



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Vuodenaikaistarkastelu Turun kaupungin lämpösaarekkeen ja NAO-indeksin välisestä yhteydestä

Krista Väätäinen

Maantiede
LuK-tutkielma
Laajuus: 6 op

28.4.2026

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Krista Väättäinen

Otsikko: Vuodenaikaistarkastelu Turun kaupungin lämpösaarekkeen ja NAO-indeksin välisestä yhteydestä

Ohjaaja(t): Harri Tolvanen

Sivumäärä: 64 sivua

Päivämäärä: 28.4.2026

Ilmaston eri mittakaavojen ilmiöt ovat tiiviissä vuorovaikutuksessa keskenään, ja suurimittakaavainen ilmakehän vaihtelu voi heijastua myös paikallisiin kaupunki-ilmastossa havaittaviin ilmiöihin. Turussa keskeinen paikallisilmaston piirre on kaupungin lämpösaarekeilmiö, jossa tiiviisti rakennettu keskusta-alue on ympäröivää maaseutua lämpimämpi. Lämpösaarekkeen voimakkuuteen vaikuttavat monet ympäristötekijät ja meteorologiset tekijät. Yksi mahdollinen taustatekijä on Pohjois-Atlantin oskillaatio (NAO) eli laajamittainen ilmakehän telekonnektio, joka vaikuttaa erityisesti Euroopan sääoloihin ja paikallisilmastoihin.

NAO:n vaikutukset paikallisilmastoihin ja säätilanteisiin ovat havaittavissa ympäri vuoden, mutta vaikutukset ilmenevät selkeimmin talviaikaan. Tästä syystä suurin osa tutkimuksista keskittyy NAO:n talviaikaisten vaikutusten tarkasteluun. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, ilmeneekö NAO:n vaikutus Turun alueen lämpösaarekkeeseen talven lisäksi myös muina vuodenaikoina. Tavoitteena oli myös selvittää, onko NAO:lla voimistava vai heikentävä vaikutus Turun kaupungin lämpösaarekkeen voimakkuuteen. Lisäksi tämän vaikutuksen mahdollinen voimakkuuden ja suunnan vaihtelu vuodenaajoittain oli tutkittavana.

Tutkimuksessa hyödynnettiin Turun yliopiston kaupunki-ilmaston TURCLIM-tutkimusryhmän lämpötila-aineistoa Turun alueelta vuosilta 2018–2024. Lämpötila-aineiston pohjalta laskettiin lämpösaarekkeen voimakkuudet kuudelle havaintopisteparille. Tutkimuksen NAO-indeksilukuina hyödynnettiin Yhdysvaltojen hallintoviraston sää- ja valtamerentutkimusorganisaation (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) tuottamaa aineistoa. Yhteyksiä tutkittiin tilastollisesti korrelaatioanalyysillä ja lineaarisella regressioanalyysillä.

NAO-indeksin ja Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden kuukausitarkastelussa havaittiin tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä jokaisena vuodenaikana. Yhteyksien suunnat ja voimakkuudet vaihtelivat vuodenaajoittain sekä satunnaisesti tutkimusvuosittain, mikä viittaa yksittäisiin poikkeuksellisiin säätilanteisiin.

Tulosten perusteella NAO:n vaikutus Turun lämpösaarekkeeseen ilmenee kaikkina vuodenaikoina. NAO:n lämpösaarekettä voimistava ja heikentävä vaikutus riippuu NAO-indeksin vaiheesta. Positiivisen vaiheen aikana NAO on yhteydessä heikentyneeseen lämpösaarekkeeseen talvella ja voimistuneeseen lämpösaarekkeeseen keväällä. Syksyllä vaikutus ei ole yksiselitteinen, vaan se voi vaihtelevasti olla joko voimistava tai heikentävä. Lisäksi syksyllä ja keväällä yhteys NAO:n ja Turun lämpösaarekkeen välillä usein voimistuu vuodenaajan edetessä. Kesällä havaittu vaikutus oli heikko ja usein tilastollisesti ei-merkitsevä.

NAO selittää kuitenkin vain osan Turun lämpösaarekkeen intensiteetin vaihtelusta. Jatkotutkimuksia tarvitaan pidemmiltä aikasarjoilta, joissa on huomioitu muun muassa paikallisten meteorologisten tekijöiden vaikutukset laadukkaamman kokonaiskäsityksen muodostamiseksi. Tämä tutkimus antaa tietoa suurimittakaavaisen ilmakehän vaihtelun ja paikallisen kaupunki-ilmaston välisestä vuorovaikutuksesta.

Avainsanat: lämpösaareke, NAO, kaupunki-ilmasto, Pohjois-Atlantin oskillaatio, paikallisilmasto, suurilmasto, Turku

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Lämpösaarekeilmiö ja Pohjois-Atlantin oskillaatio	8
2.1	Lämpösaarekeilmiö	8
2.1.1	Lämpösaarekeilmiö kaupunkiympäristössä	8
2.1.2	Lämpösaarekkeeseen vaikuttavat tekijät	9
2.1.3	Lämpösaarekkeen vaikutukset ja riskit	11
2.1.4	Lämpösaarekeilmiön lieventäminen	13
2.2	Pohjois-Atlantin oskillaatio	15
2.2.1	NAO ilmiönä ja sen synty	15
2.2.2	NAO:n vaikutus Euroopan sääolosuhteisiin	16
2.3	Tutkimusalue	18
2.3.1	Tutkimusalueen ilmasto ja sääolosuhteet	18
2.3.2	Lämpösaarekeilmiö tutkimusalueella	19
2.3.3	NAO:n vaikutus tutkimusalueella	21
3	Aineistot ja menetelmät	23
3.1	Lämpösaarekeaineisto	23
3.2	NAO-indeksin aineisto	25
3.3	Tilastolliset menetelmät	26
3.3.1	Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotesti	26
3.3.2	Lineaarinen regressioanalyysi	27
4	Tulokset	28
4.1	Havaintoparien välinen tarkastelu	28
4.2	Kuukausitarkastelu	29
4.2.1	Tammikuu	29
4.2.2	Helmikuu	31
4.2.3	Maaliskuu	33
4.2.4	Huhtikuu	35
4.2.5	Toukokuu	36
4.2.6	Kesäkuu	38
4.2.7	Heinäkuu	39
4.2.8	Elokuu	41
4.2.9	Syyskuu	42
4.2.10	Lokakuu	44
4.2.11	Marraskuu	45

4.2.12	Joulukuu	47
4.3	Vuodenaikaiset vaihtelut	48
4.3.1	Talvi	48
4.3.2	Kevät	48
4.3.3	Kesä	49
4.3.4	Syksy	49
5	Keskustelu	51
5.1	Vuodenaikaisiin NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen välisiin yhteyksiin vaikuttavat tekijät	51
5.2	Yleiset huomiot	53
5.3	Tutkimuksen epävarmuustekijät	55
5.4	Jatkotutkimustarpeet	56
6	Johtopäätökset	58
	Lähteet	59

1 Johdanto

Muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa huomio kiinnittyy siihen, miten paikalliset olosuhteet muuttuvat ja mitä riskejä oma elinympäristö kohtaa. Yksi näkökulma muutosten keskellä liittyy siihen, miten muutokset suurilmastossa vaikuttavat paikallisilmastoihin eli miten suurilmasto ja paikallisilmasto vuorovaikuttavat (Sheridan & Lee, 2012). Suurilmaston ilmiöiden lisäksi myös ilmastonmuutoksella on vaikutus paikallisilmastoihin (IPCC, 2022). Yksi Turkua koskettavista ilmastonmuutoksen vaikutuksista on äärimmäinen kuumuus ja hellejaksot, joiden yhdeksi haavoittuvuus- ja altistustekijäksi on listattu lämpösaarekeilmiö (Turun kaupunki, 2026).

Kaupunkien keskusta-alueet ovat usein ympäröivää maaseutualuetta lämpimämpiä (Oke, 1987). Tässä on kyse kaupungin lämpösaarekeilmiöstä (urban heat island, UHI), joka esiintyy yleensä selkeimmin talvi- ja yöaikaan. Ilmiö on seurausta keskittyneestä ihmistoiminnasta, josta vapautuu lämpöä ympäröivään ilmakehään. Turussa kaupungin lämpösaareke on keskimäärin 2 °C (Suomi, 2014). Hetkittäisesti se voi suurimmillaan olla jopa yli 10 °C. Turun lämpösaarekkeeseen vaikuttaa pääosin kolme ympäristötekijää: kaupunkialueiden maankäyttö, etäisyys vesistöistä ja sijainti rannikolla sekä suhteelliset korkeusvaihtelut (Suomi ym. 2025c).

Lämpösaarekeilmiön on havaittu olevan osasyynä erilaisten riskien voimistumiseen. Lämpimät olosuhteet lisäävät viilennystarvetta kesäisin, mikä voi lisätä päästöjen määrää energiankulutuksen kautta (Kimberly, 2025). Kaupunkiekosysteemi ja sen eliöt saattavat myös kärsiä nousevista lämpötiloista heikentäen niiden elinmahdollisuuksia. Lämpenevällä ympäristöllä on vaikutuksia kaupunkiympäristön lisäksi ihmisten terveyteen. Nousevat lämpötilat lisäävät kuolleisuutta (Jabbar ym. 2023), ja alttiina ovat erityisesti vanhukset sekä lapset. Yhteyksiä on havaittu myös ilmanlaatuun muun muassa maanpinnan otsonin muodostumisen kautta, joka aiheuttaa erilaisia hengitystieoireita ja -sairauksia.

Suurilmaston ilmiöt voivat vaikuttaa paikallisilmastoon ja paikallisen mittakaavan sääilmiöihin. Esimerkiksi korkeapainevyöhykkeillä on havaittu olevan alueellisia lämpötilaeroja voimistava vaikutus (Suomi ym. 2025c). Yksi Euroopan alueella vaikuttavista suurilmaston ilmiöistä on Pohjois-Atlantin oskillaatio (North Atlantic Oscillation, NAO). NAO on seurausta merenpinnan ilmanpaineen vaihteluista subpolaarisen korkeapaineen ja subtrooppisen matalapaineen välillä, sekä se selittää suuren osan ilmastollisista vaihteluista

Euroopan alueella ja Pohjois-Amerikan itärannikolla (Outten & Davy, 2024). NAO:lla on havaittu olevan vaikutus erityisesti sään ääriolosuhteisiin, kuten kylmiin ja kuiviin säätilanteisiin.

Vastaava tutkimus on toteutettu Turun alueelta vuosilta 2011–2017 talvikuukausien ajalta (Ristimäki, 2023). Tämän tutkimuksen tarkastelu keskittyy Turun alueelle vuosille 2018–2024, mutta tutkimuksessa selvitetään NAO-indeksin vaikutusta talvikuukausien lisäksi myös muina vuodenaikoina. NAO-indeksillä on havaittu olevan voimakkain vaikutus talvikuukausina Euroopan sääolosuhteisiin, ja sen vaikutuksen tutkimus muina vuodenaikoina on jäänyt vähäisemmäksi (Folland ym. 2009). Turussa toteutetun tutkimuksen mukaan vuonna 2021 NAO-indeksillä oli yhteys Turun kaupungin lämpösaarekkeen tammikuun ja helmikuun lisäksi myös huhtikuussa ja lokakuussa (Suomi ym. 2025b). Korrelaatiot NAO-indeksin ja Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä olivat positiivisia tammikuussa ja huhtikuussa sekä negatiivisia helmikuussa ja lokakuussa. Tämän tutkimuksen tarkoitus on tutkia tarkemmin ja pidemmältä aikaväliltä tätä vuodenaikaista yhteyttä.

Aiemmat tutkimukset NAO-indeksin vaikutuksesta paikallisiin ilmastomuuttujiin keskittyvät pitkälti talvikuukausien tarkasteluun, mutta tutkimuksia on toteutettu myös kesäkuukausilta (Folland ym. 2009). Vaikutukset vuodenaikojen riippuvat siitä, onko NAO-indeksi positiivinen vai negatiivinen. Vaikutukset myös vaihtelevat alueittain. Esimerkiksi positiivisen NAO-indeksin aikaan kesäisin Pohjois-Euroopassa vallitsee lämpimät ja kuivat olosuhteet, kun taas samanaikaisesti Etelä-Euroopassa on usein viileämpää ja kosteampaa. Muuttuvat olosuhteet voivat myös vaikuttaa lämpösaarekkeen voimakkuuteen. Koska tutkimukset painottuvat talviaikaisen vaikutuksen havainnollistamiseen, on tietoa rajallisesti saatavilla NAO:n vaikutuksesta lämpösaarekkeeseen esimerkiksi kevät- ja syyskuukausina. Tästä syystä NAO-indeksin vuodenaikaisvaihtelun merkitys Pohjois-Euroopan paikallisiin ilmastomuuttujiin on toistaiseksi vähäinen.

Tämä tutkimus keskittyy tarkastelemaan Turun kaupunkialueella ilmenevän latvuserroksen lämpösaarekeilmion ja NAO:n välistä yhteyttä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksin välisen yhteyden vuodenaikaisuus ja ajallinen vaihtelu. Tutkimuksella pyritään myös hahmottamaan suurilmaston vaikutuksia paikallisilmastoon Turun ja Euroopan välisessä ilmastollisessa kontekstissa. Tavoitteiden perusteella tutkimukselle on määritetty seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Millainen vaikutus (voimistava/heikentävä) NAO:lla on Turun kaupungin lämpösaarekkeeseen?
2. Ilmeneekö NAO:n vaikutus Turun kaupungin lämpösaarekkeeseen myös muina vuodenaikoina kuin talvella?
3. Vaihtelevatko NAO-indeksin vaikutuksen voimakkuus tai suunta Turun kaupungin lämpösaarekkeeseen vuodenajan mukaan?

2 Lämpösaarekeilmiö ja Pohjois-Atlantin oskillaatio

2.1 Lämpösaarekeilmiö

2.1.1 Lämpösaarekeilmiö kaupunkiympäristössä

Kaupungin lämpösaarekeilmiöllä tarkoitetaan sitä, kun kaupunkimainen ympäristö ilmenee maaseutuympäristöä lämpimämpänä (Oke, 1987). Ensimmäistä kertaa lämpösaarekeilmiö havaittiin systemaattisesti 1800-luvun alussa Lontoossa (Piracha & Chaudhary, 2022).

Keskeisiä syitä lämpösaarekeilmiön muodostumiseen ovat kaupunkimainen maankäyttö ja keskittynyt ihmistoiminta. Ilmiö syntyy, kun auringon lyhytaaltoista säteilyä varastoituu kaupungin tummiin pintoihin päiväsaikaan ja vapautuu pitkäaaltoisena lämpösäteilyä kaupunkiympäristöön erityisesti yöaikaan. Muita ihmisperäisiä lämmönlähteitä ovat muun muassa teollisuus, liikenne ja asuinrakennusten lämmitys (Suomi ym. 2025b).

Maantieteellisesti lämpösaareke näkyy ympäröivää aluetta lämpimämpänä vyöhykkeenä ja sitä voidaan mallintaa esimerkiksi kaupunkialuetta kuvaavalla lämpötilakartalla (Suomi ym. 2025a). Lämpösaareke ilmenee voimakkaammin yleensä talvisin yöaikaan, kun ympäröivät alueet viilenevät nopeasti ja kaupunkiin varastoitunut lämpö vapautuu (Jabbar ym. 2023).

Keskimäärin lämpösaarekkeen intensiteetti kaupungeissa vaihtelee 1–6 °C välillä, mutta hetkittäiset intensiteetit voivat nousta jopa yli 10 °C. Tutkimusten mukaan eteläisen pallonpuoliskon kaupungeissa lämpösaarekkeet esiintyvät voimakkaampina kuin pohjoisella pallonpuoliskolla, mutta eroavaisuudet eivät ole merkittäviä (Kong ym. 2025).

Lämpösaarekkeen on havaittu kasvavan noin 0,7 °C jokaista kaupunkialueen pinta-alan kaksinkertaistumista kohti (Zhao ym. 2025).

Lämpösaarekeilmiö on yksi kaupunkialueilla esiintyvä paikallisilmaston ilmiöistä.

Paikallisilmastolla tarkoitetaan ilmastoa tietyllä alueella, jossa paikalliset olosuhteet selvästi eroavat lähiympäristön olosuhteista (Yoshino, 2005). Kaupungeissa paikallisilmastoa kutsutaan usein myös kaupunki-ilmastoksi, ja paikallisilmastoja esiintyy kaupunkien lisäksi myös esimerkiksi vuorilla, metsissä ja rannikoilla. Muita lämpösaarekeilmiöön liitettäviä käsitteitä ovat lämpökapasiteetti, antropogeeninen eli ihmisperäinen lämpö sekä kaupunkikuilu. Kaupunkikuilu (urban canyon) on kaupungeissa esiintyvä morfologinen piirre, jossa korkeat rakennukset ja niiden välissä oleva tila muodostavat kaupunkiin kuilumaisia ”kanjoneita”, jotka varastoivat auringon säteilyä ja vaikuttavat muun muassa tuulien virtausdynamiikkaan (Brazel & Quatrocchi, 2005).

Lämpösaarekkeesta voidaan tunnistaa neljä eri tyyppiä (Zhao ym. 2025). Nämä ovat pinnan lämpösaareke, latvuserroksen lämpösaareke, rajakerroksen lämpösaareke sekä maaperän lämpösaareke. Pintojen lämpösaareke (surface urban heat island, SUHI) kuvastaa lämpötilaeroja kaupunkialueiden pintamateriaalien ja ympäröivien alueiden välillä. Pintalämpötilan mittaukset perustuvat lämpöinfrapuna-kaukokartoitusteknologiaan, jossa sensorit mittaavat maanpinnasta säteilevää lämpösäteilyä. Latvuserroksen lämpösaareke (canopy layer urban heat island, CUHI) havainnollistaa lämpötilaeroja, jotka ihmiset kokevat kaupunkiympäristössä. Mittaukset tehdään rakennusten väliin jäävästä ilmakerroksesta noin kahden metrin korkeudella maanpinnasta. Rajakerroksen lämpösaareke (boundary layer urban heat island, BUHI) kuvaa kaupunkien kokonaisvaltaista lämpövaikutusta ilmakehän rajakerrokseen. Lämpötilamittaukset tehdään korkeammalta meteorologisilla havainnoilla. Latvuserroksen ja rajakerroksen lämpösaarekettä kutsutaan myös yhteisesti ilmakehän lämpösaarekkeeksi (Mokhtara ym. 2025). Maaperän lämpösaareke taas (ground-based urban heat island, GUHI) luonnehtii kaupungistumisesta johtuvan lämmön aiheuttamia muutoksia maaperässä maanalaisilla lämpötilasensoreilla.

2.1.2 Lämpösaarekkeeseen vaikuttavat tekijät

Kaupunki-ilmasto on kompleksi kokonaisuus, johon vaikuttaa monet eri tekijät. Lämpösaarekeilmion piirteet vaihtelevat kaupungeittain, ja piirteisiin vaikuttavat erilaiset urbaanit, ympäristölliset ja ilmastolliset tekijät (Liu ym. 2020). Kaupungistuminen on keskeisenä tekijänä kaupunki-ilmaston muutoksissa ja siten lämpösaarekkeessa (Kong ym. 2021). Kasvavissa kaupungeissa väkimäärä lisääntyy ja luonnolliset elementit, kuten kasvillisuus, korvautuvat lämpöä absorboivilla rakennetuilla materiaaleilla, kuten asfaltilla ja betonilla (Jabbar ym. 2023; Maghrabi ym. 2026). Kasvillisuuden ja latvuspeitteisyyden vähäisyys kaupungissa myös voimistaa lämpösaarekettä. Kasvillisuuden toimesta tapahtuva evapotranspiraatio jäähdyttää kaupunkia luonnollisesti, jolloin maankäytön muutokset rakennettuihin materiaaleihin lämmittävät kaupunki-ilmaa entisestään. Keskeisenä ominaisuutena kaupungin pintamateriaaleissa on niiden albedo eli heijastuskyky sekä lämpöominaisuudet kuten lämpöinertia ja lämpökapasiteetti. Tummat päällysteet ja korkean lämpökapasiteetin materiaalit absorboivat tehokkaasti auringon lyhytaaltoista säteilyä erityisesti aurinkoisina olosuhteina päiväsaikaan, kun taas vaaleammilla pinnoilla, kuten lumipeitteellä, auringon lämpösäteily heijastuu takaisin ilmakehään. Kun lämpöä varastoituu kaupungin päällysteisiin ja rakennuksiin, sitä vapautuu lopulta ilmakehään luoden lämpösaarekkeen kaupunkialueelle. Rakennettujen materiaalien lisäksi erilaiset

antropogeeniset lämmönlähteet lämmittävät kaupunkiympäristöä. Näitä ovat keskittynyt liikenne, rakentaminen sekä teollisuustoiminta. Kaupungin rakennusten lämmitys ja viilennys sekä niiden mahdollinen hukkalämpö lämmittävät kaupunki-ilmaa edellä mainittujen tekijöiden lisäksi (Zhou ym. 2017).

Lämpösaarekkeen intensiteettiin vaikuttaa pääsääntöisesti ihmistoiminta, mutta myös ympäristöön liittyvät tekijät muokkaavat sen voimakkuutta ja esiintymistä (Kong ym. 2025). Näitä ovat esimerkiksi erilaiset meteorologiset tekijät kuten sadanta, ilmankosteus, tuulisuus ja pilvipeitteisyys. Sadanta vaikuttaa pintojen kosteusolosuhteisiin ja sitä kautta lämpösaarekkeen intensiteettiin (Zhao ym. 2025). Vaikutus lämpötiloihin ilmenee esimerkiksi haihdutusjäähdytyksen kautta. Korkea ilmankosteus voi lieventää lämpösaarekkeen voimakkuutta, mutta se voi myös lisätä kaupungin lämpöstressiä vaikuttaen negatiivisesti ihmisten terveyteen. Tuulilla ja pilvipeitteellä on lämpösaarekkeen intensiteettiä pienentävä vaikutus (Brazel & Quatrocchi, 2005). Tuulet sekoittavat kaupungin ilmamassaa ja voivat tuoda viileää ilmaa ympäristöstä, millä on lämpösaarekettä lieventävä vaikutus (Papanastasiou & Kittas, 2012). Esimerkiksi merituuli pienentää ja viivästyttää lämpösaarekkeen muodostumista sekä siirtää lämpösaarekkeen keskusaluetta. Alhainen tuulen nopeus lisää ilmakehän vakautta, heikentää vaakasuuntaista advektiivista jäähtymistä sekä pidentää ilmamassan paikallaan pysymistä (Kong ym. 2021). Pilviset olosuhteet taas vähentävät kaupungin pinnoille saapuvaa auringonsäteilyn määrää, koska pilvien albedo on korkea ja säteilyä heijastuu takaisin avaruuteen. Tämän vaikutuksesta pienempi määrä lämpösäteilyä pääsee absorboitumaan kaupunkirakenteisiin.

Lisäksi alueen maantieteellisillä ominaisuuksilla on vaikutus paikallisilmastoon ja lämpösaarekkeeseen (Kong ym. 2025). Rannikkokaupungeissa lämpösaarekkeen intensiteetti on usein vähäisempi verrattuna mantereisiin kaupunkeihin. Suurilla vesistöillä, kuten kaupunkia reunustavilla merillä, on lämpötilaeroja säätelevä vaikutus (Xie ym. 2023). Yhteistekijänä on maa- ja merituulien viilentävät vaikutukset. Lisäksi isot vesistöt laskevat yläpuolisen ilman lämpötilaa (Jabbar ym. 2023). Muita maantieteellisiä tekijöitä ovat esimerkiksi kaupunkia reunustavat vuoristot, jotka liittyvät vahvasti inversiotilanteisiin (Rupp ym. 2020). Maanpinnan suhteelliset korkeuserot aiheuttavat kylmien ilmamassojen kerääntymistä alaville alueille, jolloin korkeammalla olevat tasaiset alueet ovat lämpimämpiä ja muodostavat inversion eli lämpötilan käänteiskerrostumisen. Vuoristot saattavat myös toimia esteenä tuulien pääsyyille kaupunkiin. Lämpösaarekkeen intensiteetti ja sen ominaisuudet vaihtelevat myös ilmastovyöhykkeittäin (Harmay & Choi, 2023).

Kaupungin koolla ja rakenteella on havaittu olevan vaikutusta lämpösaarekkeen intensiteettiin. Näiden vaikutus ei ole yksiselitteinen, vaan epälineaarinen (Zhao ym. 2025). Kaupunkirakenteen muodostamat kaupunkikanjonit vaikuttavat paikallisiin tuulijärjestelmiin muuttaen muun muassa niiden suuntaa ja voimakkuutta sekä vähentäen ilmanvaihtoa (Maghrabi ym. 2026; Jabbar ym. 2023). Lämpöä varastoituu enemmän kaupunkirakenteisiin, kun lämmön konvektio pinnoilta ilmaan pienenee heikentyneiden tuulien vuoksi. Kaupunkikanjonien on havaittu varastoivan 30–50 % enemmän pitkäaaltoista säteilyä nostaten pintalämpötiloja. Lisäksi väestötiheys ja rakennustiheys kaupungissa voivat suoraan tai epäsuoraan vaikuttaa lämpösaarekkeen muodostumiseen (Zhou ym. 2017). Yleisesti on todettu lämpösaarekkeen intensiteetin olevan voimakkaampi suurissa ja kompakteissa kaupungeissa, joissa on pieni anisometria (eli kaupunkialueen vähäinen venyneisyys). Korkea fraktaalinen ulottuvuus kaupungissa, kaupunkialueen pienempi venyneisyys ympäristöön ja pyöreämpi muoto voivat siis voimistaa lämpösaarekettä.

Myös hellejaksoilla on osassa tutkimuksista havaittu olevan yhteys lämpösaarekkeeseen (Kong ym. 2021). Usein lämpösaarekkeen intensiteetti on voimistunut hellejaksojen aikaan kohonneiden lämpötilojen vuoksi. Hellejakson vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuteen riippuu kaupungin ja maaseudun vasteista hellejaksoihin ja ilmastollisesta taustasta. Hellejaksojen ja kaupungin lämpösaarekkeen väliseen synergiaan vaikuttaa lisäksi kaupunkimorfologia ja väestötiheys.

2.1.3 Lämpösaarekkeen vaikutukset ja riskit

Selkein lämpösaarekkeesta johtuva vaikutus on kaupungin lämpötilojen nousu suhteessa ympäröiviin alueisiin. Tällä lämpötilan nousulla ja kaupunki-ilmaston olosuhteiden muutoksella on vaikutus useaan eri kaupungin osa-alueisiin. Lämpötilan muutokset sekä kylmä ja kuuma sää vaikuttavat vakavasti ihmisten terveyteen (Jabbar ym. 2023; Kimberly, 2025). Erityisen lämpimät olosuhteet vähentävät lämpöviihtyvyyttä, aiheuttavat epämukavuutta arjessa sekä lisäävät kuolleisuutta. Erityisen viileillä ilmastoalueilla, kuten Suomessa, lämpötilan vaikutukset terveyteen alkavat näkyä jo 15 °C:ssa (Näyhä, 2005). Kuolleisuusluvut nousevat entisestään keskilämpötilan pysytellessä 20 °C tuntumassa parin viikon ajan. Lämpötilan raja-arvot kuolleisuuden suhteen vaihtelevat ilmastovyöhykkeiden mukaan johtuen ihmisten erilaisista sopeutumisista eri ilmastoihin. Lämpötilojen muutokset vaikuttavat erityisesti sosiaalisesti haavoittuvaisiin ihmisryhmiin, jotka ovat alttiimpia

lämpötiloista johtuville riskeille (Kong ym. 2025). Näitä ovat vanhukset, lapset ja ihmiset, joilla on entuudestaan jokin terveydellinen ongelma (Kimberly, 2025).

Kuolleisuuden nousu lämpösaarekkeen voimistumisen myötä johtuu lämpötilojen kohoamisen terveydellisistä vaikutuksista. Helleaaltojen aikaan lämpösaarekkeen on havaittu lisäävän kuolleisuuden ja lämpöön liitettävien sairauksien riskiä jopa 5–10 % (Zhao ym. 2025). Lämpötilojen nousu lisää lämpöstressiä, jolloin muun muassa hikoilu, nesteen ja suolan menetys sekä sydämen työmäärä lisääntyvät (Harmay & Choi, 2023; Näyhä, 2005). Muut terveydelliset vaikutukset liittyvät laajalti sydän- ja verisuonitautien sekä hengityselinsairauksien pahenemiseen (Jabbar ym. 2023). Riski sydän- ja verisuonitautien pahenemiseen kasvaa lämpötilojen noustessa, ja vaikutuksia on havaittu olevan myös aivoverenkiertoon sekä siihen liittyviin sairauksiin (Piracha & Chaudhary, 2022). Lisäksi korkeiden lämpötilojen on havaittu johtavan myös mielenterveysongelmien lisääntymiseen. Lämpösaareke voi vaikuttaa haitallisesti myös kaupungin ilmanlaatuun, jolloin riski sairastua muun muassa hengityselinsairauksiin kasvaa (Kimberly, 2025).

Lämpötilojen kohoaminen kaupungissa voi vähentää rakennusten lämmitystarvetta kylmempinä vuodenaikoina, mutta viilennystarve ja ilmastointi lisääntyvät kaupunkilämpötilojen kohotessa (Kimberly, 2025). Tämä johtaa energiankulutuksen kasvamiseen (Jabbar ym. 2023; Kong ym. 2025; Mokhtara ym. 2025). Riippuen energiantuotantotavasta lisääntynyt energiankulutus voi lisätä kasvihuonekaasupäästöjen, kuten hiilidioksidin, vapautumista huonontaan kaupungin ilmanlaatua. Lämpösaareke voi heikentää ilmanlaatua myös kiihdyttämällä maanpinnan otsonin muodostumista, mikä on yksi smogin pääkomponenteista. Maanpinnan otsonin muodostuminen kiihtyy lämpötilojen noustessa. Energiankulutuksen lisäksi myös vedenkulutus voi lisääntyä johtuen viilennys- ja nesteytystarpeen kasvusta.

Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten lisäksi lämpösaarekkeella on vaikutus kaupunkiekosysteemeihin ja kaupunkien muuhun elolliseen luontoon (Kimberly, 2025). Monen elion elinmahdollisuudet ovat riippuvaisia tietyistä lämpötilarajoista, jolloin lämpötilan muutokset saattavat vaikuttaa eliöiden elinmahdollisuuksiin kaupunkiympäristössä. Lämpösaarekkeista aiheutuva lämpösaaste huonontaa myös vedenlaatua (Jabbar ym. 2023). Lisäksi suuri osa vesieliöistä on haavoittuvaisia lämpötilojen nousulle, mikä hankaloittaa niiden lisääntymistä ja elintoimintoja. Vesieliöissä voi esiintyä esimerkiksi lämpöshokkia tai lämpöstressiä. Jos kaupunkieliöt eivät kykene sopeutumaan

muuttuviin olosuhteisiin, on eliöiden vaihdettava elinympäristöä. Tämä vähentää luonnon monimuotoisuutta kaupungeissa, mikä voi kärjistä lämpösaarekkeen intensiteettiä entisestään. Lämpösaareke voi lisäksi vaikuttaa vesiresurssien saatavuuteen lisääntyneen haihdunnan vuoksi.

Kaupungistumisen kasvaessa lämpösaarekeilmiö todennäköisesti voimistuu (Kong ym. 2025). Esimerkiksi Manchesterissä tehdyssä tutkimuksessa kaupungin lämpötila suhteessa maaseutuun tulee kasvamaan jopa 1,68 °C verran vuoteen 2100 mennessä. Ilmasto on kompleksi systeemi, jolloin lämpösaarekkeen vaikutukset ja haitat ilmenevät osittain yhdessä muuttuvan ilmaston kanssa. Jatkossa tutkimukset todennäköisesti tulevat keskittymään paljon lämpösaarekkeen ja ilmastonmuutoksen väliseen vuorovaikutukseen (Zhao ym. 2025). Esimerkiksi lisääntyvien helleaaltojen ja lämpösaarekkeen välistä yhteyttä on jo tutkittu ja on todettu, että lämpösaareke voi voimistua hellejaksojen aikaan. Kaupunkien lämpösaarekkeet voivat osoittaa erilaisia muutostrendejä eri ilmastonmuutosskenaarioissa. Ilmaston lämpeneminen saattaa esimerkiksi voimistaa lämpösaarekeilmiötä ja alueellisia lämpötilaeroja.

2.1.4 Lämpösaarekeilmiön lieventäminen

Lämpösaarekkeen lieventäminen on keskeisesti sidoksissa kaupunkirakenteeseen ja kaupunkisuunnitteluun (Zhao ym. 2025). Eri tekijät, kuten katujen leveys, rakennusten korkeus, rakennetun alueen osuus ja avointen tilojen koko vaikuttavat siihen, miten lämpötilat jakautuvat kaupungeissa (Kolokotsa ym. 2022). Lämpöherkkien alueiden tunnistaminen on tärkeää lieventämisen kohdistamista suunniteltaessa. Tämä onnistuu esimerkiksi kaukokartoitustekniikoilla. Lieventämistekniikoiden tavoitteena on vähentää lämmön kertymistä kaupunkirakenteisiin sekä tehostaa lämmön poistumista kaupungeissa, jotta kaupunkien ylikuumenemisen intensiteetti ja alueellinen laajuus pienenevät.

Rakennetut alueet ja muu infrastruktuuri absorboivat ja pidättävät enemmän lämpöä kuin luonnolliset elementit, kuten kasvillisuus (Kong ym. 2025). Tiheästi rakennetut alueet, joissa on paljon vettä läpäisemättömiä pintoja ja puutetta kasvillisuudesta, vähentävät haihtumisesta muodostuvaa jäähdtytystä (Wei ym. 2024). Samalla kaupungin energiatasapaino muuttuu. Kasvillisuuden määrä kaupungissa säätelee lämpösaarekkeen voimakkuutta ja vähentää sitä muun muassa evapotranspiraation eli kokonaishaihdunnan avulla. Puusto ja kasvillisuus antavat myös varjoa, jolla on viilentävä vaikutus kaupunkiolosuhteisiin. Kasvillisuuden viilennysvaikutus riippuu kaupungissa esiintyvistä kasvillisuustyypeistä, kasvillisuuden

kunnossapidosta sekä ilmasto-olosuhteista (Zhao ym. 2025). Kasvillisuutta ja vihreitä tiloja voi lisätä kaupungeissa esimerkiksi yksittäisten puiden, puistojen, viherrakentamisen eli viherkattojen ja viherseinien sekä pienpuistojen muodossa (Kolokotsa ym. 2022; Zheng ym. 2026). Kaupunkivehreyks voi vähentää pinnan ja pinnan läheisen ilman lämpötilaa yleisesti 1–3 °C verran, mutta paikallisesti jopa 5–7 °C.

Lämpösaareketta lieventää myös sininen infrastruktuuri, eli erilaiset vesistöt kaupunkiympäristössä, kuten joet, järvet ja lammet (Kolokotsa ym. 2026; Zheng ym. 2026). Erilaiset vesistöt kaupungeissa, kuten joet ja lammet, hillitsevät kaupunkilämpötiloja haihdunnan jäähdytysvaikutuksen ja lämmön absorption avulla (Kong ym. 2025). Sinisen infrastruktuurin jäähdytystehokkuus riippuu paljolti vesistön geometriasta, eli koosta ja muodosta, sekä lämpötilaeroista. Pienemmät vesistöt tuottavat tehokasta haihdutusjäähdytystä, mutta rajallisella alueellisella laajuudella. Suuremmat vesimuodostumat taas vaikuttavat laajemmalla alueella, mutta niiden tehokkuus viilentäjänä on heikompi. Shanghaissa toteutetussa tutkimuksessa jokiympäristöillä oli jopa 2,9 °C viilentävä vaikutus (Zhao ym. 2025). Viilentävän vaikutuksen kantamaan ja intensiteettiin vaikutti vesistön koko ja syvyys sekä ympäröivä maankäyttö.

Kaupunkisuunnittelun kannalta matalat ja harvaan rakennetut rakennukset kaupunkiympäristössä voisivat vähentää lämpösaarekkeen voimakkuutta (Kolokotsa ym. 2022). Keskittyneessä ihmistoiminnassa ja tiheään rakennetussa ympäristössä lämpöä vapautuu paljon pieneltä alueelta, jolloin lämpösaarekkeen intensiteetti voi olla suurempi, kuin harvemmin asutusta ja rakennetusta ympäristöstä (Zhou ym. 2017). Tämän lisäksi huomiota on kiinnitettävä rakennusten pintamateriaaleihin ja erityisesti niiden albedoon, sillä albedo vaikuttaa suoraan pintojen lämpenemiseen. Vaaleat, heijastavat pinnoitteet rakennusten katoissa ja päällysteissä, eli materiaalit, joilla on korkea albedo, voivat pienentää kaupungin lämpötilaa 1–3,5 °C verran (Zheng ym. 2026). Näitä kutsutaan myös pintaa viilentäviksi toimenpiteiksi. Abu Dhabissa suoritetussa tutkimuksessa korkean albedon katot vähensivät pintalämpötilaa jopa 4,5 °C verran (Zhao ym. 2025). Albedon lisääminen valikoivasti esimerkiksi tummissa katoissa voi merkittävästi vähentää lämpösaarekkeen intensiteettiä ja samalla tuottaa energiasäästöjä vähentämällä viilennystarvetta.

2.2 Pohjois-Atlantin oskillaatio

2.2.1 NAO ilmiönä ja sen synty

Pohjois-Atlantin oskillaatio (North Atlantic Oscillation, NAO) on suurilmaston vaihteluun liittyvä ilmiö, joka vaikuttaa erityisesti Euroopan alueen sääolosuhteisiin (Outten & Davy, 2024). NAO on osa arktista oskillaatiota (AO), jonka pääsääntöinen vaikutusalue on arktisella alueella pohjoisilla leveysasteilla (Walter & Graf, 2002). Pääsyy ilmiön esiintymiseen on merenpinnan paine-erot Pohjois-Atlantin alueella, jotka ohjaavat muun muassa ilmavirtauksia ja ilmakehän kiertoliikkeitä. Ilmiö liittyy niin sanottuihin telekonnektioihin, joissa sää- ja ilmastomuutoksia ilmenee samanaikaisesti kaukana toisistaan sijaitsevilla alueilla (Hurrell, 2005). Telekonnektiot yhdistävät alueita laajamittaisilla yhteyksillä ilmakehän kiertoliikkeessä. NAO:n on havaittu olevan ainoa merkittävä telekonnektio pohjoisella pallonpuoliskolla, jonka vaikutukset ovat havaittavissa ympäri vuoden.

Ilmiö liittyy merenpinnan paine-erojen muutoksiin subpolaarisen matalapaineen ja subtrooppisen korkeapaineen välillä, joiden välinen gradientti ohjaa suihkuvirtauksen käyttäytymistä (Outten & Davy, 2024). Islannin alueella sijaitsee pysyvä matalapainevyöhyke ja Azorien saarilla Portugalista länteen pysyvä korkeapainevyöhyke. Näiden keskusten välinen paine-ero säätelee Pohjois-Atlantilla virtaavan suihkuvirtauksen voimakkuutta ja sijaintia, millä on vaikutus Pohjois-Atlanttia ympäröivien alueiden sääolosuhteisiin ja alueellisiin ilmastoihin sekä niissä ilmeneviin muutoksiin (Song ym. 2025). Ilmakehän sisäiset dynamiikat ja vuorovaikutukset säätelevät pääsääntöisesti NAO:a, mutta sen ajallisiin ja paikallisiin vaihteluihin voivat vaikuttaa myös ulkoiset tekijät. Näitä ovat muun muassa auringon aktiivisuussyklit, tulivuorenpurkaukset sekä muutokset maanpinnan reunaehdoissa, kuten lumipeitteessä ja merijäässä.

NAO:sta voidaan tunnistaa negatiivinen ja positiivinen vaihe, jolloin sen vaikutukset sääolosuhteisiin poikkeavat (Outten & Davy, 2024). Näitä vaiheita kuvataan NAO-indeksillä, joka on ollut käytössä jo 1800-luvulta asti (Song ym. 2025). Positiivinen indeksiluku merkitsee positiivista NAO-vaihetta ja negatiivinen negatiivista NAO-vaihetta. Luvun suuruus ilmaisee vaiheen voimakkuuden. Tämä indeksi voidaan määrittää eri tavoilla. Eräs lähestymistapa on laskea subtrooppisen korkeapaineen ja subpolaarisen matalapaineen välinen standardisoitu maanpinnan paine-ero Pohjois-Atlantilla. Toinen tapa määrittää indeksi on empiirinen ortogonaalinen funktio (EOF) -analyysi, joka tunnistaa suurimman vaihtelun

tilastolliset pääkomponentit ja joka määritetään merenpinnan paineesta Pohjois-Atlantilla. Lisäksi indeksiluku voidaan selvittää geopotentialisen korkeuden avulla (Rousi ym. 2020).

NAO:n vaikutuksia, vaiheita ja vaiheiden voimakkuuksia on haastavaa ennustaa lyhyellä tai pidemmällä aikavälillä (Hurrell, 2005). On kuitenkin esitetty teorioita eri mekanismeista, joilla voi olla vaikutus NAO:hon ja joista NAO:n vaiheita voisi yrittää ennustaa. Esimerkiksi trooppisen sateen määrä ja sijainti vaikuttavat ilmakehän kiertoliikkeisiin Pohjois-Atlantilla, mikä voi vaikuttaa myös NAO:hon. Lisäksi ilmakehän vuorovaikutuksella stratosfäärin alaosan kanssa voi olla vaikutusta. Vaikutukset liittyvät valtaosin ilmakehän koostumukseen. Muutokset esimerkiksi auringon säteilyn voimakkuudessa, kasvihuonekaasujen ja otsonin pitoisuudessa säätelevät stratosfäärin säteilytasapainoa, joka säätelee stratosfäärin alaosan talvisen polaaripyörteen voimakkuutta. Kolmas mahdollinen vaikutusmekanismi on vaihtelut lämmönvaihdossa maan, meren, jään ja ilmakehän välillä. Esimerkiksi trooppisen ja subtrooppisen merenpinnan lämpötila-anomalioiden on havaittu vaikuttavan NAO:hon.

2.2.2 NAO:n vaikutus Euroopan sääolosuhteisiin

Vaikka NAO:n vaikutukset ovatkin havaittavissa vuoden ympäri, ilmastoanomaliat ovat suurimmillaan talvikuukausina, jolloin ilmakehä on dynaamisesti aktiivisimmillaan (Hurrell, 2005). Tämän vuoksi suurin osa NAO:hon liittyvistä tutkimuksista keskittyy tarkastelemaan NAO:n vaikutuksia sääolosuhteisiin talvikuukausina. Vaikutuksia on kuitenkin havaittavissa myös kesäkuukausina (Folland ym. 2009). Vaikutukset riippuvat paljolti NAO:n voimakkuudesta sekä siitä vallitseeko negatiivinen vai positiivinen NAO-vaihe. NAO:n vaikutus näkyy selkeimmin Euroopan alueen sääolosuhteissa ja alueellisissa ilmastoissa, mutta vaikutukset ulottuvat myös muun muassa Pohjois-Amerikan itäosiin, Välimeren seudulle, Pohjois-Afrikkaan, Lähi-Itään, Keski-Venäjälle sekä Itä-Aasiaan (Hurrell, 2005; Outten & Davy, 2024; Song ym. 2025). NAO:n ääriarvojen on havaittu voimistuvan erityisesti negatiivisessa vaiheessa, jolloin painegradientti heikkenee, verrattuna positiiviseen (Liu ym. 2025). Kesäaikaiset NAO:n äärimmäiset tilat voivat puolestaan aiheuttaa vakavia sääilmiöitä Euroopan alueella, kuten helleaaltoja ja tulvia.

NAO:n nykyaikaisten vaikutusten arvioidaan alkaneen noin 60–80 miljoonaa vuotta sitten Atlantin valtamerialtaan laajentuessa supermanner Pangaeen jäljiltä (Song ym. 2025). Kyseisen telekonnektion vaikutukset sääolosuhteisiin liittyvät sen vaikutuksesta suihkuvirtaukseen sekä myrskyjen reitteihin (Outten & Davy, 2024). NAO:lla on havaittu olevan vaikutusta myös arktiseen merijäähän sekä Atlantin monivuotiseen heilahteluun

(Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO) (Song ym. 2025). Lisäksi NAO:n vaikutukset ulottuvat myös Atlantin meridionaaliseen kiertoiliikkeeseen (Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC), joka on suuri meriveden kiertoa ylläpitävä merivirtasysteemi Atlantin valtamerellä (Outten & Davy, 2024). Tyynellä valtamerellä ilmenevän El Niño -oskillaation (ENSO) vaikutusta NAO:hon on myös tutkittu. Yleisen käsityksen mukaan El Niño -vaihe olisi yhteydessä NAO:n negatiiviseen vaiheeseen ja La Niña positiiviseen vaiheeseen, mutta yhteys ei ole kaikissa tutkimuksissa yksiselitteinen (King ym. 2023).

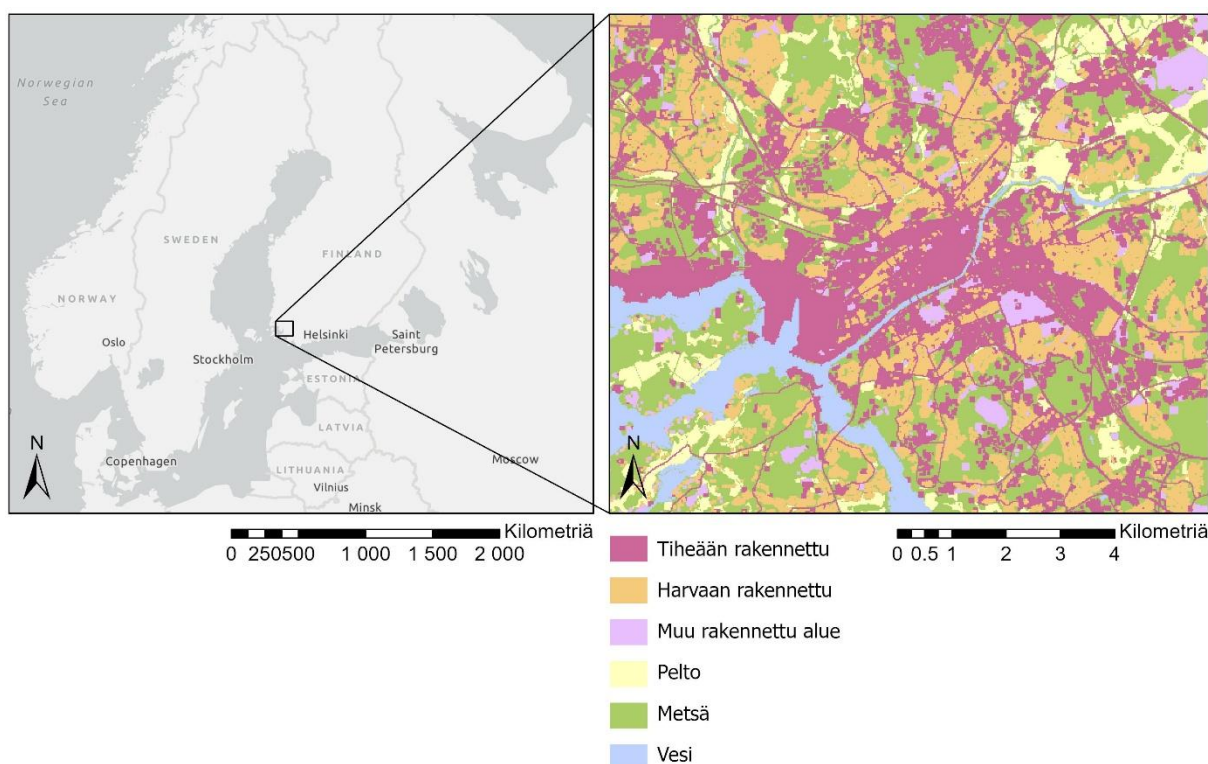
NAO:n positiivisessa vaiheessa subpolaarisen matalapaineen ja subtrooppisen korkeapaineen välinen painegradientti on suurempi, jolloin suihkuvirtaus virtaa voimakkaampana (Liu ym. 2025). Positiivisen vaiheen aikana Etelä-Euroopassa voidaan usein havaita lämpötilojen laskua sekä vähäisempää sadetta (Rousi ym. 2020; Outten & Davy, 2024; Met Office, 2024). Olosuhteet ovat tällöin keskimääräistä viileämmät ja pilvisemmät, sillä pohjoistuulet kuljettavat kylmää ilmaa etelään (Hurrell, 2005; Folland ym. 2009). Pohjois-Euroopassa sademäärät voivat lisääntyä, kun länsituuli tuo kosteaa ja lämmintä meri-ilmaa Atlantilta. Positiivinen NAO-vaihe aiheuttaa usein antisyklonisia, eli korkeapaineen hallitsemia, ja aurinkoisia olosuhteita laajasti Pohjois- ja Keski-Euroopan alueelle. Lisäksi Länsi-Afrikan monsuunialueilla sekä Pohjois-Amerikan itärannikolla voidaan havaita tavallista lämpimämpiä sääolosuhteita, kun taas Grönlannissa sää on keskimääräistä kylmempää. Positiivisen vaiheen vaikutukset sääolosuhteisiin eri alueilla ovat melko samanlaiset sekä kesällä että talvella, mutta vaikutusten alueellinen laajuus saattaa poiketa erityisesti lämpötilojen suhteen. Vaikutukset ulottuvat usein laajemmalle alueelle talviaikaan, jolloin NAO:n vaikutuksen on havaittu olevan aktiivisempi.

Negatiivisessa vaiheessa Islannin matalapainevyöhykkeen ja Azorien korkeapainevyöhykkeen välinen painegradientti taas on pienempi (Liu ym. 2025). Tämä johtaa yleensä heikentyneeseen suihkuvirtaukseen Pohjois-Atlantilla. Euroopan alue kokee myös vähemmän ja heikompia talvimyrskyjä negatiivisen NAO-vaiheen aikaan (Rousi ym. 2020). Negatiivisen vaiheen aikaan vaikutukset sääolosuhteisiin ovat usein käänteiset verrattuna positiiviseen vaiheeseen (Outten & Davy, 2024). Pohjois- ja Keski-Euroopassa on tavallista kylmempää ja kuivempää (Met Office, 2024). Myös Pohjois-Amerikan itärannikolla olosuhteet ovat viileämmät. Etelä-Eurooppaan kulkeutuu lämpimämpää ja kosteampaa ilmaa johtaen sademäärien kasvuun sekä lämpötilojen nousuun. Lämpimämpiä olosuhteita on havaittavissa usein myös Grönlannin tuntumassa. Myös negatiivisen NAO-vaiheen vaikutukset ulottuvat usein laajemmalle alueelle talvikuukausina.

2.3 Tutkimusalue

2.3.1 Tutkimusalueen ilmasto ja sääolosuhteet

Tutkimusalueena toimii Turku, joka on keskikokoinen ja Suomen vanhin kaupunki Lounais-Suomen rannikolla (kuva 1). Yli 200 000 asukkaan kaupunkia reunustaa Saaristomeri, joka on osa Itämeren murtovesiallasta, ja laajalle ulottuva tuhansista saarista ja luodoista koostuva saaristo. Keskustan (60°27' N, 22°16' E) läpi Itämereen laskee Aurajoki Oripään harjuilta. Aurajoen lisäksi Itämerellä on merkittävä vaikutus Turun paikallisiin ilmastoon (Suomi ym. 2025b). Keskustan rakennuskanta noudattaa suhteellisen säännöllistä ruutukaavaa. Turun asukkaista hieman yli neljännes asuu keskustan alueella. Kaupunkia reunustaa useampi naapurikunta, joista suurimmat ovat Kaarina, Raisio, Lieto ja Naantali.



Kuva 1. Tutkimusalue kuvattuna. Lounais-Suomen maantieteellinen sijainti (vasen) sekä maankäyttö Turun alueella (oikea). Maankäyttöaineisto: uudelleenluokiteltu CORINE maanpeite 2018 -aineisto (Syke, 2026).

Köppenin ilmastoluokituksen mukaan Turku sijaitsee kostean mannerilmaston vyöhykkeellä (Dfb), jossa kesät ovat lämpimiä, ja alueella ei ilmene kuivaa kautta. Luokituksen mukaan sademäärä pysyy suhteellisen vakaana vuoden ympäri ilman merkittäviä eroja. Vuosien 1991–2020 ilmastojakson aikana Turun vuosikeskilämpötila oli 5,8 °C mitattuna Turun lentoaseman havaintopisteeltä (Jokinen ym. 2021). Lämpimin kuukausi ajanjaksolta oli heinäkuu, jonka

keskilämpötila oli 17,5 °C (taulukko 1). Kylmin kuukausi oli helmikuu lukemin –4,5 °C.

Alueen keskimääräinen sademäärä vuodessa on 684 mm. Keskimääräisesti sateisin kuukausi 1991–2020 ilmastojaksolta oli heinäkuu (74 mm) ja kuivin kuukausi huhtikuu (32 mm).

Vuosittainen keskituulennopeus Turun alueella on 3,4 m/s. Tuulisin kuukausi on joulukuu, jolloin tuulen keskiarvo on 3,7 m/s, kun taas heikoimmat tuulet havaitaan yleensä heinäkuun ja syyskuun välisenä ajanjaksona, jolloin keskimääräinen tuulisuus on 3,1 m/s. Hellepäivät sijoittuvat tavallisesti touko-elokuun välille.

Taulukko 1. Ilmastotietoa vuosien 1991–2020 ilmastojaksolta Turun alueelta (Jokinen ym. 2021). Mittaukset ovat Turun lentoaseman havaintoasemalta.

Ilmastotekijä	Vuosikeskiarvo	Suurin arvo & kuukausi	Pienin arvo & kuukausi
Lämpötila (°C)	5,8	17,5 (heinäkuu)	–4,5 (helmikuu)
Sademäärä (mm)	684	74 (heinäkuu)	32 (huhtikuu)
Tuulisuus (m/s)	3,4	3,7 (joulukuu)	3,1 (heinä-syyskuu)

2.3.2 Lämpösaarekeilmiö tutkimusalueella

Turun alueen lämpösaareke keskittyy keskustan alueelle, joka on Turun lämpimin alue (Suomi, 2014). Lämpösaareke Turun alueella on keskimäärin 1,9 °C (Suomi & Käyhkö, 2012; Suomi ym. 2025a). Tämä on määritetty keskustan havaintopisteen ja noin 10 km koilliseen sijaitsevan sisämaan havaintopisteen väliltä. Hetkittäisesti lämpösaarekkeen intensiteetti voi olla jopa 10 °C. Keskimäärin lämpösaareke ja alueelliset lämpötilaerot korostuvat selkeimmin kesäkuukausina yöaikaan tai aamun varhaisten tuntien aikana. Suurimpia hetkittäisiä lämpötilaeroja keskustan ja maaseudun välillä on havaittu kuitenkin talvikuukausina (Suomi ym. 2025c). Kesäkaudella lämpösaarekkeen vuorokausivaihtelu on selkeämpää, ja keskipäivän tai iltapäivän aikana saattaa esiintyä myös kylmäsaarekeilmiö (Suomi ym. 2025b). Kylmäsaarekkeella (urban cold island, UCI) tarkoitetaan lämpösaarekkeeseen nähden käänteistä tilannetta, kun keskusta-alueet ovat viileämpiä suhteessa maaseutualueeseen (Zhao ym. 2025). Kylmäsaarekkeet voivat Turun alueella olla jopa 3 °C kesällä iltapäivisin. Kylmäsaarekkeita ilmenee harvoin kylmyysjaksojen aikana, mutta hellejaksojen aikaan niiden esiintyminen on toistuvaa.

Eri ympäristötekijöiden ja meteorologisten tekijöiden vaikutusta Turun alueen lämpösaarekkeeseen on tutkittu. Ympäristötekijöistä merkittävimmät vaikutukset lämpösaarekkeen muodostumiseen ovat kaupunkimaisella maankäytöllä sekä vesistöillä

(Suomi ym. 2025a; Suomi ym. 2025c). Kaupunkimainen maankäyttö nostaa lämpötilalukemia alueella sijaitsevilla lämpötilamittareilla vaihtelevissa sääolosuhteissa. Lisäksi suurella väestötiheydellä ja rakennetun pinta-alan osuudella on havaittu lämmittävä vaikutus. Vaikutus on samanlainen kuin kaupunkimaisella maankäytöllä, sillä se ilmenee läpi vuoden ja voimistaa Turun lämpösaarekettä. Vesistöjen, erityisesti Itämeren, vaikutus lämpösaarekkeeseen vaihtelee vuodenaikaisesti. Lämpimillä kausilla merellä on rannikkoa viilentävä vaikutus ja kylmemmillä kausilla lämmittävä vaikutus. Tämä johtuu laajojen vesistöjen lämpötiloja tasaavasta vaikutuksesta ja suuresta lämpökapasiteetista, jotka hidastavat lämpötilan muutoksia. Vaikutus on selkeästi havaittavissa erityisesti myöhäiskeväästä ja myöhäissyksystä. Keväällä merellä on viilentävä vaikutus erityisesti päiväsaikaan, kun taas syksyllä vaikutus on lämmittävä ja ilmenee erityisesti yöaikaan. Heikoin vaikutus on havaittu olevan suhteellisilla korkeuseroilla (Suomi ym. 2025a; Suomi ym. 2025c). Vaikutukset ovat vaihtelevia ja ilmenevät selkeimmin yöaikaisissa inversiotilanteissa, jolloin matalat alueet ilmenevät korkeampia alueita viileimpinä. Taustalla vallitsee kylmän ilman valuminen ja kertyminen alaville alueille ja laaksoihin.

Meteorologisista tekijöistä on tarkasteltu tuulisuuden ja pilvisyyden vaikutusta lämpösaarekkeeseen Turussa (Suomi 2014; Suomi ym. 2025b). Tuuli voimistaa ilman sekoittumista kaupungissa ja siten pienentää lämpösaarekkeen intensiteettiä. Pilviset olosuhteet tasaavat pitkäaaltoisen säteilyn ulossäteilyeroja kaupungin ja maaseudun välillä, mikä on yksi päätekijöistä lämpösaarekeilmiössä. Lisäksi pilvet estävät suoraa auringonsäteilyn pääsyä maanpintaan. Turun lämpösaarekkeen voimakkuus korreloi käänteisesti tuulisuuden ja pilvisyyden kanssa, mikä osoittaa tuulen ja pilvisyyden lämpösaarekettä heikentävän vaikutuksen. Lisäksi laajamittaiset ilmakehän olosuhteet, kuten korkea- ja matalapainekeskusten sijainti, vaikuttavat paikallisilmastoihin sekä alueellisten lämpötilaerojen voimakkuuteen ja ajoittumiseen (Suomi ym. 2025a).

Korkeapainevyöhykkeiden vaikutus pilvisyyteen ja tuulisuuteen muun muassa voimistaa alueellisia lämpötilaeroja.

Saaristomeri jäätyy usein talvisin (Ilmatieteen laitos, 2022). Itämerellä jäätä esiintyy tyypillisesti marraskuusta toukokuuhun, ja jääpeite on laajimmillaan tammi–maaliskuussa, useimmiten helmi–maaliskuun vaihteessa. Jääpeitteellä on merkittävä rannikkoalueiden lämpötilavaihteluita tasaava vaikutus myös jäätalvina (Keskinen, 2023). Paksu ja tiheä jääpeite heikentää lämmönsiirtoa meren ja ilmakehän välillä (Sumata ym. 2026), mikä voi johtaa pienempiin alueellisiin lämpötilaeroihin rannikolla. Vaikutuksen voimakkuudessa ei

kuitenkaan ole havaittu merkittävää eroa ankarien ja lauhojen jäätalvien välillä, eikä meren vaikutuksen alueellista vaihtelua jäätalvisin ole toistaiseksi pystytty osoittamaan. Tästä huolimatta talven lämpösaarekeilmiön on todettu olevan kuitenkin yhteydessä ilmanlaadun parametreihin erityisesti varhaisaamun tunteina (Suomi ym. 2025b). Näiden muuttujien väliset positiiviset korrelaatiot viittaavat voimistavaan yhteyteen lämpösaarekeilmiön ja ilmanlaadun välillä.

2.3.3 NAO:n vaikutus tutkimusalueella

Pohjois-Atlantin oskillaatiolla on huomattava vaikutus Suomen sääoloihin, koska se muokkaa länsituulten kulkureittiä ja voimakkuutta (Kanerva, 2015). Näiden vaikutusten kautta NAO ohjaa lämmön ja kosteuden siirtymistä Atlantilta ympäröiville mantereille. NAO:n vaikutus Suomessa riippuu suuresti paikallisista tekijöistä, kuten alueen järvisyydestä, mantereisuudesta, merellisyydestä ja korkeudesta suhteessa merenpintaan. Suomen eteläosissa on havaittu voimakkaampi positiivinen yhteys NAO-indeksin ja lämpötilamuuttujien välillä kuin maan pohjoisosissa. Myös sademäärän ja NAO-indeksin välinen yhteys on positiivinen etelässä. NAO:n vaikutus Suomessa on selkein Etelä- ja Lounais-Suomessa, ja NAO-indeksin vaihtelu voi selittää jopa 40 % lämpötilojen ja sademäärän vaihteluista talvikuukausien aikana. NAO-indeksin kasvamisesta seuraa usein lämpötilojen nousu ja sademäärän lisääntyminen, kun taas indeksin arvon laskiessa myös lämpötilat ja sademäärä usein laskevat. Positiivisen NAO-vaiheen aikaan länsituulten kulkureitti siirtyy pohjoisemmaksi, jolloin lämmintä ja kosteaa ilmaa virtaa Suomeen Atlantin valtamereltä tai etelästä advektion myötä (Kanerva, 2015). Negatiivisen vaiheen aikaan länsituulet virtaavat Euroopan eteläosiin ja advektio Suomeen tapahtuu osittain pohjoisen suunnalta Jäämereltä.

NAO-indeksin ja Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden välistä yhteyttä on tarkasteltu vuoden 2021 osalta (Suomi ym. 2025b). Yhteyttä tarkasteltiin kuukausikohtaisesti ja se havaittiin vaihtelevaksi. Tammikuussa ja huhtikuussa muuttujien välinen korrelaatio oli positiivinen, kun taas helmikuussa ja lokakuussa yhteys oli negatiivinen. Tilastollisissa testeissä käytettiin lämpösaarekkeen yöllistä kolmen tunnin keskiarvoa. NAO:n vaikutusta pysyvän jääpeitteen muodostumiseen on myös tutkittu (Laamanen, 2012). Tulosten mukaan NAO:lla ei ole havaittu olevan vaikutusta pysyvän jääpeitteen muodostumiseen merialueilla termisen talven aikana Turun seudulla. Lisäksi NAO:n vaikutusta lumensyvyyyteen Suomessa on tarkasteltu (Lappi, 2024). Turussa NAO-indeksin ja lumensyvyyden välillä on negatiivinen

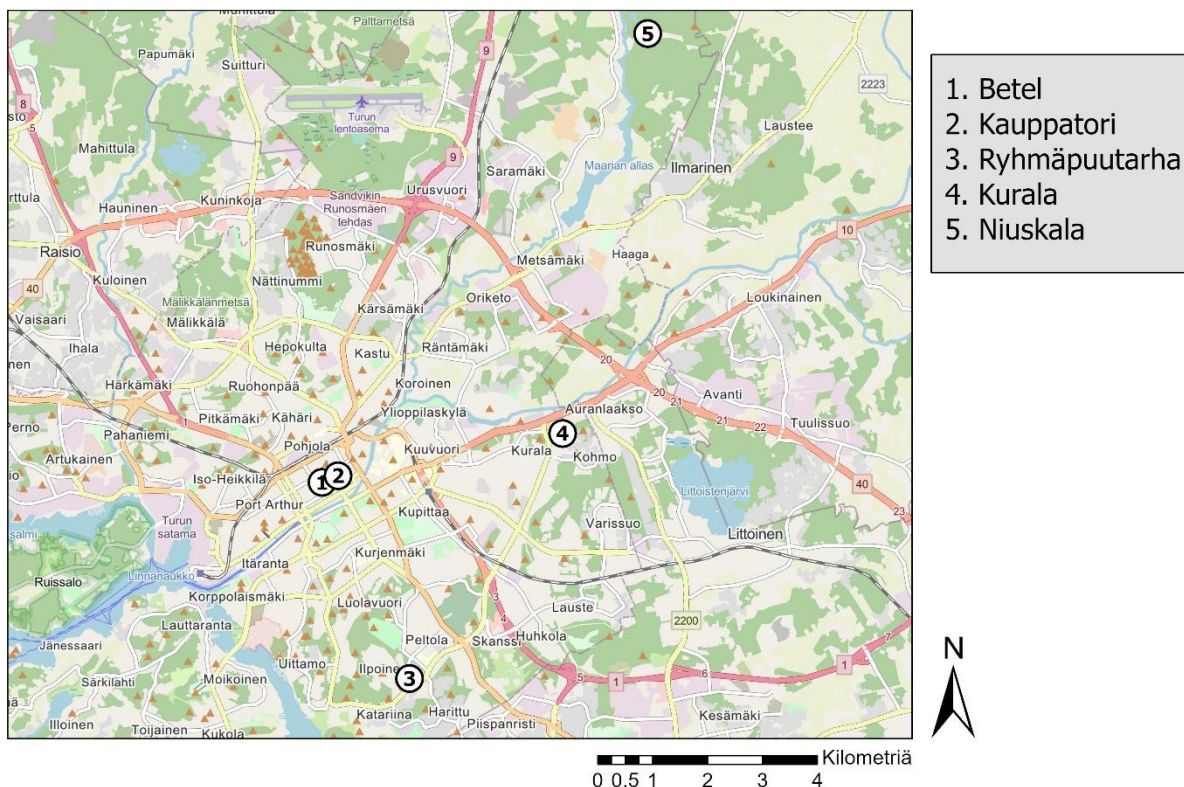
yhteys. Tämä merkitsee sitä, että NAO-indeksin ollessa positiivinen lumensyvyys pienenee, ja negatiivisen NAO-vaiheen aikaan lumensyvyys kasvaa.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Lämpösaarekeaineisto

Toteutin tutkimuksen lämpösaarekkeiden voimakkuuksien määrittämisen Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksen kaupunki-ilmaston tutkimusryhmän (Turku Urban Climate Research Group) tuottaman TURCLIM-aineiston avulla. TURCLIM-mittausverkosto sisältää 86 havaintopistettä, joissa on lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mittaavat laitteistot. Vuosina 2018–2024 havaintopisteitä oli 76–85 kappaletta. Yhdeksän uutta havaintopistettä lisättiin Turun ylioppilaskylään alueen tarkempaa tutkimusta varten vuonna 2020. Havaintopisteet sijoittuvat Turun lisäksi naapurikuntien alueille, kuten Raisioon, Kaarinaan ja Lietoon. Laitteistot mittaavat hetkellistä lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta puolen tunnin intervallilla tuottaen alueellista ja ajallista tietoa Turun alueen paikallisilmastosta. TURCLIM-projekti käynnistyi vuonna 1998 ja lämpötila- sekä kosteusaineistoa on kerätty vuodesta 2001 lähtien (TURCLIM, 2025). Aineiston laaja ajallinen ja alueellinen kattavuus mahdollistaa paikallisilmaston muutosten havaitsemisen sekä alueiden keskinäisen vertailun alueellisesti sekä ajallisesti.

Valitsin tutkimukseen kuuden havaintopisteparin lämpösaarekkeet. Havaintopistepareissa toinen mittauspiste edustaa kaupunkimaisempaa aluetta ja toinen maaseutumaisempaa aluetta. Lämpösaarekkeet on määritetty Betel-Kurala, Betel-Niuskala, Kauppatori-Kurala, Kauppatori-Niuskala, Betel-Ryhmäpuutarha ja Kauppatori-Ryhmäpuutarha mittapisteiden väliltä (kuva 2). Valikoiduista havaintopisteistä Betel ja Kauppatori sijaitsevat Turun keskustassa edustaen kaupunkimaista aluetta kun taas Kurala ja Niuskala edustavat maaseutumaisempaa aluetta. Ryhmäpuutarha sijoittuu rakennetun ympäristön läheisyyteen keskustasta etelään, mutta edustaa kaupunkimaisen maankäytön osuuden puolesta maaseutumaisempaa havaintopistettä (taulukko 2).



Kuva 2. Tutkimuksessa hyödynnettävät TURCLIM-havaintopisteet. Tausta: OpenStreetMap.

Taulukko 2. Tutkimuksen havaintopisteiden ympäristötiedot. Kaupunkimaisen maankäytön osuus on laskettu 100 metrin vyöhykkeeltä havaintopisteestä CORINE 2018 kolmen maanpeiteluokan perusteella; kerrostaloalueet, palvelualueet sekä liikennealueet.

Havaintopiste	Korkeus merenpinnasta (m)	Kaupunkimaisen maankäytön osuus (%)
Betel	16,9	100,0
Kauppatori	7,7	97,5
Kurala	13,5	0,0
Niuskala	32,4	0,0
Ryhmäpuutarha	13,8	0,0

Havaintopisteet valikoituivat aiemman tutkimuksen perusteella, joissa samojen havaintopisteiden lämpösaarekkeiden voimakkuuksien korrelaatiota NAO-indeksin kanssa tarkasteltiin vuoden 2021 osalta (Suomi ym. 2025b). Kyseisessä tutkimuksessa lämpösaarekkeen voimakkuus laskettiin korrelaatioanalyysiin päivittäisenä kolmen tunnin keskiarvona vuoden 2021 jokaisen kuukauden osalta. Johtopäätöksissä pohditaan, kuinka koko päivän keskiarvo lämpösaarekkeesta saattaisi tuottaa parempia tilastollisia tuloksia. Tässä tutkimuksessa tarkastelen lämpösaarekkeen voimakkuuden päivittäisen keskiarvon korrelaatiota päivittäisen NAO-indeksin kanssa.

Hyödynsin aineistoa kuudelta havaintopisteparilta vuosilta 2018–2024, sillä aiempi kandidaatin tutkielma tarkasteli lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO:n välistä yhteyttä talvikuukausilta vuosilta 2011–2017 (Ristimäki, 2023). NAO:n vaikutuksen paikallisilmastoihin on havaittu yleisesti olevan aktiivisempi talvikuukausina (Folland ym. 2009), mutta vuoden 2021 tarkastelussa havaittiin tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota myös huhtikuun ja lokakuun osalta (Suomi ym. 2025b). Tässä tutkimuksessa tarkastelen talvikuukausien lisäksi NAO:n ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välistä yhteyttä myös muilta vuodenaajoilta.

Lämpötila-aineisto on GMT+2 aikamuodossa, eli Suomen normaaliajassa. Koska NAO-indeksin aineisto edustaa UTC 0 -aikaa, on lämpösaarekkeen voimakkuus laskettu yhteensopivaksi NAO-indeksin aikavyöhykkeen kanssa määrittämällä lämpösaarekkeen päivittäinen keskiarvo alkavaksi klo 2.00 havainnosta päättyen seuraavan päivän klo 1.30 havaintoon. Laskin lämpösaarekkeen voimakkuuden vähentämällä jokaisen maaseutumaisen havaintopisteen hetkittäiset lämpötilat (Kurala, Niuskala ja Ryhmäpuutarha) kaupunkimaisten havaintopisteiden hetkittäisistä lämpötiloista (Betel ja Kauppatori) vuorokauden ajalta. Kauppatorin havaintopisteeltä puuttuu aineisto ajalta 13.6.–14.11.2022 Kauppatorin remontoinnin vuoksi, mikä aiheuttaa aukkoja tuloksiin vuoden 2022 kesäkuu-marraskuu väliltä. Laskin yhden vuorokauden hetkellisistä lämpösaarekkeiden voimakkuuksista keskiarvot indikoimaan vuorokauden keskimääräistä lämpösaarekkeen intensiteettiä. TURCLIM-mittarit ovat kolmen metrin korkeudessa maanpinnasta, jolloin niiden mittauksista lasketut lämpösaarekkeen intensiteetit vastaavat latvuserroksen lämpösaarekettä.

3.2 NAO-indeksin aineisto

NAO-indeksin aineisto on ladattu Yhdysvaltojen hallintoviraston sää- ja valtamerentutkimusorganisaatiolta (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Data on koottu kansalliseen sääpalveluun (National Weather Service) sään ennustuskeskuksen (Climate Prediction Center) sivustolle vuorokausiarvoina. Päivittäisiä NAO-indeksin arvoja on saatavilla vuodesta 1950 alkaen. Rajasin ladatun aineiston vuosille 2018–2024 ja poimin vuorokausiarvot vastaamaan lämpösaarekkeiden vuorokausikeskiarvoja. NAO:n vuorokausiarvot on standardoitu vuosien 1950–2000 kuukausittaisen NAO-indeksin keskihajonnalla, joka on interpoloitu vastaavalle päivälle (Climate Prediction Center, 2025). Päivittäisten NAO-telekonnektioindeksien laskemisessa projisoidaan päivittäiset 0:00 UTC 500 hPa korkeuspoikkeamat NAO:n

telekonnektiomalleihin (Climate Prediction Center, 2002 & 2005). Mallit on muodostettu kiertävällä pääkomponenttianalyysillä (RCPA) ja interpoloitu päivätasolle, jolloin NAO:n kausiluonteinen vaihtelu tulee huomioiduksi. Indeksien laskennassa käytetään myös regressioanalyysiä, joka tunnistaa kaikki kyseisenä päivänä vaikuttavat telekonnektiomallit.

3.3 Tilastolliset menetelmät

3.3.1 Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotesti

Tarkastelin lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO:n välisen yhteyden voimakkuutta Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotesteillä. Useamman muuttujan kaksisuuntaiset korrelaatiotestit kertoivat NAO:n ja lämpösaarekkeen välisen yhteyden voimakkuutta sekä suuntaa. Testin tulos ilmaistaan lukuarvona väliltä -1 ja +1, missä numeroarvo kertoo yhteyden voimakkuuden (+1 ja -1 vahva yhteys, 0 korreloimaton eli ei yhteyttä), ja etumerkki +/- yhteyden suunnan (Laininen, 2000). Positiivinen korrelaatio merkitsee sitä, että muuttujien arvot kasvavat tai pienenevät yhdessä, kun taas negatiivisessa korrelaatioissa toisen muuttujan arvot kasvavat toisen pienentyessä. Testeissä tilastollinen merkitsevyys ilmaistaan sekä 0.01 että 0.05 riskitasoilla. Korrelaatiotesteistä Pearson on parametrinen ja Spearman epäparametrinen (Hauke & Kossowski, 2011). Tämä tarkoittaa sitä, että Pearsonin korrelaatiotesti edellyttää aineiston (likimääräistä) normaalijakautuneisuutta, kun taas Spearmanilla ei edellytyksiä jakaumasta ole. Pearson mittaa muuttujien välistä lineaarista yhteyttä ja Spearmanin korrelaatio perustuu järjestyslukuihin ja mittaa muuttujien välistä monotonista yhteyttä. Laskin ensin lämpösaarekkeen voimakkuudelle vuorokausikeskiarvot vuosilta 2018–2024 ja suoritin korrelaatioanalyysit erikseen jokaiselle kuukaudelle NAO-indeksin vuorokausiarvojen kanssa (esim. tammi 2018, helmi 2018 jne.). Lisäksi muodostin kullekin kalenterikuukaudelle (tammi–jouluku) aikasarjan siten, että jokaisen päivän arvo on keskiarvo kyseisen päivän vuorokausikeskiarvoista lämpösaarekkeen voimakkuuden osalta ja vuorokausiarvoista NAO-indeksin osalta vuosilta 2018–2024. Näille kuukausikohtaisille keskiarvosarjoille tein erilliset korrelaatioanalyysit. Tilastolliset testaukset on suoritettu IBM SPSS Statistics -ohjelmistolla. Arvioin yhteyden voimakkuutta seuraavien raja-arvojen perusteella: heikko yhteys ($r < \pm 0,4$), kohtalainen yhteys ($r = \pm 0,4–0,6$) ja vahva yhteys ($r > \pm 0,6$).

3.3.2 Lineaarinen regressioanalyysi

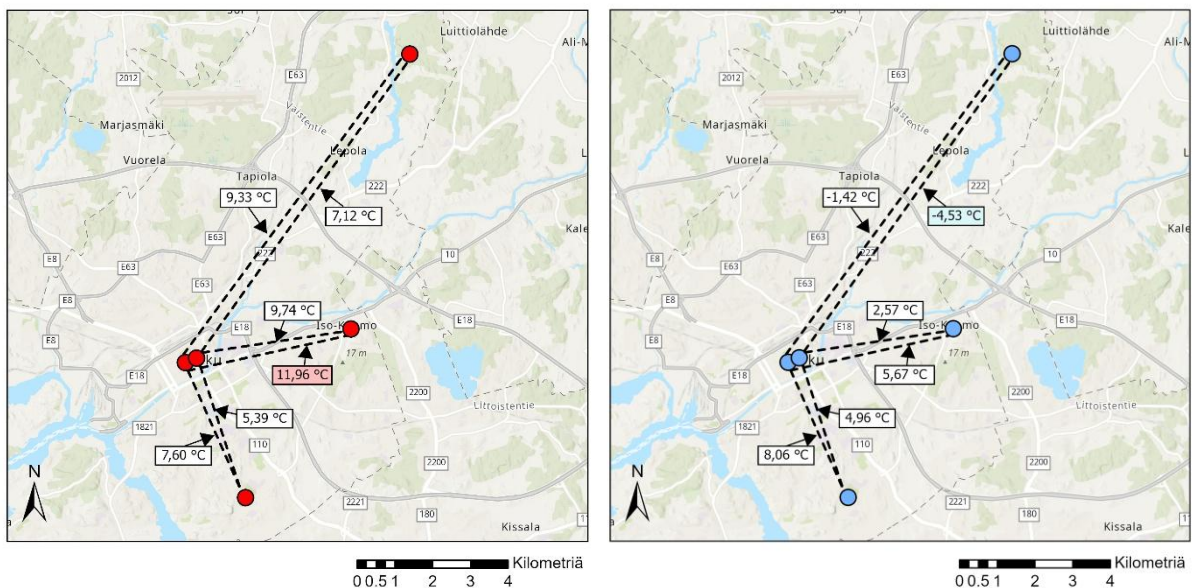
Hyödynsin lämpösaarekkeen ja NAO:n välisen yhteyden tutkimiseen myös lineaarista regressioanalyysiä. Kahden muuttujan regressioanalyysi tutkii kahden muuttujan, riippuvan ja riippumattoman muuttujan välistä lineaarista yhteyttä ($y = \beta_0 + \beta_1x$) (Sykes, 1993).

Riippuvana eli selitettävänä muuttujana tutkimuksessa toimi lämpösaarekkeen voimakkuus ja riippumattomana eli selittävänä muuttujana NAO-indeksi. Lineaarinen regressioanalyysi kertoo muun muassa muuttujien välisen tilastollisen merkitsevyyden sekä yhteyden voimakkuuden ja suunnan. Regressiokerroin ilmaisee muuttujien välisen yhteyden voimakkuuden, ja sen etumerkki kertoo kasvaako vai pieneneekö selitettävä muuttuja selittävän muuttujan kasvaessa. Selityksasteen (R^2) suuruus määrittää kuinka suuren osan malli selittää selitettävän muuttujan vaihtelusta. Laskin lämpösaarekkeen voimakkuudelle vuorokausikeskiarvot vuosilta 2018–2024 ja muodostin näiden perusteella lineaariset regressiomallit jokaiselle lämpösaarekeparille NAO-indeksin vuorokausiarvojen suhteen. Tämän lisäksi muodostin kalenterikuukausittaiset aineistot siten, että kunkin kuukauden regressiomalli perustui kyseisen kuukauden lämpösaarekkeen voimakkuuden vuorokausikeskiarvoihin ja NAO-indeksin vuorokausiarvoihin kaikilta tutkimusvuosilta (esim. tammikuun malli sisälsi vuosien 2018–2024 tammikuun vuorokausiarvot ja NAO-indeksin vuorokausiarvot). Näille kuukausikohtaisille aineistoille muodostin erilliset regressiomallit jokaiselle lämpösaarekeparille. Standardoimaton regressiokertoimen vaikutusta arvioin seuraavien raja-arvojen perusteella: hyvin heikko vaikutus ($\beta < \pm 0,1$), heikko vaikutus ($\beta = \pm 0,1-0,3$), kohtalainen vaikutus ($\beta = \pm 0,3-0,5$) ja voimakas vaikutus ($\beta > 0,5$). Tutkimuksen regressioanalyyseissa käytin enter-menetelmää.

4 Tulokset

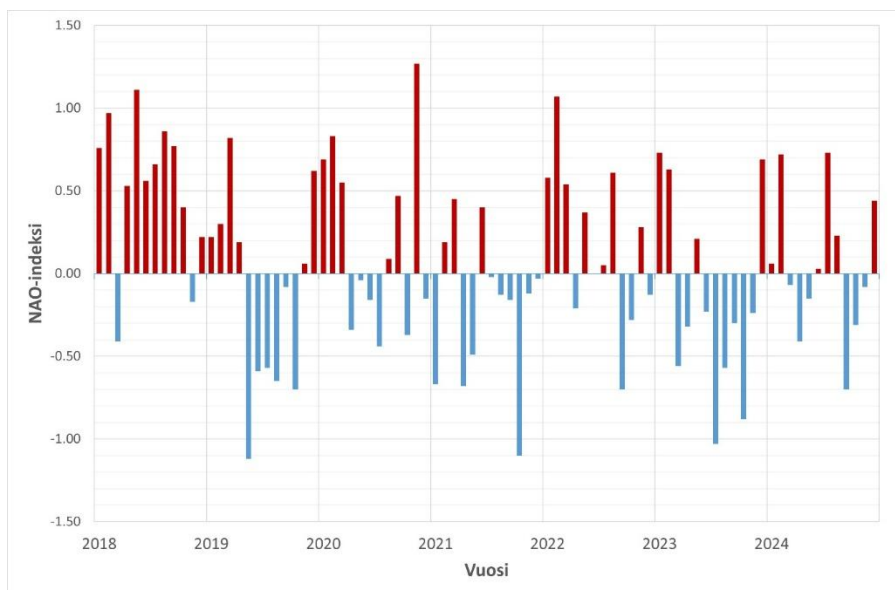
4.1 Havaintoparien välinen tarkastelu

Turun lämpösaareke saavutti tarkasteltavana ajanjaksona vaihtelevia arvoja. Hetkittäisissä ääritilanteissa lämpösaarekkeen intensiteetti saavutti jopa $11,96\text{ °C}$ voimakkuuden Betelin ja Kuralan välillä (kuva 3). Tämä hetkellinen tilanne havaittiin 20.1.2024 klo 23.30 (GMT+2). Vastaavasti voimakkain kylmäsaareke ilmeni 8.1.2024 klo 02.00 (GMT+2) Kauppatorin ja Niuskalan välillä. Kylmäsaarekkeen intensiteetti oli tällöin $-4,53\text{ °C}$.



Kuva 3. Voimakkain hetkittäinen lämpösaareke (vas.) ja kylmäsaareke (oik.) tutkimusvuosina 2018–2024. Lämpösaarekepareista voimakkain lämpö- ja kylmäsaareke on korostettu. Voimakkain lämpösaareke havaittiin 20.1.2024 klo 23.30 (GMT+2) ja kylmäsaareke 8.1.2024 klo 02.00 (GMT+2).

Myös NAO-indeksi vaihteli voimakkaasti tutkimusvuosien aikana (kuva 4). Vuonna 2018 positiivinen NAO oli vallitseva, mutta muina vuosina positiivinen NAO ilmeni tyypillisesti vuodenvaihteessa sekä satunnaisina kuukausina vuosien aikana. Negatiiviset NAO-vaiheet keskittyivät pääosin loppuvuoteen kesän ja syksyn tienoille, mutta satunnaisia negatiivisia NAO-vaihteita havaittiin myös muulloin.



Kuva 4. NAO-indeksi tutkimusvuosilta 2018–2024.

Vuosien 2018–2024 vuorokausikeskiarvoihin perustuvilla lämpösaarekeparien voimakkuuksilla ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin kanssa lineaarisella regressioanalyysillä (taulukko 3). Selitysasteet olivat erittäin pieniä, mikä viittaa hyvin heikkoon tai puuttuvaan yhteyteen NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihteluiden välillä. Regressiokertoimet olivat voimakkuudeltaan hyvin heikkoja ja negatiivisia lukuun ottamatta Ryhmäpuutarhan lämpösaarekettä, jossa regressiokertoimet olivat positiivisia.

Taulukko 3. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys vuosilta 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Korjattu R^2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,016	-0,016	0,018	-0,013	-0,014	0,020
p-arvo	0,340	0,465	0,189	0,445	0,541	0,142

4.2 Kuukausitarkastelu

4.2.1 Tammikuu

Tammikuun NAO-indeksi korreloi lämpösaarekkeen voimakkuuden kanssa tilastollisesti merkitsevästi vuosina 2019 ja 2021 sekä Pearsonin että Spearmanin korrelaatioanalyysissä

(taulukko 4). Yhteys havaittiin Pearsonin testillä kaikkien lämpösaarekemuuttujien osalta. Spearmanin testissä Betel-Ryhmäpuutarha ja Kauppatori-Ryhmäpuutarha eivät korreloineet tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa vuonna 2021, mutta muiden lämpösaarekemuuttujien kanssa yhteys löytyi. Yhteydet NAO-indeksin kanssa olivat positiivisia ja pääosin kohtalaisia voimakkuudeltaan. Vuoden 2021 osalta havaittiin kuitenkin vahvoja yhteyksiä kaikkien lämpösaarekemuuttujien paitsi Betel-Ryhmäpuutarha ja Kauppatori-Ryhmäpuutarha osalta. Lämpösaarekkeiden voimakkuuksien kuukausikeskiarvo 2018–2024 tammikuilta ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi tammikuiden 2018–2024 NAO-indeksin keskiarvon kanssa.

Taulukko 4. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä tammikuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,090	-0,225	-0,009	-0,149	-0,270	-0,058
2019	0,415*	0,429*	0,441*	0,413*	0,429*	0,436*
2020	0,122	0,196	0,119	0,233	0,290	0,231
2021	0,679**	0,625**	0,513**	0,707**	0,642**	0,536**
2022	-0,124	-0,135	-0,104	-0,106	-0,121	-0,074
2023	-0,049	0,002	0,036	-0,102	-0,039	-0,015
2024	-0,147	-0,200	-0,127	-0,057	-0,115	0,008
Kuukausikeskiarvo	-0,178	-0,331	-0,233	-0,076	-0,249	-0,100
Spearman						
2018	-0,082	-0,297	0,177	-0,201	-0,299	0,010
2019	0,467**	0,448*	0,456**	0,444*	0,426*	0,433*
2020	-0,056	0,187	-0,076	0,191	0,392*	0,292
2021	0,431*	0,418*	0,252	0,463**	0,450*	0,273
2022	0,011	-0,095	0,032	-0,025	-0,125	0,067
2023	-0,155	-0,080	-0,061	-0,194	-0,137	-0,130
2024	-0,301	-0,266	-0,178	-0,131	-0,214	0,053
Kuukausikeskiarvo	-0,176	-0,296	-0,235	-0,115	-0,219	-0,095

Lämpösaarekkeen vuorokausikeskiarvoihin pohjautuva lineaarinen regressioanalyysi ei tuottanut tilastollisesti merkitseviä tuloksia tammikuun osalta lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä (taulukko 5). NAO-indeksillä ei siis ollut tilastollisesti osoitettavaa lineaarista yhteyttä tarkasteltuihin lämpösaarekealueisiin tammikuussa.

Taulukko 5. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys tammikuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet ($*p<0,05$, $**p<0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,001	0,000	0,000	0,001	0,005	0,007
Korjattu R^2	-0,004	-0,004	-0,005	-0,004	0,001	0,003
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,036	0,022	0,003	0,026	0,084	0,065
p-arvo	0,638	0,801	0,961	0,705	0,291	0,211

4.2.2 Helmikuu

Helmikuussa ainoat vuodet, jolloin NAO-indeksi ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi lämpösaarekkeen voimakkuuden kanssa olivat 2018 ja 2023 Pearsonin korrelaatiotestissä sekä vuosi 2022 Spearmanin korrelaatiotestissä (taulukko 6). Enimmäkseen yhteydet olivat negatiivisia ja voimakkuudeltaan kohtalaisia. Vuosien 2021 ja 2024 osalta havaittiin kuitenkin myös vahvempaa yhteyttä. Lämpösaarekkeista Kuralan ja Niuskalan lämpösaarekeparit korreloivat useammin suhteessa Ryhmäpuutarhaan tutkimusvuosien välillä. Helmikuun kuukausikeskiarvoista 2018–2024 Betel-Niuskala sekä Kauppatori-Niuskala välisten lämpösaarekeparien voimakkuudet korreloivat tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa. Yhteydet olivat negatiivisia ja kohtalaisen voimakkaita niin Pearsonin kuin Spearmanin korrelaatiotesteillä.

Taulukko 6. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä helmikuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,122	-0,103	-0,098	-0,169	-0,144	-0,175
2019	-0,475*	-0,388*	-0,296	-0,434*	-0,358	-0,238
2020	-0,454*	-0,473**	-0,273	-0,410*	-0,447*	-0,209
2021	-0,670**	-0,468*	-0,469*	-0,681**	-0,465*	-0,472*
2022	-0,447*	-0,401*	-0,290	-0,456*	-0,396*	-0,269
2023	-0,322	-0,270	-0,078	-0,268	-0,229	-0,026
2024	-0,633**	-0,621**	-0,436*	-0,648**	-0,614**	-0,430*
Kuukausikeskiarvo	-0,164	-0,407*	-0,141	-0,228	-0,453*	-0,254
Spearman						
2018	-0,476*	-0,453*	-0,369	-0,518**	-0,508**	-0,500**
2019	-0,546**	-0,492**	-0,362	-0,449*	-0,441*	-0,186
2020	-0,618**	-0,534**	-0,506**	-0,526**	-0,500**	-0,359
2021	-0,681**	-0,535**	-0,516**	-0,679**	-0,522**	-0,467*
2022	-0,253	-0,314	-0,184	-0,373	-0,338	-0,232
2023	-0,382*	-0,259	-0,132	-0,279	-0,225	-0,035
2024	0,496**	-0,617**	-0,254	-0,561**	-0,620**	-0,324
Kuukausikeskiarvo	-0,196	-0,421*	-0,142	-0,300	-0,523**	-0,333

Lineaarinen regressioanalyysi oli tilastollisesti merkitsevä kaikkien tarkasteltavien lämpösaarekeparien osalta helmikuussa (taulukko 7). Selitysasteet indikoivat pientä selitysosuutta, eli NAO-indeksi selittää vain osan lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihtelusta. Pienimmillään selitysasteet olivat Betel-Ryhmäpuutarha ja Kauppatori-Ryhmäpuutarha tapauksissa. Regressiokertoimet olivat kaikkien lämpösaarekeparien osalta negatiivisia, eli yhteys NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen välillä oli negatiivinen. Vaikutuksen voimakkuudet vaihtelivat kohtalaisen ja heikon välillä. Vahvin vaikutus havaittiin Kuralan lämpösaarekeparien suhteen ja heikoin Kauppatori-Ryhmäpuutarha suhteen.

Taulukko 7. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys helmikuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,104	0,092	0,039	0,104	0,089	0,032
Korjattu R^2	0,099	0,087	0,034	0,099	0,084	0,027
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,449	-0,499	-0,196	-0,419	-0,469	-0,166
p-arvo	<0,001**	<0,001**	0,005**	<0,001**	<0,001**	0,011**

4.2.3 Maaliskuu

Maaliskuussa yhteys NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä havaittiin vuosina 2018, 2019, 2022 ja 2024 Pearsonin osalta ja vuosina 2019 ja 2024 Spearmanin osalta (taulukko 8). Vuosien 2018 ja 2024 korrelaatiot olivat negatiivisia, kun taas vuosina 2019 ja 2022 ne olivat pääosin positiivisia. Yhteyksien voimakkuudet vaihtelivat kohtalaisen ja heikon väliltä. Yhtenäkkään vuonna ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä kaikkien lämpösaarekeparien osalta, vaan yhteydet vaihtelivat vuosittain. Esimerkiksi vuonna 2019 yhteydet havaittiin ainoastaan Ryhmäpuutarhan lämpösaarekeparien osalta.

Kuukausikeskiarvot maaliskuulta korreloivat tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa Kuralan ja Niuskalan lämpösaarekeparien voimakkuuksien osalta Pearsonilla ja Niuskalan osalta Spearmanilla. Yhteydet olivat negatiivisia ja niiden voimakkuus oli heikkoa tai kohtalaista.

Taulukko 8. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä maaliskuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,366*	-0,403*	-0,217	-0,312	-0,365*	-0,126
2019	0,045	0,171	0,402*	0,148	0,248	0,472**
2020	-0,287	-0,228	-0,138	-0,245	-0,184	-0,076
2021	-0,254	-0,209	-0,001	-0,252	-0,213	-0,008
2022	0,437*	0,396*	0,397*	0,383*	0,341	0,336
2023	-0,095	-0,047	0,097	-0,058	-0,012	0,159
2024	-0,234	-0,403*	-0,319	-0,229	-0,409*	-0,324
Kuukausikeskiarvo	-0,446*	-0,523**	-0,210	-0,387*	-0,466**	-0,093
Spearman						
2018	-0,214	-0,337	-0,219	-0,141	-0,260	-0,136
2019	0,076	0,196	0,370*	0,213	-0,291	0,465**
2020	-0,325	-0,296	-0,219	-0,186	-0,235	-0,065
2021	-0,225	-0,259	-0,043	-0,225	-0,178	-0,077
2022	0,254	0,195	0,263	0,271	0,192	0,258
2023	-0,259	-0,153	0,102	-0,138	-0,094	0,088
2024	-0,369*	-0,472**	-0,333	-0,353	-0,512**	-0,418*
Kuukausikeskiarvo	-0,327	-0,474**	-0,006	-0,197	-0,369*	0,105

Tilastollisesti merkitsevät yhteydet lineaarisessa regressioanalyysissä maaliskuun vuorokausiarvojen osalta havaittiin Kauppatori-Kurala ja Kauppatori-Niuskala lämpösaarekeparien osalta (taulukko 9). Selitysasteet olivat hyvin heikkoja, eli NAO-indeksi selitti vain erittäin pienen osan lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihteluista. NAO-indeksin regressiokerroin oli negatiivinen kummassakin tapauksessa ja sen vaikutuksen voimakkuus oli heikko.

Taulukko 9. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys maaliskuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,017	0,018	0,002	0,028	0,026	0,000
Korjattu R^2	0,012	0,013	-0,003	0,023	0,021	-0,004
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,137	-0,174	0,038	-0,162	-0,199	0,013
p-arvo	0,055	0,051	0,547	0,014*	0,018*	0,827

4.2.4 Huhtikuu

Pearsonin korrelaatiotestillä vuosina 2022 sekä 2023 kaikki lämpösaarekeparit korreloivat tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa (taulukko 10). Lisäksi vuonna 2021 yhteys havaittiin Niuskalan lämpösaarekkeen osalta. Spearmanin testillä vuosi 2023 osoitti yhteyden NAO-indeksin ja lämpösaarekeparien voimakkuuksien välillä, ja vuonna 2021 kaikki paitsi Betel-Kurala ja Betel-Ryhmäpuutarha korreloivat tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa. Huhtikuiden 2018–2024 kuukausikeskiarvoista yhteys havaittiin Pearsonin analyysillä Betel-Kurala lämpösaarekkeen osalta. Kaikki yhteydet olivat positiivisia, eli NAO-indeksin noustessa lämpösaareke voimistui. Voimakkuudeltaan yhteydet olivat kohtalaisia, mutta vuoden 2023 osalta havaittiin myös vahvoja yhteyksiä.

Taulukko 10. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä huhtikuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,004	0,003	-0,035	0,067	0,059	0,051
2019	-0,028	0,025	0,052	-0,020	0,035	0,068
2020	0,141	-0,081	-0,191	0,083	-0,128	-0,267
2021	0,314	0,398*	0,330	0,319	0,411*	0,332
2022	0,485**	0,442*	0,536**	0,385*	0,366*	0,393*
2023	0,432*	0,642**	0,620**	0,396*	0,624**	0,560**
2024	-0,111	-0,149	-0,066	-0,083	-0,126	-0,031
Kuukausikeskiarvo	0,369*	0,251	0,193	0,327	0,212	0,130
Spearman						
2018	-0,022	0,000	-0,088	0,088	0,079	0,010
2019	0,001	0,019	0,067	0,007	0,073	0,076
2020	-0,003	-0,072	-0,148	0,028	-0,129	-0,197
2021	0,309	0,419*	0,302	0,366*	0,461*	0,426*
2022	0,230	0,087	0,244	0,132	-0,004	0,125
2023	0,503**	0,691**	0,608**	0,451*	0,639**	0,566**
2024	-0,132	-0,216	-0,098	-0,049	-0,146	-0,018
Kuukausikeskiarvo	0,222	0,138	0,035	0,162	0,085	-0,072

Huhtikuun osalta kaikki lämpösaarekeparit muodostivat tilastollisesti merkitsevän yhteyden NAO-indeksin kanssa lineaarisella regressioanalyysillä (taulukko 11). Selitysasteet olivat hyvin pieniä ja NAO-indeksin regressiokertoimet olivat heikkoja. Huhtikuun tapauksessa regressiokertoimet olivat positiivisia indikoiden positiivista yhteyttä NAO-indeksin ja

lämpösaarekkeen välillä. Voimakkain vaikutus oli Betel-Ryhmäpuutarhan lämpösaarekkeella ja heikoin Kauppatori-Kurala lämpösaarekkeella.

Taulukko 11. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys huhtikuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p<0,05$, ** $p<0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,040	0,048	0,066	0,035	0,045	0,060
Korjattu R^2	0,036	0,044	0,062	0,031	0,040	0,056
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,188	0,246	0,187	0,159	0,218	0,158
p-arvo	0,004**	0,001**	<0,001**	0,006**	0,002**	<0,001**

4.2.5 Toukokuu

Toukokuussa NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä ilmeni sekä positiivisia että negatiivisia yhteyksiä (taulukko 12). Negatiivisia korrelaatioita havaittiin kaikkien lämpösaarekeparien osalta vuosina 2018 sekä 2024. Lisäksi Pearsonin testissä vuonna 2020 Niuskalan lämpösaarekeparit korreloivat negatiivisesti. Nämä negatiiviset korrelaatiot olivat vahvuudeltaan kohtalaisia ja voimakkaita. Positiiviset yhteydet ilmenivät vuonna 2023. Kauppatori-Kurala korreloi myös positiivisesti NAO-indeksin kanssa Pearsonin testillä vuonna 2019. Nämä korrelaatiot olivat heikkoja. Toukokuuden 2018–2024 kuukausikeskiarvoista kaikki lämpösaarekeparit korreloivat tilastollisesti merkitsevästi NAO-indeksin kanssa. Yhteydet olivat positiivisia ja voimakkuudeltaan kohtalaisia sekä voimakkaita.

Taulukko 12. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä toukokuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,579**	-0,624**	-0,512**	-0,617**	-0,663**	-0,558*
2019	0,340	0,153	0,237	0,393*	0,212	0,313
2020	-0,260	-0,385*	-0,258	-0,245	-0,363*	-0,230
2021	0,229	0,186	0,247	0,248	0,197	0,266
2022	0,326	0,180	0,302	0,252	0,099	0,195
2023	0,329	0,342	0,387*	0,321	0,315	0,393*
2024	-0,623**	-0,454*	-0,614**	-0,572**	-0,432*	-0,537**
Kuukausikeskiarvo	0,625**	0,700**	0,574**	0,563**	0,647**	0,507**
Spearman						
2018	-0,560**	-0,527**	-0,556**	-0,621**	-0,571**	-0,645**
2019	0,298	0,156	0,262	0,393*	0,242	0,317
2020	-0,244	-0,321	-0,263	-0,216	-0,285	-0,248
2021	-0,025	0,015	0,005	0,048	0,050	0,067
2022	0,067	0,056	0,063	0,135	0,081	0,078
2023	0,310	0,375*	0,356*	0,312	0,393*	0,339
2024	-0,618**	-0,389*	-0,568**	-0,542**	-0,403*	-0,544**
Kuukausikeskiarvo	0,635**	0,745**	0,605**	0,573**	0,677**	0,534**

Vuorokausiarvoihin pohjautuvassa lineaarisessa regressioanalyysissä selitysasteet olivat pieniä indikoiden NAO-indeksin heikkoa selittävää voimaa lämpösaarekkeiden voimakkuuksien arvoissa (taulukko 13). Kukin lämpösaarekepari tuotti tilastollisesti merkitsevän tuloksen. Regressiokertoimet olivat kaikkien havaintoparien osalta positiivisia ja edustivat heikkoa vaikutusta. Toukokuussa NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä oli positiivinen yhteys ja NAO-indeksi vaikutti heikosti lämpösaarekkeen arvoihin.

Taulukko 13. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys toukokuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,049	0,031	0,054	0,047	0,029	0,052
Korjattu R^2	0,044	0,026	0,050	0,043	0,025	0,048
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,151	0,152	0,136	0,144	0,145	0,129
p-arvo	0,001**	0,010**	<0,001**	0,001**	0,011*	<0,001**

4.2.6 Kesäkuu

Kesäkuussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä Pearsonin tai Spearmanin korrelaatioanalyysillä (taulukko 14).

Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei havaittu myöskään kesäkuun 2018–2024 kuukausikeskiarvojen osalta. Kauppatorin havaintopiste oli poissa käytöstä kesäkuu-marraskuu ajalta vuonna 2022, mikä heikentää kyseisen vuoden vertailukelpoisuutta.

Taulukko 14. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä kesäkuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,062	-0,078	0,016	-0,272	-0,214	-0,130
2019	0,132	0,244	0,185	0,077	0,192	0,128
2020	0,177	0,024	0,311	0,199	0,041	0,329
2021	0,119	0,069	0,242	0,091	0,045	0,213
2022	-0,028	0,030	-0,042	-	-	-
2023	-0,046	0,179	-0,033	-0,101	0,159	-0,084
2024	0,118	0,075	0,150	0,199	0,133	0,237
Kuukausikeskiarvo	-0,246	0,115	0,012	-0,253	0,107	-0,036
Spearman						
2018	-0,124	-0,074	0,107	-0,257	-0,209	-0,121
2019	0,159	0,191	0,213	0,064	0,141	0,154
2020	0,143	0,092	0,264	0,212	0,115	0,334
2021	0,031	0,037	0,091	-0,042	0,076	0,057
2022	-0,009	-0,026	-0,055	-	-	-
2023	0,034	0,208	0,055	-0,070	0,192	-0,057
2024	0,054	0,100	0,083	0,157	0,135	0,197
Kuukausikeskiarvo	-0,228	0,150	0,097	-0,257	0,098	-0,046

Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden väliltä ei havaittu myöskään vuorokausiarvojen lineaarisen regressioanalyysin puolesta (taulukko 15). Selitysasteet olivat pieniä ja regressiokertoimet hyvin heikkoja.

Taulukko 15. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys kesäkuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,003	0,001	0,004	0,016	0,008	0,019
Korjattu R^2	-0,002	-0,004	-0,001	0,010	0,003	0,014
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,043	0,034	0,048	0,104	0,110	0,103
p-arvo	0,437	0,688	0,346	0,086	0,221	0,059

4.2.7 Heinäkuu

Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä havaittiin vuosina 2019–2020 (taulukko 16). Vuonna 2019 yhteydet olivat positiivisia, mutta seuraavana vuonna ne olivat negatiivisia. Lisäksi Pearsonin testillä ilmeni positiivinen yhteys Betel-Ryhmäpuutarhan suhteen vuonna 2021. Yhteydet olivat voimakkuudeltaan heikkoja ja kohtalaisia. Voimakkaimmat yhteydet havaittiin Ryhmäpuutarhan lämpösaarekeparien suhteen. Kuukausikeskiarvoista heinäkuun osalta ainoa tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittiin Pearsonin analyysillä Betel-Ryhmäpuutarha lämpösaarekkeelta. Yhteys oli positiivinen ja voimakkuudeltaan heikko.

Taulukko 16. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä heinäkuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,026	0,042	0,168	0,006	0,069	0,222
2019	0,356*	0,370*	0,505**	0,406*	0,398*	0,557**
2020	-0,228	-0,377*	-0,428*	-0,221	-0,362*	-0,409*
2021	0,352	0,270	0,378*	0,318	0,250	0,355
2022	-0,176	0,044	-0,343	-	-	-
2023	0,273	0,218	0,348	0,200	0,164	0,268
2024	0,215	0,119	0,158	0,298	0,167	0,253
Kuukausikeskiarvo	0,267	0,237	0,362*	0,228	0,222	0,296
Spearman						
2018	-0,031	0,036	0,154	0,004	0,060	0,220
2019	0,352	0,399*	0,592**	0,354	0,391*	0,578**
2020	-0,430*	-0,477**	-0,523**	-0,354	-0,458**	-0,519**
2021	0,305	0,194	0,328	0,334	0,163	0,296
2022	-0,164	-0,002	-0,332	-	-	-
2023	0,262	0,199	0,282	0,210	0,172	0,241
2024	0,165	0,056	0,065	0,275	0,121	0,231
Kuukausikeskiarvo	0,171	0,190	0,322	0,195	0,229	0,260

Heinäkuun lineaarinen regressioanalyysi muistuttaa kesäkuun analyysiä, tosin regressiokertoimet olivat heinäkuun tapauksessa negatiivisia (taulukko 17). Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei havaittu ja selitysasteet olivat erittäin pieniä. Myös regressiokertoimet olivat hyvin heikkoja.

Taulukko 17. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys heinäkuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,005	0,002	0,003	0,005	0,003	0,002
Korjattu R^2	0,000	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,048	-0,045	-0,033	-0,044	-0,052	-0,025
p-arvo	0,304	0,496	0,389	0,359	0,447	0,520

4.2.8 Elokuu

Elokuussa tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksin väliltä ei havaittu (taulukko 18). Elokuun 2018–2024 kuukausikeskiarvot eivät myöskään tilastollisesti merkitsevästi korreloineet.

Taulukko 18. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä elokuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	0,054	0,103	0,071	-0,018	0,050	-0,009
2019	-0,024	0,028	0,269	-0,041	0,011	0,228
2020	-0,222	-0,254	-0,292	-0,194	-0,231	-0,167
2021	0,103	0,164	0,197	0,061	0,136	0,145
2022	0,077	0,118	0,162	-	-	-
2023	-0,103	-0,246	0,255	-0,083	-0,225	-0,232
2024	-0,145	-0,210	0,078	-0,198	-0,252	0,033
Kuukausikeskiarvo	0,066	0,025	-0,051	0,169	0,219	0,095
Spearman						
2018	0,080	0,098	0,141	0,032	0,095	0,113
2019	0,056	0,092	0,304	0,015	0,092	0,325
2020	-0,235	-0,235	-0,247	-0,174	-0,196	-0,196
2021	-0,076	0,008	0,092	-0,061	0,030	0,067
2022	-0,010	0,093	0,088	-	-	-
2023	-0,110	-0,262	-0,277	-0,103	-0,252	-0,239
2024	-0,108	-0,151	0,134	-0,124	-0,166	0,116
Kuukausikeskiarvo	0,113	0,067	-0,009	0,152	0,217	0,095

Elokuun vuorokausiarvojen lineaarisen regressioanalyysin osalta tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ilmeni Betel-Ryhmäpuutarha ja Kauppatori-Ryhmäpuutarha osalta NAO-indeksin kanssa (taulukko 19). Selitysasteet olivat erittäin pieniä mikä tarkoittaa, että NAO-indeksillä oli erittäin pieni selittävä vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihteluihin. NAO-indeksin regressiokertoimet olivat positiivisia viitaten positiiviseen yhteyteen muuttujien välillä, mutta NAO-indeksin vaikutus oli silti hyvin heikkoa.

Taulukko 19. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys elokuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,008	0,009	0,023	0,011	0,007	0,024
Korjattu R^2	0,003	0,005	0,019	0,005	0,001	0,019
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,063	0,091	0,088	0,073	0,076	0,091
p-arvo	0,191	0,154	0,025*	0,161	0,272	0,035*

4.2.9 Syyskuu

Syyskuussa ilmeni negatiivinen korrelaatio Betel-Kurala lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksin välillä vuonna 2022 sekä positiivisia korrelaatioita eri lämpösaarekeparien osalta vuonna 2024 (taulukko 20). Pearsonin analyysillä vuonna 2024 yhteys havaittiin ainoastaan Ryhmäpuutarhan osalta, kun taas Spearmanilla tilastollisesti merkitsevät yhteydet ilmenivät kaikkien paitsi Niuskalan lämpösaarekeparien kanssa. Yhteydet olivat syyskuussa heikkoja, mutta vuoden 2024 Spearmanin kertoimet olivat hieman kohtalaisen voimakkuuden puolella. Syyskuun 2018–2024 kuukausikeskiarvojen suhteen ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä.

Taulukko 20. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä syyskuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	0,021	0,069	0,049	0,062	0,108	0,097
2019	-0,246	-0,003	-0,183	-0,208	0,031	-0,137
2020	0,308	0,324	0,253	0,332	0,346	0,279
2021	-0,035	-0,144	-0,028	-0,006	-0,126	0,006
2022	-0,366*	-0,311	-0,041	-	-	-
2023	0,244	0,230	0,234	0,234	0,222	0,227
2024	0,349	0,297	0,368*	0,361	0,294	0,383*
Kuukausikeskiarvo	0,228	0,327	0,105	0,195	0,311	0,164
Spearman						
2018	-0,009	-0,014	-0,040	0,031	0,023	0,044
2019	-0,323	-0,063	-0,190	-0,263	-0,045	-0,200
2020	0,298	0,287	0,140	0,349	0,331	0,181
2021	-0,057	-0,069	-0,012	0,003	-0,064	0,009
2022	-0,374*	-0,244	-0,020	-	-	-
2023	0,277	0,277	0,270	0,267	0,238	0,227
2024	0,391*	0,315	0,418*	0,407*	0,283	0,402*
Kuukausikeskiarvo	0,131	0,267	0,039	0,159	0,298	0,146

Syyskuussa vuorokausiarvoihin perustuva lineaarinen regressioanalyysi tuotti tilastollisesti merkitsevän yhteyden Kauppatori-Ryhmäpuutarha lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksin välillä (taulukko 21). Selitysaste oli erittäin pieni ja NAO-indeksin regressiokerroin osoitti vain hyvin vähäistä vaikutusta. Vaikutuksen suunta oli positiivinen. Muut lämpösaarekeparit eivät tuottaneet tilastollisesti merkitseviä tuloksia.

Taulukko 21. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys syyskuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,002	0,002	0,006	0,018	0,015	0,022
Korjattu R^2	-0,003	-0,003	0,001	0,013	0,010	0,017
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,032	0,038	0,050	0,100	0,115	0,093
p-arvo	0,551	0,566	0,270	0,069	0,098	0,047*

4.2.10 Lokakuu

Lokakuussa tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä havaittiin useina eri vuosina vaihtelevilla lämpösaarekepareilla (taulukko 22). Vuosina 2018–2019 yhteydet olivat positiivisia. Korrelaatiokertoimet olivat voimakkuudeltaan pääsääntöisesti heikkoja tai kohtalaisia, mutta Betel-Niuskala osalta havaittiin myös vahva yhteys Pearsonin testillä. Vuosilta 2020–2021 sekä 2023–2024 havaittiin negatiivisia yhteyksiä NAO-indeksin kanssa. Vuoden 2024 lämpösaareke ei kuitenkaan korreloinut tilastollisesti merkitsevästi Spearmanin testillä. Nämä negatiiviset yhteydet ilmenivät vaihtelevien lämpösaarekeparien kanssa ja olivat voimakkuudeltaan heikkoja tai kohtalaisia. Vuodelta 2022 ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Lokakuun kuukausikeskiarvoista 2018–2024 kaikki lämpösaarekeparit paitsi Niuskalan lämpösaarekkeet tuottivat tilastollisesti merkitsevän yhteyden. Yhteydet olivat negatiivisia ja voimakkuudeltaan kohtalaisia.

Taulukko 22. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä lokakuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	0,284	0,268	0,389*	0,319	0,290	0,436*
2019	0,543**	0,609**	0,548**	0,524**	0,599**	0,524**
2020	-0,394*	-0,372*	-0,262	-0,427*	-0,404*	-0,304
2021	-0,156	-0,358*	-0,072	-0,126	-0,358*	-0,027
2022	0,343	0,310	0,336	-	-	-
2023	-0,045	-0,320	-0,017	-0,121	-0,378*	-0,095
2024	-0,409*	-0,210	-0,399*	-0,401*	-0,169	-0,377*
Kuukausikeskiarvo	-0,411*	-0,227	-0,419*	-0,434*	-0,270	-0,454*
Spearman						
2018	0,246	0,240	0,360*	0,311	0,242	0,427*
2019	0,412*	0,433*	0,388*	0,377*	0,427*	0,373*
2020	-0,455*	-0,413*	-0,289	-0,439*	-0,437*	-0,348
2021	-0,396*	-0,505**	-0,311	-0,301	-0,475**	-0,118
2022	0,338	0,339	0,277	-	-	-
2023	-0,118	-0,379*	0,011	-0,205	-0,463**	-0,143
2024	-0,258	-0,103	-0,259	-0,218	-0,082	-0,204
Kuukausikeskiarvo	-0,446*	-0,307	-0,456**	-0,452*	-0,309	-0,459**

Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei havaittu lineaarisella regressioanalyysillä ollenkaan lokakuussa lämpösaarekkeen voimakkuuden vuorokausikeskiarvojen ja NAO-indeksin

vuorokausiarvojen väliltä (taulukko 23). Selitysasteet olivat erittäin pieniä ja regressiokertoimet positiivisia sekä vaikutukseltaan heikkoja tai hyvin heikkoja.

Taulukko 23. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys lokakuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,006	0,013	0,013	0,003	0,009	0,011
Korjattu R^2	0,002	0,008	0,009	-0,002	0,004	0,005
Regressiokerroin (standardoimaton)	0,064	0,124	0,083	0,040	0,092	0,061
p-arvo	0,247	0,095	0,088	0,431	0,194	0,163

4.2.11 Marraskuu

NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys kahden vuoden aikana marraskuun osalta (taulukko 24). Yhteydet olivat negatiivisia vuonna 2018 ja positiivisia vuonna 2023. Voimakkuudeltaan korrelaatiot olivat kohtalaisia ja vahvoja. Yksittäinen lämpösaarekeparin tilastollisesti merkitsevä yhteys ilmeni vuonna 2020 Spearmanin osalta. Tämä yhteys oli positiivinen ja ilmeni Kauppatori-Niuskala osalta. Kuukausikeskiarvojen osalta marraskuussa havaittiin negatiivisia yhteyksiä Kuralan havaintopisteen lämpösaarekkeen osalta. Nämä yhteydet olivat heikkoja.

Taulukko 24. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä marraskuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,680**	-0,615**	-0,552**	-0,673**	-0,599**	-0,525**
2019	-0,011	0,078	0,021	0,045	0,120	0,083
2020	0,126	0,237	0,060	0,115	0,238	0,035
2021	0,221	0,236	0,183	0,271	0,274	0,230
2022	-0,210	-0,015	-0,064	-	-	-
2023	0,621**	0,529**	0,430*	0,617**	0,527**	0,412*
2024	-0,260	-0,031	-0,236	-0,328	-0,066	-0,297
Kuukausikeskiarvo	-0,361	-0,173	-0,298	-0,368*	-0,179	-0,313
Spearman						
2018	-0,556**	-0,559**	-0,437*	-0,481**	-0,498**	-0,351
2019	-0,183	0,012	-0,116	-0,038	0,122	-0,012
2020	0,337	0,349	0,239	0,327	0,376*	0,148
2021	0,188	0,211	0,133	0,225	0,254	0,216
2022	-0,333	0,074	-0,198	-	-	-
2023	0,696**	0,561**	0,592**	0,605**	0,517**	0,528**
2024	-0,127	-0,018	-0,188	-0,320	-0,102	-0,344
Kuukausikeskiarvo	-0,364*	-0,081	-0,226	-0,366*	-0,095	-0,317

Marraskuussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä vuorokausiarvojen lineaarisella regressioanalyysillä (taulukko 25). Analyysin selitysasteet olivat erittäin pieniä ja regressiokertoimien perusteella vaikutukset hyvin heikkoja. Regressiokertoimien vaikutukset olivat analyysissä vaihtelevat. Niuskalan lämpösaarekkeiden regressiokertoimet olivat positiivisia, kun muiden olivat negatiivisia.

Taulukko 25. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys marraskuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,008	0,000	0,007	0,006	0,002	0,006
Korjattu R^2	0,003	-0,004	0,002	0,001	-0,004	0,001
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,075	0,022	-0,059	-0,061	0,043	-0,049
p-arvo	0,206	0,792	0,241	0,268	0,586	0,288

4.2.12 Joulukuu

Pearsonin korrelaatioanalyysin puolesta tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä ilmeni vuosina 2023–2024 joulukuussa (taulukko 26). Spearmanin testin mukaan yhteyksiä havaittiin vuosina 2018 ja 2023. Nämä yhteydet olivat negatiivisia ja heikkoja tai kohtalaisia voimakkuudeltaan. Lisäksi Spearmanin testissä joulukuun kuukausikeskiarvo 2018–2024 osalta korreloi tilastollisesti merkitsevästi ja positiivisesti Kauppatori-Ryhmäpuutarha osalta NAO-indeksin kanssa. Tämän yhteyden voimakkuus oli heikko. Pearsonin testillä tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä kuukausikeskiarvojen puolesta ei esiintynyt.

Taulukko 26. Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimet eri lämpösaarekemuuttujien ja NAO-indeksin väliltä joulukuussa 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

Pearson	Lämpösaareke					
Vuosi	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
2018	-0,237	-0,064	-0,138	-0,241	-0,060	-0,138
2019	-0,092	0,069	-0,110	-0,102	0,073	-0,117
2020	-0,029	-0,143	-0,131	0,298	0,034	0,217
2021	-0,089	-0,141	0,036	-0,049	-0,114	0,118
2022	-0,037	0,027	-0,026	-0,005	0,059	0,018
2023	-0,423*	-0,162	-0,324	-0,423*	-0,148	-0,312
2024	-0,200	-0,344	-0,097	-0,210	-0,357*	-0,091
Kuukausikeskiarvo	0,204	0,031	0,266	0,258	0,065	0,327
Spearman						
2018	-0,371*	-0,077	-0,241	-0,470**	-0,147	-0,352
2019	-0,201	-0,117	-0,190	-0,194	-0,137	-0,147
2020	-0,070	-0,187	-0,075	0,240	-0,017	0,302
2021	-0,192	-0,218	0,022	-0,138	-0,151	0,150
2022	-0,221	-0,002	-0,193	-0,185	0,064	-0,075
2023	-0,423*	-0,098	-0,289	-0,356*	-0,078	-0,318
2024	-0,304	-0,298	-0,288	-0,338	-0,283	-0,223
Kuukausikeskiarvo	0,154	0,065	0,271	0,230	0,077	0,365*

Betel-Kurala, Betel-Ryhmäpuutarha sekä Kauppatori-Kurala lämpösaarekeparien vuorokausikeskiarvoilla havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys NAO-indeksin vuorokausiarvojen kanssa lineaarisella regressioanalyysillä (taulukko 27). Erittäin pienet selitysasteet ja heikot regressiokertoimet indikoivat NAO-indeksin heikosta vaikutuksesta lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihteluun. NAO-indeksin regressiokertoimet olivat

negatiivisia viitaten negatiiviseen yhteyteen NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä joulukuussa.

Taulukko 27. Lämpösaarekeparien ja NAO-indeksin välisen lineaarisen regressioanalyysin selitysasteet (R^2), normittamattomat regressiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys joulukuussa vuosina 2018–2024. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiokertoimet (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) on korostettu.

	Betel-Kurala	Betel-Niuskala	Betel-Ryhmäpuutarha	Kauppatori-Kurala	Kauppatori-Niuskala	Kauppatori-Ryhmäpuutarha
R^2	0,033	0,010	0,018	0,026	0,006	0,010
Korjattu R^2	0,028	0,006	0,013	0,021	0,002	0,006
Regressiokerroin (standardoimaton)	-0,193	-0,132	-0,112	-0,162	-0,101	-0,081
p-arvo	0,007**	0,138	0,049*	0,018*	0,241	0,139

4.3 Vuodenaikaiset vaihtelut

4.3.1 Talvi

Talvikuukausina (joulukuu-helmikuu) NAO:n ja lämpösaarekkeen välinen yhteys oli kohtalaisen voimakas ja tammi-helmikuussa jopa vahva vaihtelevina vuosina. Joulukuussa ja helmikuussa korrelaatioyhteydet olivat negatiivisia, mutta tammikuussa positiivisia. Joulukuun yhteydet olivat tammikuuhun ja helmikuuhun nähden heikompia, pääosin heikkoja tai kohtalaisia voimakkuudeltaan. Joulukuussa ja tammikuussa tilastollisesti merkitsevät vaikutukset ilmenivät selkeimmin kahtena tutkimusvuotena. Helmikuussa taas tilastollisesti merkitsevät vaikutukset ilmenivät useampana vuotena, heikoimmillaan vuonna 2023. Talvikuukausien kuukausikeskiarvoista vuosilta 2018–2024 ilmeni tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä pääosin helmikuussa. Nämä kohtalaisen voimakkaat negatiiviset yhteydet havaittiin Niuskalan lämpösaarekeparien osalta. Tammikuun osalta tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ei ilmennyt lainkaan ja joulukuussa vain heikosti Kauppatori-Ryhmäpuutarha lämpösaarekeparin osalta. Tilastollisesti merkitsevät regressiosuhteet NAO:n ja lämpösaarekkeen väliltä ilmenivät helmikuussa ja joulukuussa. Tammikuussa NAO:n vaikutus oli heikosti positiivinen ja joulukuussa heikosti negatiivinen.

4.3.2 Kevät

Keväällä (maaliskuu-toukokuu) havaittiin vahvoja yhteyksiä myös NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä. Yhteydet esiintyivät useamman tutkimusvuoden aikana ja olivat vahvoja erityisesti huhti- ja toukokuun aikana. Positiivisia

korrelaatioyhteyksiä ilmeni huhtikuussa ja negatiivisia toukokuussa. Maaliskuun osalta havaittiin sekä negatiivisia että positiivisia yhteyksiä vaihtelevilta vuosilta.

Kuukausikeskiarvoista maaliskuussa havaittiin negatiivinen yhteys ja toukokuussa vahva positiivinen yhteys kaikilla lämpösaarekepareilla, mikä osoittaa kevään sisäistä vaihtelua. Yhteys siis vahvistui kevään edetessä toukokuuta kohti. Regressiotuloksista tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä havaittiin huhti- ja toukokuun osalta, jolloin yhteydet olivat positiivisia ja heikkoja. Maaliskuussa regressioanalyysit olivat tilastollisesti merkitseviä Kauppatori-Kurala ja Kauppatori-Niuskala osalta. Nämä yhteydet olivat negatiivisia.

4.3.3 Kesä

Kesäajalla (kesäkuu-elokuu) Turun alueen lämpösaarekkeen ja NAO:n välinen yhteys ei esiintynyt johdonmukaisesti. Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioyhteyksiä ei havaittu kesäkuussa ja elokuussa lainkaan. Satunnaisia yhteyksiä ilmeni kuitenkin heinäkuussa parin tutkimusvuoden osalta. Nämä yhteydet olivat eräänä vuonna positiivisia ja toisena negatiivisia sekä ilmenivät valtaosassa tutkituista lämpösaarekepareista. Kuukausikeskiarvoista ainoa tilastollisesti merkitsevä yhteys oli heinäkuussa Betel-Ryhmäpuutarha lämpösaarekeparilla. Korrelaatioyhteydet olivat pääosin heikkoja voimakkuudeltaan, mutta myös kohtalaisen voimakkaita yhteyksiä esiintyi. Regressioanalyyseissä elokuussa ilmeni Ryhmäpuutarhan lämpösaarekkeiden osalta tilastollisesti merkitsevät testit. Nämä yhteydet olivat positiivisia, tosin NAO:n vaikutus oli hyvin heikko.

4.3.4 Syksy

Syyskuukausina (syyskuu-marraskuu) NAO:n ja Turun kaupungin lämpösaarekkeen välinen yhteys oli vaihteleva. Syyskuussa tilastollisesti merkitsevät korrelaatioyhteydet olivat epäsäännöllisiä ja heikkoja. Lokakuussa ja marraskuussa ilmenneet yhteydet olivat vahvempia, marraskuussa jopa vahvoja voimakkuudeltaan. Näiden kuukausien kohdalla yhteydet havaittiin valtaosan tutkittavien lämpösaarekeparien osalta, toisin kuin syyskuussa. Lokakuussa tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä havaittiin useiden tutkimusvuosien osalta. Koko syksyn aikana yhteyksien suunta vaihteli, eli sekä positiivisia että negatiivisia yhteyksiä havaittiin vaihtelevina tutkimusvuosina kussakin syksyn ajan kuukaudessa. Kuukausikeskiarvoista tilastollisesti merkitsevät yhteydet ilmenivät loka- ja marraskuussa. Marraskuun yhteydet olivat voimakkuudeltaan heikkoja ja ilmenivät vain parin lämpösaarekeparin osalta, mutta lokakuussa yhteydet olivat kohtalaisia voimakkuudeltaan ja

niitä havaittiin useamman lämpösaarekeparin osalta. Kaikki yhteydet olivat negatiivisia, eli NAO-indeksin noustessa lämpösaareke heikkeni. Regressioanalyysissä ainoa tilastollisesti merkitsevä tulos ilmeni syyskuussa Kauppatori-Ryhmäpuutarha osalta, jolloin NAO:n vaikutus lämpösaarekkeeseen voimakkuuteen oli positiivinen ja hyvin heikko.

5 Keskustelu

5.1 Vuodenaikaisiin NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen välisiin yhteyksiin vaikuttavat tekijät

Tulokset talvikuukausilta ovat yhteneviä edellisten tutkimusten kanssa. Vuoden 2021 tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevät korrelaatioyhteydet havaittiin tammikuulta ja helmikuulta, jolloin yhteyden suunta oli samalla tavoin positiivinen tammikuussa ja negatiivinen helmikuussa (Suomi ym. 2025b). Myös vuosien 2011–2017 yhteyksien tutkimuksessa NAO:n ja Turun lämpösaarekkeen välinen yhteys oli talvella negatiivinen (Ristimäki, 2023). Yhtenä mahdollisena selityksenä erityisesti helmikuussa havaitulle negatiiviselle korrelaatiolle voidaan pitää NAO:n, lämpötilan ja hukkalämmön välistä yhteyttä. Negatiiviseen NAO-vaiheeseen liittyvä keskimääräistä kylmempi sää kasvattaa rakennusten ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa, mikä lisää hukkalämmön suhteellista lämmittävää vaikutusta ja siten voimistaa lämpösaarekettä. Vaikutus voi korostua helmikuussa, jolloin laajempi jääpeite heikentää meren lämpötiloja tasaavaa vaikutusta, kun taas lämpimämpinä vuodenaikoina hukkalämmön merkitys jää vähäisemmäksi. Ilmakehä on dynaamisesti aktiivisin talvella, jolloin ilmastoanomaliat ovat myös suurimmillaan (Hurrell, 2005). Tämä voi osaltaan vaikuttaa vaihteleviin tuloksiin talvikuukausien välillä.

Talvikuukausina oleellinen vaikutus voi olla myös lumensyvyydellä ja lumipeitteen määrällä, sillä lumensyvyydellä ja NAO-indeksin välillä on havaittu olevan negatiivinen yhteys Turun alueella (Lappi, 2024). Kaupunkialueella lumi usein sulaa nopeammin, jolloin sen heijastusvaikutus voi maaseudulla pitkittyä suhteessa kaupunkiin ja siten vaikuttaa lämpötilaeroihin. Lisäksi erona muihin vuodenaikoihin on Itämeren jääpeite. Meren jääpeite vaikuttaa rannikkoilmastoon muun muassa heikentyneen tuulen kantavuuden ja tuuliaaltojen syntymisen estämisen puolesta (Henke ym. 2024). Lisäksi sillä on vaikutus rannikon lämpötilaeroihin, sillä paksumpi ja tiheämpi jää heikentää lämmön siirtymistä ilmakehän ja meren välillä (Sumata ym. 2026). Jääpeitteen laajuus vaihtelee talvikuukausien aikana, mikä voi myös selittää eroavaisuuksia tuloksissa talven sisällä ja talvien välillä. Talvisin tyypillinen ilmiö on myös inversiotilanteet, joilla on havaittu yhteys myös NAO-indeksiin (Ristimäki, 2023). Inversion aikaan NAO-indeksi on keskimääräistä matalampi, jolloin inversiotilanteet saattavat vaikuttaa myös NAO:n ja lämpösaarekkeen väliseen yhteyteen.

Tulokset viittaavat siihen, että NAO:n vaikutus lämpösaarekkeeseen voimistuu kevään edetessä, mikä saattaa liittyä säteilyolojen nopeaan muutokseen ja lumipeitteen sulamiseen. Esimerkiksi NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välinen negatiivinen korrelaatio on erityisen voimakas toukokuussa vuosina 2018 ja 2024, jolloin kuukaudet ovat olleet keskimääräistä lämpimämpiä. Huhtikuun puolesta korrelaatiotestien tulokset tukevat vuoden 2021 tutkimusta NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välisestä yhteydestä. Vuonna 2021 NAO-indeksin ja Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden välinen yhteys havaittiin myös positiiviseksi huhtikuussa (Suomi ym. 2025b). Maaliskuun tuloksiin saattaa osin vaikuttaa vielä meren jääpeite, sillä Itämeren jääpeitteen on usein havaittu olevan laajimmillaan helmikuun ja maaliskuun aikana (Ilmatieteen laitos, 2022). Keväällä lumen sulamisen nopeus myös vaihtelee alueellisesti, jolloin lämpötilaerot voivat alueellisesti vaihdella esimerkiksi albedon puolesta, kun pinnan lyhytaaltoisen säteilyn tasapaino vaihtelee (Peräkylä ym. 2025). Tavallisesti kaupunkialueella lumi sulaa tehokkaammin muun muassa lämpösaarekkeen aiheuttamien lämpimien olosuhteiden ja teiden suolaamisen myötä (Komarov ym. 2025). Merkittävä tekijä, joka voi vaikuttaa kevään tuloksiin, on lisääntyvä nettosäteily. Muuttuva energiatasapaino pitenevien päivien ja kasvavan auringon korkeuskulman myötä voi lisätä lämmön varastoitumista kaupunkiin, mikä vaikuttaa lämpösaarekkeen intensiteettiin (Oke, 1987). Positiivinen NAO-vaihe voi vähentää pilvisyyttä ja lisätä aurinkoisia olosuhteita Pohjois-Euroopan alueella päästään enemmän lämpösäteilyä maanpintaan, mikä voi näkyä NAO:n ja lämpösaarekkeen välisessä yhteydessä (Folland ym. 2009). Lisäksi meren vaikutus keväällä vaikuttaa alueellisiin lämpötiloihin (Suomi ym. 2025c).

Kesäkuukausina puuttuvat tilastollisesti merkitsevät yhteydet voi selittää NAO:n heikompi vaikutus säätyyppiin kesäaikana. Vaikka NAO:lla on havaittu olevan vaikutus alueellisiin sääolosuhteisiin myös kesäaikana (Folland ym. 2009), useat tutkimukset todistavat vaikutuksen olevan voimakkaimmillaan ja selkeimmillään talviaikana (Hurrell, 2005; Rousi ym. 2020; Outten & Davy, 2024). Vaikutukset kesällä saattavat olla vaihtelevampia, harvinaisempia ja alueellisesti toisistaan poikkeavia. Vuoden 2021 tarkastelussa ei kesäaikana ilmennyt myöskään tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksin välillä (Suomi ym. 2025b). NAO:n epäyhtenäinen vaikutus kesällä voisi selittää sen, miksi heinäkuussa ilmeni satunnaisia tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä. Se kuinka heinäkuun korrelaatioyhteydet olivat sekä positiivisia että negatiivisia eri vuosina voi selittyä NAO:n eri

vaiheilla eri tutkimusvuosien aikana sekä paikallisten tekijöiden vaikutuksesta. Kesällä muun muassa maa- ja merituulen vaihtelu on yleistä, jolloin esimerkiksi mereltä saapuvat merituulet voivat vaikuttaa alueellisiin lämpötilaeroihin (Papanastasiou & Kittas, 2011). Täten paikallisilla tekijöillä voi olla NAO:a suurempi vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuteen kesäisin.

Vuoden 2021 tutkimuksessa NAO:n ja lämpösaarekkeen välisestä yhteydestä lokakuussa havaittu yhteys oli negatiivinen (Suomi ym. 2025b). Tämä toteutui osittain tämän tutkimuksen osalta, mutta poikkeuksena oli myös ilmenneet positiiviset yhteydet eri tutkimusvuosina. Tämä ja vaihtelevat suunnat korrelaatioyhteyksissä myös muina syyskuukausina osoittavat, että syksyn osalta NAO:n vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuteen ei ole yksiselitteinen, vaan vaikutus on vaihtelevan suuntainen. Suuri tekijä, jolla voi olla vaikutus lämpösaarekkeen ja NAO:n väliseen yhteyteen on meren rannikkoa lämmittävä vaikutus syksyllä. Meri vaikuttaa alueellisiin lämpötilaeroihin lämmittämällä rannikkoa erityisesti syysaikaan (Suomi ym. 2025b). Syksyllä oli havaittavissa sama ilmiö kuin keväällä yhteyden voimistumisen suhteen syyskuusta marraskuuhun. Vuodenaikaiset muutokset auringon säteilyn intensiteetissä ja energiatasapainossa kohti talvea siirryttäessä voivat myös vaikuttaa lämpösaarekkeen ja NAO:n yhteyteen.

5.2 Yleiset huomiot

Kaikkina tutkimusvuosina NAO:n vaikutusta ei havaittu. Tähän voi vaikuttaa NAO-indeksin vaihtelu eri ajanjaksoilla, kuten tietyn kuukauden sisällä. Vähäisempi vaihtelu ja vakaammat olosuhteet voivat johtaa heikompiin korrelaatioihin. NAO ei myöskään yksinään vaikuta lämpösaarekkeen voimakkuuteen, vaan ilmasto muodostaa monimutkaisen ja dynaamisen systeemin, johon vaikuttavat erilaiset paikalliset ja laajemman mittakaavan ilmastotekijät (IPCC, 2014). Eroavaisuudet eri tutkimusvuosien välillä voivat selittyä eri NAO-indeksin vaiheista ja voimakkuuksista vallitsevana ajanhetkenä sekä muiden meteorologisten parametrien vaihtelevista vaikutuksista. Yhtenä selittävänä tekijänä voidaan lisäksi pitää sitä, että sama NAO-indeksin arvo ei välttämättä vastaa keskenään samanlaista ilmanpainejakamaa Pohjois-Atlantilla eikä siten johda yhdenmukaisiin sääolosuhteisiin Turun alueella, sillä paineanomalioiden alueellinen rakenne ja niiden ilmeneminen voivat vaihdella saman indeksiarvon puitteissa. Esimerkiksi pilvisyydellä, tuulisuudella ja tuulen suunnalla on vahva vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuteen (Papanastasiou & Kittas, 2011). Lineaaristen regressioanalyysien pienet selitysasteet ja heikot regressiokertoimet

viittaavat heikkoon yhteyteen NAO:n ja Turun alueen lämpösaarekkeen välillä. Vaikka NAO on pohjoisella pallonpuoliskon ainoa telekonnektio, jonka vaikutukset ovat havaittavissa ympäri vuoden (Hurrell, 2005), suurempi vaikutus lämpösaarekkeen voimakkuuteen johtuu todennäköisesti silti paikallisista tekijöistä. NAO:a voidaan pitää osatekijänä lämpösaarekkeen voimakkuuden vaihteluun, muttei sitä hallitsevana selittäjänä. Suhteellisen selkeää vuodenaikaista säännöllisyyttä ja vaihtelua NAO:n ja lämpösaarekkeen vuorovaikutuksessa on havaittavissa, mutta ajoittain ilmenee myös poikkeuksia.

Lämpösaarekeparien välisiin eroihin vaikuttavat niiden erilaiset ympäristöpiirteet, kuten topografia, kaupunkimaisen maankäytön osuus sekä etäisyys keskustasta ja merestä (Suomi ym. 2025c). Lämpösaarekkeet Kuralan ja Niuskalan havaintopisteillä vaikuttivat tuottavan johdonmukaisimpia tuloksia ja yhteyksiä NAO-indeksiin ja Turun lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä. Ryhmäpuutarhan osalta lämpösaarekkeen voimakkuuden ja NAO-indeksiin väliset yhteydet olivat useammin heikompia tai epäkoherentteja. Niuskalan ja Kuralan osalta korostuu niiden etäisyys merestä ja keskustasta. Kurala ja Ryhmäpuutarha ovat suhteellisen samalla etäisyydellä keskustasta, mutta Ryhmäpuutarha on huomattavasti lähempänä merta. Etäisyydellä mereen on merkittävä vaikutus Turun alueellisiin lämpötilaeroihin (Suomi ym. 2025a), ja siten sillä voi olla vaikutus sekä lämpösaarekkeen että NAO:n ja lämpösaarekkeen välisen yhteyden voimakkuuteen.

Positiivisen yhteyden aikana NAO-indeksiin kasvaessa myös lämpösaarekkeen intensiteetti voimistuu, kun taas negatiivisessa yhteydessä lämpösaarekkeen intensiteetti taas heikkenee. Yhteys NAO-indeksiin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä oli talvella pääsääntöisesti negatiivinen lukuun ottamatta positiivisia yhteyksiä tammikuussa, keväällä pääsääntöisesti positiivinen ja syksyllä vaihteleva. Kesällä yhteys oli hyvin heikko. Koska yhteys on ollut pääosin negatiivinen talvella, voidaan todeta NAO:lla olleen osittain heikentävä vaikutus Turun lämpösaarekkeen voimakkuuteen talvella. Keväällä yhteyden ollessa valtaosin positiivinen ja NAO-indeksiin enemmän negatiivinen on vaikutus ollut enemmän lämpösaarekettä voimistava. Kuitenkin positiivisia vaiheita on ilmennyt myös kevätaikaan tutkimusvuosina, jolloin NAO:lla on voinut olla myös heikentävä vaikutus. Syksyllä vaikutus oli vaihtelevasti voimistava ja heikentävä.

Syyt NAO:n vaikutuksen suunnan muuttumiseen talven ja kevään välillä liittyvät mahdollisesti muuttuneisiin säteilyolosuhteisiin. Kevätaikaan auringonsäteily on jo voimakkaampaa kuin talvella, ja saapuvan säteilyn määrä lisääntyy kesää kohti mennessä.

Vaikutusta voi olla myös sillä, että ihmistoiminnan aiheuttaman hukkalämmön vaikutus lämpösaarekkeeseen on suurimmillaan talviaikaan ja sen vaikutus vähenee kohti lämpimämpää vuodenaikaa mentäessä. Keväällä ja syksyllä yhteys vaikutti voimistuvan kevään ja syksyn edetessä kohti kesää ja talvea. Lisääntyvän säteilyn määrä on myös yhtenevä NAO:n ja lämpösaarekkeen yhteyden voimistumiseen kevään edetessä. Syksyn osalta vastaavan yhteyden voimistumisen voisi selittää lisääntyvä säteilyjäähdyminen. Lisäksi keväällä lumipeite alkaa sulaa ja päivälämpeneminen on hallitsevampaa, jolloin muuttuvilla olosuhteilla voi olla vaikutusta.

5.3 Tutkimuksen epävarmuustekijät

Tutkimus keskittyy menneisyyden tarkasteluun ja sen tuloksia voi olla vaikeaa soveltaa tulevaisuuden ennustamiseen. NAO:n vaiheita ja vaikutuksia on vaikea ennustaa tulevaisuuteen (Hurrell, 2005), jolloin sen yhteyden suuntaa tai voimakkuutta lämpösaarekkeen kanssa voi olla hankala arvioida tulevina vuosina. Lisäksi yhteneviä tuloksia ja havaittavia trendejä häiritsee poikkeukselliset havainnot ja tutkimusvuodet, jotka osoittavat NAO:n ja lämpösaarekkeen välisen yhteyden monimutkaisuuden. Poikkeuksiin saattaa vaikuttaa ajoittaiset ilmastolliset tekijät paikallisesti sekä laajemmassa mittakaavassa. Paikallisesti yhteyteen voi vaikuttaa muun muassa tuulisuus, myrskyt, pilvisuus ja inversiotilanteet (Ristimäki, 2023; Suomi ym. 2025b), kun taas laajemmassa mittakaavassa vaikutusta voi olla synoptisilla olosuhteilla, sykloneilla ja suuremmilla myrskyillä sekä muutoksilla ilmanpaineessa (Yoshino, 2005; Suomi ym. 2025a). Kuitenkin kuukausitarkastelu voi myös tasoittaa hetkittäisiä säätilanteita, jolloin niiden mahdollinen vaikutus ei käy analyysissä ilmi. NAO ei yksinään vaikuta lämpösaarekkeeseen, vaan taustalla piilee myös muita tekijöitä. Muiden ympäristötekijöiden tai meteorologisten tekijöiden vaikutusta ei ole tutkimuksessa huomioitu.

Epävarmuutta tutkimukseen tuo myös tarkastelujakson lyhyt pituus. Tutkimus keskittyi seitsemän vuoden tarkasteluun, mutta pidemmällä aikasarjalla olisi kenties saavutettu mielekkäämpiä trendejä tilastollisissa testeissä. Puutteelliset lämpötilaluvut Kauppatorin havaintopisteen osalta vuonna 2022 aiheuttivat katkon Kauppatorin lämpösaarekaineistoon, mikä johti puutteelliseen yhteyksien havaitsemiseen NAO:n ja lämpösaarekkeen väliltä Kauppatorin osalta. Havaintopisteiden ympäristössä tapahtuvat muutokset esimerkiksi maankäytössä voivat aiheuttaa muutoksia havaittuihin lukuihin eri vuosien välillä. Esimerkiksi Kauppatorilla vuonna 2022 tapahtunut remontti on voinut muuttaa mitattavia

lämpötiloja suhteessa tilanteeseen ennen remonttia, tosin vaikutus ei ole ollut kovin merkittävä. Havaintopisteiden laitteiston keräämät lämpötilaluvut on virhetarkasteltu, ja virheelliset lukemat on poistettu aineistosta.

Tutkittavien lämpösaarekeparien ja NAO:n välisestä yhteydestä vuosien 2018–2024 aikana mikään lämpösaarekepari ei osoittanut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä NAO:n kanssa lineaarisessa regressioanalyysissä. Syitä tähän voivat olla tarkastelujakson lyhyiden lisäksi NAO:n epäsuora tai vaihteleva vaikutus sekä paikallisten tekijöiden hallitsevampi vaikutus. NAO-indeksin ja Turun alueen lämpösaarekkeen voimakkuuden välinen suhde ei välttämättä ole lineaarinen, jolloin testi ei pysty osoittamaan tilastollisesti merkitseviä tuloksia yhteydestä.

5.4 Jatkotutkimustarpeet

Samankaltaisen tutkimuksen voisi toteuttaa pidemmältä tarkastelujaksolta, jolloin mahdolliset trendit NAO:n ja lämpösaarekkeen väliltä voisivat ilmetä paremmin. Lisäksi muiden telekonnektioiden, kuten Arktisen oskillaation, yhteys yhdessä NAO:n kanssa lämpösaarekkeen voimakkuuteen voisi kattavammin havainnollistaa laajemman mittakaavan ilmiöiden vaikutusta paikallisilmiöihin. Vertailu myös eri ilmastojen ja leveyspiirien kaupunkien väliltä Euroopassa kuvastaisi NAO:n vaikutusten alueellisia eroja lämpösaarekkeen voimakkuuteen. Lisäksi lämpösaareke ilmenee eri tavoin päivä- ja yöaikaan, jolloin tutkimuksen toteutus yön ja päivän yhteyksien eroista voisi olla merkittävää tutkia.

Koska NAO on vain osaselittäjänä lämpösaarekkeen intensiteetin vaihteluihin, voisi lisäarvoa tutkimukselle tuoda myös muiden paikallisten meteorologisten tekijöiden vaikutuksen huomiointi lämpösaarekkeen intensiteettiin NAO:n ohella. Esimerkiksi tuulisuuden ja pilvisyyden vaikutusten arviointi yhdessä NAO:n kanssa sekä tekijöiden vaikutusten painoarvo lämpösaarekkeen intensiteetin vuodenaikaisissa vaihteluissa voisi olla tutkittava aihe. Tutkimus myös lumipeitteen ja säteilytaseen osallisuudesta NAO:n ja lämpösaarekkeen väliseen yhteyteen voisi olla aiheellinen. Lisäksi olisi mielenkiintoista tutkia sitä, miten NAO ja lämpösaareke käyttäytyvät poikkeuksellisten säätilanteiden, kuten myrskyjen, aikaan sekä eri ilmanpaine-tilanteissa kuten matala- ja korkeapaineen aikaan.

Ilmasto on jatkuvasti muuttuva kokonaisuus, jolloin esimerkiksi ilmastonmuutos ja ilmaston lämpeneminen muuttavat niin globaaleja kuin paikallisia ilmastotekijöitä (IPCC, 2022). Ilmastonmuutos lisää esimerkiksi hellejaksoja, joiden aikana myös lämpösaareke on usein

voimistunut (Kong ym. 2021). Lisäksi ilmastonmuutos voimistaa yläilmakehän suihkuvirtauksia, jolloin NAO saattaa käyttäytyä eri tavoin (Liu ym. 2025). Tämä voi heijastua myös NAO:n ja lämpösaarekkeen välisessä suhteessa. Tämän myötä tärkeitä tutkimuksia voisi johtaa muun muassa NAO:n ja lämpösaarekkeen sekä niiden välisen yhteyden suhteesta muuttuvaan ilmastoon.

6 Johtopäätökset

NAO:lla on havaittu olevan vaikutus Turun alueen lämpösaarekkeeseen, ja sen suunta ja voimakkuus vaihtelevat vuodenajoittain sekä vuosittain. Vaikutus havaitaan selkeästi talvikuukausina, mutta lisäksi myös muina vuodenaikoina, erityisesti keväällä. Talviaikaan yhteys NAO-indeksin ja lämpösaarekkeen voimakkuuden välillä on pääsääntöisesti negatiivinen lukuun ottamatta positiivista yhteyttä tammikuun aikana. Keväisin ja syksyisin yhteys on vaihteleva, jolloin sekä positiivista että negatiivista yhteyttä ilmenee vaihtelevina kuukausina. Keväällä kuitenkin positiivinen yhteys on usein vallitsevampi. Kesäkuukausina yhteys on hankalimmin havaittavissa, mutta heikko yhteys voidaan hetkellisesti satunnaisina vuosina havaita. Kesäaikana on silti heikoin yhteys NAO:n ja lämpösaarekkeen välillä muihin vuodenaikoihin verrattuna.

NAO vaikuttaa Turun alueen lämpösaarekkeeseen sekä sitä voimistavasti että heikentävästi. NAO:n positiivinen vaihe on yhteydessä heikompaan lämpösaarekkeeseen talvella ja voimakkaampaan lämpösaarekkeeseen keväällä. Kevätkaudella poikkeuksen muodostivat keskimääräistä lämpimämmät toukokuut vuosina 2018 ja 2024, jolloin havaittu yhteys oli negatiivinen ja NAO:n vaikutus ilmeni pääosin lämpösaarekeilmiötä heikentävänä. Syksyllä ei ole havaittavissa selkeää lämpösaarekettä voimistavaa tai heikentävää vaikutusta, vaan vaikutus on vaihteleva. Negatiivisen NAO-vaiheen aikana tilanne on toisin päin. NAO-indeksin vaikutuksen voimakkuus ja suunta Turun kaupungin lämpösaarekkeeseen vaikuttavat vaihtelevan vuodenajan mukaan noudattaen suhteellisen säännöllistä kiertoa. Lisäksi keväisin ja syksyisin yhteys NAO:n ja lämpösaarekkeen välillä usein voimistuu kohti kesää ja talvea.

Turun alueen lämpösaarekkeen ja NAO:n välinen yhteys on kohtalaisen heikko ja vaihteleva. NAO:lla on monien muiden tekijöiden ohella vain osittainen vaikutus lämpösaarekkeen intensiteetin vaihteluun. Ilmasto on systeeminä dynaaminen ja monimutkainen, jolloin jatkotutkimuksia tarvitaan muun muassa pidemmältä aikasarjalta, jossa on huomioitu myös muiden telekonnektioiden ja paikallisten meteorologisten tekijöiden vaikutukset. Tutkimus tuo uutta tietoa suurimittakaavaisen ilmakehän vaihtelun ja paikallisen kaupunki-ilmaston välisestä suhteesta.

Lähteet

- Brazel, A. J. & Quatrocchi, D. (2005) Urban Climatology. Teoksessa Oliver, J. E. (toim.) *Encyclopedia of World Climatology* 766–779. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_219
- Climate Prediction Center (2002) Monitoring Weather & Climate. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. 5.1.2026.
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_index.html
- Climate Prediction Center (2005) Teleconnection Pattern Calculation Procedures. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. 5.1.2026.
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml
- Climate Prediction Center (2025) North Atlantic Oscillation. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. 5.1.2026.
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>
- Folland, C. K., Knight, J., Linderholm, H. W., Fereday, D., Ineson, S. & Hurrell, J. W. (2009) The summer north atlantic oscillation: past, present, and future. *Journal of Climate* 22(5) 1082–1103. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2459.1>
- Harmay, N. S. M. & Choi, M. (2023) The urban heat island and thermal heat stress correlate with climate dynamics and energy budget variations in multiple urban environments. *Sustainable Cities and Society* 91 104422. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104422>
- Hauke, J. & Kossowski, T. (2011) Comparison of values of Pearson’s and Spearman’s correlation coefficients on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae* 30(2) 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
- Henke, M., Miesse, T., Souza de Lima, A., Ferreira, C. M. & Ravens, T. M. (2024) Increasing coastal exposure to extreme wave events in the Alaskan Arctic as the open water season expands. *Communications Earth & Environment* 5(165).
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01323-9>
- Hurrell, J. W. (2005) North Atlantic Oscillation. Teoksessa Oliver, J. E. (toim.) *Encyclopedia of World Climatology*, 536–539. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_150
- Ilmatieteen laitos (2022) Jäätalvi Itämerellä. 11.2.2026.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/jaatalvi-itamerella>

- IPCC (2014) *Climate change 2013: the physical science basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IPCC (2022) *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jabbar, H. K., Hamoodi, M. N. & Al-Hameedawi, A. N. (2023) Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1129 012038. 10.1088/1755-1315/1129/1/012038
- Jokinen, P., Pirinen, P., Kaukoranta, J., Kangas, A., Alenius, P., Eriksson, P., Johansson, M. & Wilkman, S. (2021) Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2021:8. <https://helda.helsinki.fi/items/d7ce3a4f-bf47-4453-be76-2a0de738c59a>
- Kanerva, K. (2015) Pohjois-Atlantin värähtelyn vaikutus Suomen talvilämpötiloihin ja sademäärään. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos. <http://hdl.handle.net/10138/162059>
- Keskinen, I. (2023) Itämeren jääpeitteen vaikutus talvilämpötiloihin Turun seudulla. LuK-tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen ja geologian laitos.
- Kimberly, L. (2025) Urban heat islands: mitigating environmental hazards in growing cities. *Journal of Environmental Hazards* 9(1) 10.37421/2684-4923.2025.9.257
- King, M. P., Keenlyside, N. & Li, C. (2023) ENSO teleconnections in terms of non-NAO and NAO atmospheric variability. *Climate Dynamics* 61 2717–2733. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06697-8>
- Kolokotsa, D., Lilli, K., Gobakis, K., Mavriaggianni, A., Haddad, S., Garshasbi, S., Mohajer, H. R. H., Paolini, R., Vasilakopoulou, K., Bartesaghi, C., Prasad, D. & Santamouris, M. (2022) Analyzing the impact of urban planning and building typologies in urban heat island mitigation. *Buildings* 12(5) 537. <https://doi.org/10.3390/buildings12050537>
- Komarov, A., Turchaninova, A., Seliverstov, Y., Sokratov, S. & Stroeve, J. (2025) The impact of urban heat island on snow properties and stratigraphy in the Moscow region. *Urban Climate* 62 102545. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102545>
- Kong, G., Peng, J. & Corcoran, J. (2025) Modelling urban heat island effects: a global analysis of 216 cities using machine learning techniques. *Computational Urban Science* 5(18). <https://doi.org/10.1007/s43762-025-00178-w>

- Kong, J., Zhao, Y., Carmeliet, J. & Lei, C. (2021) Urban heat island and its interaction with heatwaves: a review of Studies on Mesoscale. *Sustainability* 13(19) 10923. <https://doi.org/10.3390/su131910923>
- Laamanen, L (2012) Pohjois-Atlantin oskillaation vaikutus pysyvän jääpeitteen muodostumiseen Turun satamassa vuosina 1980–2010. LuK-tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen ja geologian laitos.
- Laininen, P. (2000) *Tilastollisen analyysin perusteet*. Hakapaino, Helsinki.
- Lappi, E. (2024) NAO-indeksin ja lumensyvyyyden välinen yhteys Suomessa. LuK-tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen ja geologian laitos. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024050828433>
- Liu, Q., Bader, J., Jungclaus, J. H. & Matei, D. (2025) More extreme summertime North Atlantic Oscillation under climate change. *Communications Earth & Environment* 6 474. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02422-x>
- Liu, Y., Li, Q., Yang, L., Mu, K., Zhang, M. & Liu, J. (2020) Urban heat island effects of various urban morphologies under regional climate conditions. *Science of The Total Environment* 743 140589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140589>
- Maghrabi, A., Aldosari, A., Al Mutairi, M., Altiasi, M. & Al Shehre, A. (2026) Unveiling Riyadh's urban heat island: a 37-year analysis of temperature trends and climate dynamics. *Atmospheric and Climate Sciences* 16(1) 170–189. <https://doi.org/10.4236/acs.2026.161011>
- Met Office (2024) The North Atlantic Oscillation. 9.2.2026. <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/ensemble/nao-description>
- Mokhtara, C., Sinha, S., Aryal, A., Mainali, B. & Mahapatra, K. (2025) Analysing surface urban heat island risks: mapping the vulnerability of dwelling and dwellers across Swedish municipalities. *City and Environment Interactions* 28 100245. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100245>
- Näyhä, S. (2005) Kylmä, kuuma ja kuolleisuus. *Duodecim* 121(4) 433–9. <https://www.duodecimlehti.fi/duo94809>
- Oke T.R. (1987) *Boundary layer climates*, 2nd edition. 435 pp. Routledge, London.
- Outten, S. & Davy, R. (2024) Changes in the North Atlantic Oscillation over the 20th century. *Weather and Climate Dynamics* 5(2) 753–762. <https://doi.org/10.5194/wcd-5-753-2024>

- Papanastasiou, D. K. & Kittas, C. (2011) Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. *Theoretical and Applied Climatology* 107 407–416. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0491-z>
- Peräkylä, O., Rinne, E., Ezhova, E., Lintunen, A., Lohila, A., Aalto, J., Aurela, M., Kolari, P. & Kulmala, M. (2025) Comparison of shortwave radiation dynamics between boreal forests and open peatland pairs in southern and northern Finland. *Biogeosciences* 22(1) 153–179. <https://doi.org/10.5194/bg-22-153-2025>
- Piracha, A. & Chaudhary, M. T. (2022) Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health: A Review of Literature. *Sustainability* 14(15) 9234. <https://doi.org/10.3390/su14159234>
- Ristimäki, R. (2023) NAO-indeksin ja kaupungin lämpösaarekkeen voimakkuuden välinen yhteys Turussa. LuK-tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen ja geologian laitos.
- Rousi, E., Rust, H. W., Ulbrich, U. & Anagnostopoulou, C. (2020) Implications of winter NAO flavors on present and future European climate. *Climate* 8(1) 13. <https://doi.org/10.3390/cli8010013>
- Rupp, D. E., Shafer, S. L., Daly, C., Jones, J. A. & Frey, S. J. K. (2020) Temperature gradients and inversions in a forested cascade range basin: synoptic- to local-scale controls. *JGR Atmospheres* 125(23) e2020JD326868. <https://doi.org/10.1029/2020JD032686>
- Sheridan, S.C. & Lee, C. C. (2012) Synoptic climatology and the analysis of atmospheric teleconnections. *Progress in Physical Geography Earth and Environment* 36(4) 548–557. <https://doi.org/10.1177/0309133312447935>
- Song, Z., Nie, J., Dai, P., Lin, Z., Guo, J., Lan, J., Li, X., Lin, Q., Yin, Z., Yang, J., Liu, Y., Yang, H. & Hu, Y. (2025) Origin and evolution of the North Atlantic Oscillation. *Nature Communications* 16 2142. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57395-4>
- Sumata H., Granskog, M. A. & Duarte, P. (2026) A suite of coupled ocean-sea ice simulations examining the effect of regime shift in sea-ice thickness distribution on ice-ocean interaction in the Arctic Ocean. *Geoscientific Model Development* 19(2) 647–659. <https://doi.org/10.5194/gmd-19-647-2026>
- Suomi, J. & Käyhkö, J. (2012) The impact on environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland. *International Journal of Climatology* 32(3) 451-463. <https://doi.org/10.1002/joc.2277>

- Suomi, J. (2014) Characteristics of urban heat island (UHI) in a high latitude coastal city – a case study of Turku, SW Finland. Väitöskirja. Turun yliopisto, maantieteen ja geologian laitos. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-29-5912-9>
- Suomi, J., Väättäin, K. & Käyhkö, J. (2025a) *Characteristics of spatio-temporal temperature variability in relation to population and various environmental parameters – A case study of Turku, SW Finland*. Turun yliopisto, Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksen julkaisuja No. 26. <https://sites.utu.fi/utugeo/wp-content/uploads/sites/1223/2025/12/Characteristics-of-spatio-temporal-temperature-variability-in-relation-to-population-and-various-environmental-parameters-A-case-study-of-Turku-SW-Finland.pdf>
- Suomi, J., Väättäin, K. & Käyhkö, J. (2025b) *Interaction of weather, air quality and urban heat island in the city of Turku, SW Finland – A case study of 2021 and 2023*. Turun yliopisto, Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksen julkaisuja No. 25. <https://sites.utu.fi/utugeo/wp-content/uploads/sites/1223/2025/12/Interaction-of-weather-air-quality-and-urban-heat-island-in-the-city-of-Turku-SW-Finland-a-case-study-of-2021-and-2023.pdf>
- Suomi, J., Väättäin, K. & Käyhkö, J. (2025c) *Seasonal and diurnal characteristics of spatial temperature variability in Turku, Sw Finland – A case study of 2021*. Turun yliopisto, Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksen julkaisuja No. 24. <https://sites.utu.fi/utugeo/wp-content/uploads/sites/1223/2025/12/Seasonal-and-diurnal-characteristics-of-spatial-temperature-variability-in-Turku-SW-Finland-A-Case-Study-of-2021.pdf>
- Syke (2026) Corine maanpeite 2018. Suomen ympäristökeskus (Syke). 15.2.2026 <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/corine-maanpeite-2018>
- Sykes, A. O. (1993) An Introduction to Regression Analysis. University of Chicago Law School, Coase-Sandor Institute for Law & Economics Working Paper No. 20. https://chicagounbound.uchicago.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1050&context=law_and_economics
- TURCLIM (2025) Turku Urban Climate Research Group (TURCLIM). University of Turku, 29.12.2025. <https://sites.utu.fi/turclim/>
- Turun kaupunki (2026) Ilmastonmuutoksen riskikortit. 25.1.2026. <https://www.turku.fi/ilmasto-ja-luontokaupunki/perehdy-ilmastonmuutoksen-riskeihin>

- Walter, K. & Graf, H. F. (2002) On the changing nature of the regional connection between the North Atlantic Oscillation and sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 107 D17. <https://doi.org/10.1029%2F2001JD000850>
- Wei, Y., Lemoy, R. & Caruso, G. (2024) The effect of population size on urban heat island and NO₂ air pollution: review and meta-analysis. *City and Environment Interactions* 24 100161. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100161>
- Yoshino, M. (2005) Local Climatology. Teoksessa Oliver, J. E. (toim.) *Encyclopedia of World Climatology*, 460–467. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_128
- Xie, Q., Ren, L. & Yang, C. (2023) Regulation of water bodies to urban thermal environment: Evidence from Wuhan, China. *Urban Ecology* 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.983567>
- Zhao, L., Fan, X. & Hong, T. (2025) Urban heat island effect: remote sensing monitoring and assessment – methods, applications and future directions. *Atmosphere* 16(7) 791. <https://doi.org/10.3390/atmos16070791>
- Zheng, Z., Fong, C. S., Aghamohammadi, N. & Law, Y. K. (2026) A systematic review of urban heat island (UHI) impacts and mitigation: health, equity and policy. *Systems* 14(1) 82. <https://doi.org/10.3390/systems14010082>
- Zhou, B., Rybski, D. & Kropp, J. P. (2017) The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports* 7 4791. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>