsjoella ensimmäisen ajanjakson jälkeen. Kajaanissa ja Utsjoella lumensyvyys on positiivisen yhteyden vallitessa ollut suurinta silloin, kun NAO-indeksi on ollut positiivinen eli sää on ollut lämpimämpää ja sateisempaa. Oletan, että Turussa sataa kylmän ja kuivan sään vallitessa eniten lunta sen vuoksi, että jos sää olisi lämpimämpi, sade sataisi useammin lumen sijaan vetenä. Tällöin lunta ei pääsisi kertymään yhtä paljoa. Kajaanissa ja Utsjoella taas korkeammat talvilämpötilat eivät pohjoisemman sijainnin vuoksi luultavasti vaikuta sateen olomuotoon yhtä paljoa kuin Turussa, jolloin sateisuuden lisääntyessä myös lumensyvyys on suurempaa. Arvelen, että Kajaanin ja Utsjoen kääntynyt yhteys voi johtua siitä, että NAO-ilmio ei aikaisemmin positiivisen indeksin aikaan ole tuonut

Keski- ja Pohjois-Suomeen yhtä paljoa sateita kuin eteläiseen Suomeen. Tämän varmistamiseksi täytyisi kuitenkin tietää, miten sademäärä ja lämpötila ovat vaihdelleet vuosina 1965–2024.

Muita tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet lumensyvyyyteen tutkimissani kunnissa NAO-indeksin ohella voivat olla esimerkiksi lämpötilan ja sateisuuden pitkäaikaiset muutokset sekä havaintoasemien väliset erot korkeudessa merenpinnasta. Sen lisäksi, että Turun havaintoasemat sijaitsevat Kajaanin ja Utsjoen havaintoasemia etelämpänä, Turun asemien matalampi korkeus merenpinnasta voi johtaa pienempään lumensyvyyyteen kuin Kajaanissa ja Utsjoella (Spencer & Essery 2016: 627). Myös Turun sijainti lähellä merta sekä Utsjoen Kevon havaintoaseman sijainti Kevon kanjonissa voivat vaikuttaa kyseisten kuntien kohdalla lumensyvyyyteen. Helmikuuta edeltävien kuukausien lumensyvyystilanne ja sääolosuhteet voivat myös vaikuttaa siihen, millainen lumensyvyys helmikuun lopulla on. Lisäksi sillä, että Turun ja Kajaanin kohdalla havaintoasema vaihtuu kesken 20 vuoden havaintojakson, voi olla pieni vaikutus saamiini tuloksiin.

Saamani tulokset NAO-indeksin ja lumensyvyyden välisestä yhteydestä vastaavat melko hyvin aikaisempia tuloksia aiheesta. Lammin Pääjärveä käsittelevästä tutkimuksesta nimittäin ilmenee negatiivisen yhteyden lisäksi, että NAO-indeksin vaihtelu on selittänyt Pääjärvellä 18 % lumensyvyyden muutoksista (George ym. 2004: 396). Tämä on melko lähellä saamiani tuloksia Turusta, ja Lammin Pääjärvi sijaitseekin vain noin 170 kilometrin päässä Turusta myös Etelä-Suomessa. Myös Isossa-Britanniassa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on ollut Turun tapaan negatiivinen (George ym. 2004: 392; Spencer & Essery 2016: 624), vaikka se sijaitseekin Turkua etelämmässä.

Pohjois-Norjan Nordlandin tulokset NAO-indeksin yhteydestä lumensyvyyyteen taas ovat olleet päinvastaisia kuin Turussa. Nordlandissa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on ollut positiivinen (Theakstone 2013: 31), kuten se on viimeisen 40 vuoden ajan ollut Utsjoellakin. Myös Kajaanissa viimeisen 20 vuoden aikana NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys on ollut samankaltainen, vaikkakin heikompi. Yhteys on viime aikoina ollut samansuuntainen Nordlandin, Kajaanin ja Utsjoen välillä ja erisuuntainen kuin Turussa, sillä kaikki kolme aluetta sijaitsevat pohjoisemmassa kuin Turku.

Saamani tulokset NAO-indeksin ja lumensyvyuden vaihteluista sekä NAO-indeksin yhteydestä lumensyvyyteen Suomessa voivat auttaa ymmärtämään paremmin maapallolla vallitsevien ilmastojärjestelmien toimintaa ja niiden vaikutuksia sääolosuhteisiin. Lisäksi koska ilmastonmuutoksella saattaa olla vaikutuksia NAO-ilmion vaihteluihin, voivat tulokset näin ollen lisätä ymmärrystä myös ilmastonmuutoksen vaikutuksista ilmastojärjestelmiin ja sitä kautta säätilaan. Ymmärrys ilmastonmuutoksen vaikutuksista on tärkeää muun muassa sen vuoksi, että lumen määrällä on suuri merkitys pohjoisille alueille, etenkin Suomelle.

NAO-indeksin yhteyttä lumensyvyyteen voisi tutkia laajemmin esimerkiksi tarkastelemalla ilmiötä pidemmän ajanjakson, kuten koko talvikauden, aikana. Lämpötilan ja sademäärän muutosten huomioiminen antaisi myös todennäköisesti kattavamman ja luotettavamman kuvan NAO-indeksin yhteydestä lumensyvyyteen. NAO-indeksin ja muiden suomalaisten kaupunkien lumensyvyyden välisestä yhteydestä olisi syytä tehdä lisää tutkimusta, samoin muiden maiden sisällä ja välillä. Lisäksi NAO-ilmion ja ilmastonmuutoksen yhteyden selvittäminen tarkemmin olisi tärkeää, jotta ilmastonmuutoksen vaikutuksia osattaisiin arvioida paremmin.

7 Johtopäätökset

Saamieni tuloksien perusteella voidaan todeta, että NAO-indeksi on viime vuosina ollut aikaisempaa useammin positiivinen, mikä voi johtua ilmastonmuutoksesta. Lumensyvyys on kaikissa tarkastelluissa kunnissa vähentynyt. Kajaanissa ja Utsjoella lumensyvyys on yksittäisten 20 vuoden ajanjaksojen aikana ollut kasvussa, mutta koko 60 vuoden pituisen tarkasteluajan jakson aikana myös kyseisissä kunnissa lumensyvyys on vähentynyt. Myös tämä on todennäköisesti seurausta ilmastonmuutoksesta.

NAO-ilmiön muutoksia kuvaavan NAO-indeksin ja lumensyvyyden välinen yhteys Suomessa vaihtelee sijainnista riippuen. Turussa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välillä on negatiivinen yhteys, ja Kajaanissa ja Utsjoella yhteys on muuttunut. Molempien kuntien kohdalla yhteys on aluksi ollut negatiivinen, mutta kääntynyt positiiviseksi. Utsjoella yhteys on ollut positiivinen viimeiset 40 vuotta ja Kajaanissa viimeiset 20 vuotta. Kajaanissa yhteys on kuitenkin ollut vain hyvin heikosti positiivinen. Yhteyden muuttuminen Kajaanissa ja Utsjoella voi mahdollisesti liittyä sateisuuden muutoksiin positiivisen NAO-indeksin aikana.

Saamani tulokset NAO-indeksin ja lumensyvyyden vaihteluista sekä NAO-indeksin ja lumensyvyyden välisestä yhteydestä Suomessa saavat jonkin verran tukea aikaisemmasta teoriasta. Jatkotutkimusta NAO-ilmiöstä ja sen yhteydestä lumensyvyyden muutoksiin kuitenkin tarvitaan, sillä lumella on tärkeä merkitys erityisesti Suomessa.

Lähteet

- Arganis-Juárez, M., Domínguez-Mora, R. & Fuentes-Mariles, G. (2014) Synthetic generation of the North Atlantic Oscillation index. *Atmósfera* 27(1) 91–102.
[https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71103-8](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71103-8)
- Barnston, A. & Livezey, R. (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly weather review* 115(6) 1083–1126.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)
- Dong, B., Sutton, R. & Woollings, T. (2011) Changes of interannual NAO variability in response to greenhouse gases forcing. *Climate Dynamics* 37(7–8) 1621–1641.
<https://doi.org/10.1007/s00382-010-0936-6>
- Folland, C., Knight, J., Linderholm, H., Fereday, D., Ineson, S. & Hurrell, J. (2009) The summer North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *Journal of Climate* 22(5) 1082–1103. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2459.1>
- George D., Järvinen M. & Arvola L. (2004) The influence of the North Atlantic Oscillation on the winter characteristics of Windermere (UK) and Pääjärvi (Finland). *Boreal Environment Research* 9(5) 389–399. https://www.proquest.com/citedby/MSTAR_2676603136/422197383A1D49DAPQ/1?accountid=14774&sourcetype=Scholarly%20Journals
- Gillett, N., Allen, M., McDonald R., Senior, C., Shindell D. & Schmidt, G.(2002) How linear is the Arctic Oscillation response to greenhouse gases? *Journal of Geophysical Research* 107(3) 1-7. <https://doi.org/10.1029/2001JD000589>
- Havaintojen lataus (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> 6.3.2024.
- Hurrell, J. (1995) Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science* 269(5224) 676–679. <https://doi.org/10.1126/science.269.5224.67>
- Hurrell, J. (1996) Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters* 23(6) 665–668.
<https://doi.org/10.1029/96GL00459>
- Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintoasemat> 9.4.2024.

- Irannezhad, M., Ronkanen, A. & Kløve, B. (2016) Wintertime climate factors controlling snow resource decline in Finland. *International Journal of Climatology* 36(1) 110–131. <https://doi.org/10.1002/joc.4332>
- Jylhä, K., Fronzek, S., Tuomenvirta, H., Carter, T. & Ruosteenoja, K. (2008) Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Climatic Change* 86(3–4) 441–462. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9310-z>
- Kuntien ja maakuntien 2021 välinen luokitusavain (s.a.) Tilastokeskus. https://www.stat.fi/fi/luokitukset/cormaps/kunta_1_20210101%23maakunta_1_20210101/ 18.4.2024.
- Lisätietoa havaintosuureista (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lisatieto-havaintosuureista> 10.3.2024.
- Lumensyvyuden mittaus on taitolaji (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lumensyvyuden-mittaus> 2.4.2024.
- Luomaranta, A., Aalto, J. & Jylhä, K. (2019) Snow cover trends in Finland over 1961–2014 based on gridded snow depth observations. *International Journal of Climatology* 39(7) 3147–3159. <https://doi.org/10.1002/joc.6007>
- Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961 (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961> 26.4.2024.
- McKenna, C., & Maycock, A. (2022) The role of the North Atlantic Oscillation for projections of winter mean precipitation in Europe. *Geophysical Research Letters* 49(19) 1–11. <https://doi.org/10.1029/2022GL099083>
- Merkouriadi, I., Leppäranta, M. & Järvinen, O. (2017) Interannual variability and trends in winter weather and snow conditions in Finnish Lapland. *Estonian Journal of Earth Sciences* 66(1) 47–57. <https://doi.org/10.3176/earth.2017.03>
- Nesje, A., Lie, O. & Dahl, S. (2000) Is the North Atlantic Oscillation reflected in Scandinavian glacier mass balance records? *Journal of Quaternary Science* 15(6) 587–601. [https://doi.org/10.1002/1099-1417\(200009\)15:6<587::AID-JQS533>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1099-1417(200009)15:6<587::AID-JQS533>3.0.CO;2-2)
- North Atlantic Oscillation (NAO) (s.a.) Climate Prediction Center. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml> 3.3.2024.
- Popova, V. (2007) Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes. *International Journal of Climatology* 27(13) 1721–1733. <https://doi.org/10.1002/joc.1489>

- Rashid S., Iqbal M. & Hussain M. (2012) Impact of north-south shift of Azores high on summer precipitation over North West Europe. *International Journal of Geosciences* 3(5) 992–999. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.325099>
- Räisänen, J. (2008) Warmer climate: less or more snow? *Climate Dynamics* 30(2–3) 307–319. <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0289-y>
- Räisänen, J. & Eklund, J. (2012) 21st Century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics* 38(11–12) 2575–2591. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1076-3>
- Seasons in Finland (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/seasons-in-finland> 25.4.2024.
- Spencer, M. & Essery, R. (2016) Scottish snow cover dependence on the North Atlantic Oscillation index. *Hydrology Research* 47(3) 619–629. <https://doi.org/10.2166/nh.2016.085>
- Talvien lumista ja lumisuudesta (s.a.) Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lumitilastot> 2.4.2024.
- Teleconnection Pattern Calculation Procedures (s.a.) Climate Prediction Center. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml 13.4.2024.
- Theakstone, W. (2013) Long-term variations of the seasonal snow cover in Nordland, Norway: The influence of the North Atlantic Oscillation. *Annals of Glaciology* 54(62) 25–34. <https://doi.org/10.3189/2013AoG62A300>
- Tilastot (s.a.) Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/organisaatio/tilastot#Pinta-alat-kunnittain> 18.4.2024.
- Toggweiler J. (2009) Shifting westerlies. *Science* 323(5920) 1434–1435. <https://doi.org/10.1126/science.1169823>
- Tsanis I. & Tapoglou E. (2019) Winter North Atlantic Oscillation impact on European precipitation and drought under climate change. *Theoretical and Applied Climatology* 135(1–2) 323–330. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2379-7>
- Walker G. & Bliss E. (1932) World weather V. *Memoirs of the Royal Meteorological Society* 4(36) 53–84.
- Wanner, H., Brönnimann, S., Casty, C., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Schmutz, C., Stephenson, D. & Xoplaki, E. (2001) North Atlantic Oscillation – concepts and studies. *Surveys in geophysics* 22(4) 321–381. <https://doi.org/10.1023/A:1014217317898>

What is the NAO? (2021) Royal Meteorological Society 22.4.2021.

<https://www.rmets.org/metmatters/what-nao> 25.4.2024.

Zuba, G. (2012) A windy winter season. Verisk 21.2.2012. <https://www.air-world-wide.com/publications/air-currents/2012/A-Windy-Winter-Season/> 21.4.2024.