

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias (12 EAP)

Põhja-Atlandi ostsillatsiooni mõju Eesti ilmastiku kõikumistele

Holger Virro

Juhendaja: prof. Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2016

Põhja-Atlandi ostsillatsiooni mõju Eesti ilmastiku kõikumistele

Infoleht

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida Põhja-Atlandi ostsillatsiooni (NAO) mõju Eesti ilmastiku kõikumistele. Esimeseks ülesandeks oli selgitada välja NAO numbriliseks väljendamiseks kasutatavate erinevate NAO indeksite vahelised seosed, milleks rakendati korrelatsiooni- ja trendianalüüsi. Indeksite trendide analüüs perioodil 1900–2015 näitas, et kui 20. sajandi esimeses pooles iseloomustas kõiki indekseid negatiivne faas, siis alates 1970. aastatest on valdavaks olnud tugev positiivne faas. Teiste indeksitega andsid parimaid korrelatsioone tsonaalne indeks NAOZ ja peakomponentanalüüsi (PCA) kaudu tuletatud NAOPC. Kõik korrelatsioonid olid tugevamad talvekuudel, kui NAO mõju selgemalt avaldub. Teiseks ülesandeks oli NAO indeksite ja erinevate Eesti ilmastikunäitajate vaheliste seoste uurimine, milleks kasutati korrelatsiooni-, trendi- ja regressioonianalüüsi. Korrelatsioonide territoriaalseid erinevusi esitati isopleetiliste kaartidega. Ilmastikunäitajatena kasutati töös Riigi Ilmateenistuse keskmise, maksimaalse ja minimaalse temperatuuri, sademete, suhtelise õhuniiskuse ja päikesepaiste kestuse andmeid. Tugevaimad seosed esinesid jällegi talvel ja kõige tugevamini korreleerus ilmastikunäitajatega NAOZ. Kõige tugevamad seosed esinesid keskmise temperatuuri ja nõrgimad päikesepaiste kestuse puhul.

Märksõnad: Põhja-Atlandi ostsillatsioon, NAO indeks, atmosfääri tsirkulatsioon, Eesti ilmastik, aastatevaheline kõikumine

CERCS: P510

The Impact of the North Atlantic Oscillation on Estonian Weather Variability

Abstract

The aim of this thesis was to study the impact of the North Atlantic Oscillation (NAO) on Estonian weather variability. The first task was to identify connections between the different NAO indices used to numerically express the NAO using correlation and trend analysis. Analysis of the interannual variability of the indices during the period 1900–2015 showed that, while the first half of the 20th century was characterized by a negative phase in all indices, a strong positive phase has been predominant since the 1970s. Other indices gave the best correlations with the zonal NAOZ and the PC-based NAOPC. All correlations were stronger during the winter months when the impact of the NAO is more pronounced. The second task was to identify connections between the NAO indices and the different climate parameters in Estonia using correlation, trend and regression analysis. Isoleth maps were used to illustrate spatial variations in the correlations. The data set included mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, precipitation, relative humidity, and sunshine duration data, provided by the Estonian Weather Service. The strongest correlations again occurred in the winter, with the climate parameters best correlating with NAOZ. The indices gave the best correlations with mean temperature and the weakest with sunshine duration.

Key words: North Atlantic Oscillation, NAO index, atmospheric circulation, Estonian weather, interannual variability

CERCS: P510

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
1.1. Eesti kliima	4
1.2. Põhja-Atlandi ostsillatsioon.....	5
1.3. Töö eesmärk	7
2. Andmed	8
2.1. NAO indeksid	8
2.1.1. Jaamapõhised indeksid	8
2.1.2. Tsonaalne indeks	9
2.1.3. Peakomponentanalüüsi tulemusena leitud indeksid	10
2.2. Ilmaandmed	10
3. Metoodika.....	13
4. Tulemused	14
4.1. NAO indeksite omavahelised seosed	14
4.2. NAO indeksite seosed Eesti ilmastikunäitajatega	19
4.2.1. Keskmise temperatuur.....	19
4.2.2. Maksimaalne temperatuur	21
4.2.3. Minimaalne temperatuur.....	22
4.2.4. Sademed.....	25
4.2.5. Suhteline õhuniiskus.....	27
4.2.6. Päikesepaiste kestus.....	29
5. Arutelu	32
5.1. NAO indeksite omavahelised seosed	32
5.2. NAO indeksite seosed Eesti ilmastikunäitajatega	33
6. Kokkuvõte	37
Summary.....	39
Tänuavaldus.....	42
Kasutatud kirjandus	43
Kirjandusallikad.....	43
Internetiallikad.....	45

1. Sissejuhatus

1.1. Eesti kliima

Eesti paikneb Lääne-Euroopa merelise kliima ja Ida-Euroopa kontinentaalse kliima üleminekualal (Kirde, 1939; Tarand jt., 2013). Sõltuvalt valitsevast õhumassist sarnanevad kohalikud ilmad rohkem parasvöötme põhjaosa merelise või kontinentaalse kliimaga piirkondade ilmadega. Sellest tulenevalt iseloomustab Eesti ilmastikku võrdlemisi suur muutlikkus, mis aastaegade lõikes vaadelduna avaldub kõige selgemalt talvel (Tarand jt., 2013).

Eesti oludes on talv oluline aastaag, mis avaldab mõju nii inimestele kui ka loodusele. Pakaselised talveilmad suurendavad küttekulusid, raskendavad transporti ja võivad kahjustada viljapuid. Pehme talve korral jääb taimede jaoks lühikeseks talvitumisperiood, mis on oluline loodusliku rütmi säilitamise ja taastumise koha pealt. Lisaks võib talve pidada nn võtmeaastajaks ka kliima soojenemise uurimise kontekstis. 20. sajandi teises pooles on aasta keskmine õhutemperatuur Eestis sarnaselt ülejäänud Põhja-Euroopale tõusnud 1,6–2,0 °C võrra (Tarand jt., 2013). Talvekuudel on õhutemperatuur kasvanud 2–3 °C võrra (jaanuaris üle 5 °C), mis mõjutab tugevalt talviseid kliimanäitajaid. Näiteks lumikatte kestus, mis on tugevas korrelatsioonis õhutemperatuuriga (Tooming, 2003), on soojenemise tagajärjel tunduvalt vähenenud (Jaagus, 1999; 2006). Samuti on soojenemine mõjutanud kliimaatiliste aastaegade pikkust. Näiteks on kevade algus nihkunud ligikaudu 15 päeva võrra varasemaks (Tarand jt., 2013).

Peamiseks kliimat kujundavaks teguriks on Eestis ja mujal Põhja-Euroopas päikesekiirguse kõrval atmosfääri tsirkulatsioon ehk suureskaalaline õhuringlus (BACC, 2008; 2015; Tarand jt., 2013). Kõige olulisema tsirkulatsioonilise kliimategurina mõjutab Eesti ilmastikku Atlandi ookeani põhjaosa kohalt Euroopa suunas kulgev läänevool, mis kujutab endast püsivat läänetuulte süsteemi. Tuuled tekivad õhurõhu territoriaalsete erinevuste – õhurõhu gradiendi – olemasolul. Püsivate tuulte tekkeks on vaja püsivaid kõrg- ja madalrõhualasid ehk maksimume ja miinimume (Tomingas, Jaagus, 1999). Põhja-Atlandi puhul on nendeks Assoori saarte kohal paiknev Assoori maksimum ja Islandi saare kohal asuv Islandi miinimum, mille õhurõhu erinevused põhjustavad Euroopa-suunalise läänevoolu. Sellest tulenevalt puhuvadki Eestis enamasti läänekaartetuuled (BACC, 2008; 2015).

Õhu liikumist mõjutab ka tsükloonaalne tegevus – tsüklonite ja antitsüklonite teke, areng, edasikandumine ja hääbumine. Need on suuremõõtmelised õhukeerised, mis häirivad ühtlast läänevoolu ja põhjustavad tuult ka teistest ilmakaartest. Põhja-Atlandi piirkonnas tekkivad tsüklonid kanduvad sageli üldises läänevoolus läänest itta. Seetõttu kujundavad Eesti ilma peamiselt madalrõhkkonnad (BACC, 2008; 2015; Tarand jt., 2013).

1.2. Põhja-Atlandi ostsillatsioon

Läänevoolu intensiivsuse määrab ära Assoori maksimumi ja Islandi miinimumi vahelise õhurõhu gradiendi suurus: mida suurem gradient, seda tugevam on läänevool (Hurrell, 1995; Hurrell et al., 2003; BACC, 2015). Selle õhurõhu gradiendi meridionaalseid kõikumisi tuntakse Põhja-Atlandi ostsillatsioonina (NAO). Gradiendi kõikumised Põhja-Atlandi kohal on vastassuunalised. Keskmisest kõrgema rõhu korral Assoori maksimumis on Islandi miinimumis õhurõhk madalam (NAO positiivne faas), mis põhjustab tugevat läänevoolu. Sellisel juhul kandub ookeanilt Euroopa kohale soe niiske õhk, mis toob endaga kaasa ebapüsivad ja pehmed ilmad talvel. Tavapärasest madalama rõhuga Assoori maksimumis seevastu kaasneb keskmisest kõrgem rõhk Islandi miinimumis (NAO negatiivne faas) ja nõrk läänevool, mille tagajärjeks on püsiv ja külm talveilm mõjupiirkonnas (Hurrell, 1995; Hurrell et al., 2003).

Kuigi NAO esineb aastaringselt, avaldub see kõige selgemalt just talvel (Hurrell et al., 2003; BACC, 2008; 2015). Seda loetakse üheks vanimaks teadaolevalt kirjeldatud ilmamustriks. NAO mõju ilmastiku kõikumistele on laialdaselt uuritud. Arvutuste kohaselt on NAO põhjustanud 31% 20. sajandi teise poole aastatevahelistest temperatuuri kõikumistest põhjapoolkeral (Hurrell, 1996). Leitud on seosed NAO ja Põhja-Atlandil moodustuvate tormide liikumisteede vahel. Tugeva läänevoolu korral on täheldatud tormide liikumisteede nihkumist Kesk-Atlandilt kirdesse (Rogers, 1997), mis omakorda põhjustab muutusi Euroopa sademete jaotuses. Sellisel juhul on Põhja-Euroopa talvel keskmisest sajusem ja Vahemere piirkond tavapärasest kuivem (Hurrell, 1995; Hurrell, van Loon, 1997). NAO negatiivse faasi korral on sademete jaotus jällegi vastupidine. Lisaks on seoses NAO faasidega tuvastatud muutusi merejää ulatuses, ookeani soolsuses ja mereökosüsteemide toimimises (Marshall et al., 2001; Hurrell et al., 2003).

Alates 20. sajandi keskpaigast on domineerivaks olnud NAO positiivne faas, mis saavutas maksimumi 1980. aastate lõpus ning 1990. aastate alguses (Jones et al., 1997; Hurrell et al., 2003). Positiivse faasi domineerimine on mõjutanud ilmastikutingimusi Põhja-

Euroopas, sealhulgas Läänemere piirkonnas. Täheldatud on NAOst tingitud tsüklonaalse tsirkulatsiooni (madalrõhkkondade) esinemissageduse suurenemist viimastel kümnenditel (Sepp, 2009), mis on toonud mõjupiirkonnas kaasa senisest soojemad ja vihasemad talved. Positiivse faasiga on seletatud ka merejää ulatuse ja aastaegade vaheliste temperatuurierinevuste vähenemist. Seetõttu peetakse NAOd üheks kliimamuutuste põhjustajaks Läänemere piirkonnas (BACC, 2008; 2015).

NAO käitumine viimastel kümnenditel korreleerub suurel määral samal perioodil Eestis aset leidnud ilmastikumuutustega (Jaagus, 1999; 2006; Tarand jt., 2013). Peatükis 1.1 kirjeldatud keskmise temperatuuri tõusu viimase 50 aasta lõikes on põhjalikult uuritud. Tuulevektori pikaajaliste muutuste analüüs on tuvastanud samal perioodil õhuvoolu tugevnemise läänest veebruaris ja lõunast märtsis, millel on seos soojenemisega antud kuudel (Keevallik, Rajasalu, 2001). Enamikus Eesti ilmajaamades on viimase poole sajandi jooksul täheldatud ka sademete hulga suurenemist (nt jaanuaris keskmiselt 20–30 mm), mida saab seostada NAO positiivse faasi sagenemisega (Jaagus, 2006; Tarand jt., 2013). Mõlema näitaja puhul on suurimad muutused toimunud just talvekuudel, kui NAO mõju ilmale on tugevam. Seega võib NAOd pidada oluliseks ilma kujundavaks teguriks ka Eesti oludes.

NAO mõju Eesti ilmastikule on olnud mitmete kohalike autorite uurimisobjektiks. Sarnaselt ülejäänud Põhja-Euroopale on seosed tugevamad külmal poolaastal. Kõige rohkem mõjutab NAO õhutemperatuuri, mis on NAO positiivses faasis tunduvalt kõrgem (Russak, 1999; Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003; 2006; Tarand jt., 2013). Positiivne korrelatsioon on leitud ka NAO positiivse faasi ja sademete hulga vahel (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003; 2007; Jaagus et al., 2010). Lumikatte kestuse ja Läänemere jäätumise ulatuse ning positiivse NAO vahel on seevastu selgelt negatiivne korrelatsioon (Jaagus, 2006). Lisaks on positiivse faasi korral õhurõhk keskmisest madalam ning päikesepaiste kestus väiksem. Kõik korrelatsioonid on üldiselt olnud tugevamad rannikupiirkondades (Jaagus, 2003; 2006; Tomingas, 2003), kus on leitud ka seos positiivse NAO ja keskmisest kõrgema meretaseme vahel (Jaagus, Suursaar, 2007).

Soojal poolaastal on korrelatsioonid olnud tulenevalt NAO vähendatud mõjust nõrgemad. NAO positiivse faasiga kaasnevad sarnaselt talvele kõrgemad õhutemperatuurid (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2006), kuid teiste näitajate poolest soe ja külm periood erinevad. Suvel kaasneb positiivse faasiga väiksem sademete hulk, kõrgem õhurõhk ja

suurem päikesepaiste kestus, mis näitavad erinevalt talvest antitsükloonaalse ilma (kõrgrõhkkondade) domineerimist Eestis tugeva läänevoolu olukorras (Tomingas, Jaagus, 1999).

1.3. Töö eesmärk

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Põhja-Atlandi ostsillatsiooni mõju Eesti ilmastiku kõikumistele. Töö viidi läbi kahes osas. Esimeseks ülesandeks oli selgitada välja NAO numbriliseks väljendamiseks kasutatavate erinevate NAO indeksite vaheliste seoste tugevused ja uurida nende muutumist ajas. Teiseks ülesandeks oli uurida indeksite seoseid Eesti peamiste ilmastikunäitajate kõikumistega ja antud seoste sõltuvust aastaajast.

2. Andmed

2.1. NAO indeksid

Põhja-Atlandi ostsillatsiooni numbriliseks väljendamiseks kasutatakse enamasti NAO indeksit, mis kujutab endast Assoori maksimumi ja Islandi miinimumi standardiseeritud õhurõhkude vahet (Hurrell, 1995; 1996; Jones et al., 1997; Rogers, 1984). Standardiseerimise käigus lahutatakse antud aasta väärtustest keskmine, mille järel jagatakse leitud vahe standardhälbe. Tulemuseks saadud standardhälbe ühikutes andmed näitavad, mitme standardhälbe võrra erinesid antud aasta väärtused keskmisest. Positiivsed indeksi väärtused iseloomustavad NAO positiivset faasi ehk suurt õhurõhkude erinevust ja tugevat läänevoolu ning negatiivsed väärtused NAO negatiivset faasi ehk väikest erinevust ja nõrka läänevoolu. NAO indeksit on aegade jooksul määratletud erinevalt. Seetõttu võivad ka indeksite väärtused üksteisest üsna oluliselt erineda, mis väljendub tavaliselt nõrgas andmetevahelises korrelatsioonis (Tomingas, Jaagus, 1999). Käesolevas töös kasutati viie erineva NAO indeksi andmestikku.

2.1.1. Jaamapõhised indeksid

Jaamapõhiste NAO indeksite arvutamiseks kasutatakse õhurõhuandmeid, mis pärinevad Islandi miinimumi ja Assoori maksimumi rõhutsentrite läheduses asuvatest ilmajaamadest (Hurrell, 1995; Jones et al., 1997). Põhjapoolne jaam asub üldjuhul Islandil. Enamasti võetakse põhjapoolse jaama andmeteks Stykkishólmuri ja Reykjavíki ilmajaamade andmetel põhinev ühine aegrida (Hurrell, 1995; Jones et al., 1997; Cropper et al., 2015), kuid on kasutatud ka Akureyri ilmajaama saare põhjarannikul (Rogers, 1984).

Võimalikke lõunapoolseid jaamasid on rohkem. Esimese indeksi (NAOL) puhul on Assoori maksimumi õhurõhu kirjeldamiseks kasutatud Lissaboni ilmajaama andmeid (Hurrell, 1995), mis ulatuvad 1865. aastasse. Teise indeksina on töös kasutatud Gibraltari (NAOG) ilmajaama andmetel põhinevat NAO indeksit (Jones et al., 1997), mille aegrida ulatub 1821. aastasse. Kolmanda jaamapõhise indeksina levinud (Rogers, 1984; Hurrell, 1996) ja Assooridel asuva Ponta Delgada andmetel põhinev NAOPD jäeti käesolevast tööst välja, kuna selle aegrida ei ole 2005. aastast alates pikendatud. Aegread on kättesaadavad järgmistel aadressidel:

https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/nao_station_monthly.txt (NAOL);

<https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm> (NAOG).

Eesti autorid on oma töödes kasutanud mõlemat indeksit. Tugevamad seosed kohaliku ilmastiku ja NAO vahel on sõltumata kasutatud indeksist esinenud talvel (Russak, 1999; Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003; 2006; 2007; Jaagus, Suursaar, 2007; Jaagus et al., 2010; Sepp, 2007). Kui NAOG puhul on positiivne korrelatsioon indeksi väärtuse ja õhutemperatuuri vahel tugevaim veebruaris-märtsis (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003), siis NAOLi korral tõuseb esile ka jaanuar (Russak, 1999). Soojal poolaastal NAOG ja Eesti ilmastiku vaheline seos peaaegu puudub, kuid see-eest on talveperioodil korrelatsioon indeksi väärtuste ja temperatuuri vahel teistest tugevam (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2006). NAOG korreleerub ülejäänutest selgemalt ka talviste sademetega (Jaagus, 2003; 2006; Jaagus et al., 2010). Jaamapõhiste indeksite ning lumikatte kestuse ja merejää ulatuse vahel esineb tugev negatiivne korrelatsioon (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2006).

2.1.2. Tsonaalne indeks

Jaamapõhiste indeksite arvutamiseks kasutatavad ilmajaamad on statsionaarsed, mistõttu ei pruugi need alati tabada aasta jooksul Atlandi ookeani kohal ringi liikuvaid rõhutsentreid. Samuti võivad jaamade andmetes esineda kõrvalekalded, mis on põhjustatud NAOst sõltumatutest teguritest. Kirjeldatud puudujääkide kõrvaldamiseks pakkusid Li ja Wang (2003) välja nn tsonaalselt keskmistatud indeksi (NAOZ), mida on käesolevas töös kasutatud kolmanda indeksina.

NAOZi on defineeritud Põhja-Atlandi sektori (20° – 90° N, 80° W– 30° E) tsonaalselt keskmistatud standardiseeritud õhurõhkude vahena. Lõunatsioon (35° N, 80° W– 30° E) esindab NAOZi puhul kõrgema rõhuga ala ehk Assoori maksimumi ja põhjatsioon (65° N, 80° W– 30° E) madalama rõhuga ala ehk Islandi miinimumi. Indeksi väärtus saadakse järgmiselt:

$$NAOLW = \hat{P}_{35^{\circ}N} - \hat{P}_{65^{\circ}N},$$

kus $\hat{P}_{35^{\circ}N}$ on lõunapoolse tsooni ja $\hat{P}_{65^{\circ}N}$ põhjapoolse tsooni keskmine normaliseeritud õhurõhk (Li, Wang, 2003).

NAOZ näitas uurimuse tulemusena jaamapõhistest indeksitest kõrgemat signaali-müra suhet (Li, Wang, 2003). See tähendab, et indeksit mõjutavad kõrvalised tegurid teistest vähem. Lisaks leidsid autorid, et indeks aitab paremini tabada rõhutsentreid. Samuti ilmnes

NAOZi ja Põhja-Euroopa talvede vahel tugev positiivne korrelatsioon. NAOZi andmestikus on toodud indeksi väärtused aastatest 1873–2012. Aegrida on leitav:

<http://ljp.gcess.cn/dct/page/65574> (NAOZ).

2.1.3. Peakomponentanalüüsi tulemusena leitud indeksid

Neljanda ja viienda indeksina on töös kasutatud kaugseose (ingl *teleconnections*) indekseid, mis on tuletatud peakomponentanalüüsi (PCA) abil. PCA võimaldab leida paljude muutujate hulgast peamised muutujad ehk peakomponendid, mis kirjeldavad andmestiku varieeruvuse põhiosa (Jaagus, 2007). Barnston ja Livezey (1987) rakendasid meetodit õhurõhu kõikumiste muustrite leidmiseks põhjapoolkeral (20° – 90° N). 700 hPa geopotentsiaali kõrgusandmete peakomponentanalüüsi tulemusena tuvastati kümme erinevat igakuist rõhuvälja mustrit, mille hulgast eristus selgelt ka NAO (Barnston, Livezey, 1987). Autorite tuletatud indeks on käesolevas töös toodud NAOT nime all.

Sarnaselt on leitud ka teine töös kasutatud PCA-põhine indeks (NAOPC), mille tuletasid Hurrell et al. (2003) Põhja-Atlandi sektori (20° – 70° N, 90° W– 40° E) 500 hPa geopotentsiaali kõrgusandmete PCA kaudu. Mõlemad indeksid olid jaamapõhistest indeksitest kõrgema signaali-müra suhtega ja arvestasid täpsemalt NAO ruumilist varieeruvust aasta jooksul (Barnston, Livezey, 1987; Hurrell et al., 2003), mis tuleneb Assoori maksimumi ja Islandi miinimumi rõhutsentrite asukoha muutumisest. Kaugseose indeksite puuduseks on lühemad aegread. NAOPC aegrida ulatub 1899. aastasse ja NAOT 1950. aastasse. Aegread on kättesaadavad järgmistel aadressidel:

https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/nao_pc_monthly.txt (NAOPC);

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table> (NAOT).

NAOT on varasemalt Eesti oludes hästi kirjeldanud muutusi atmosfääri tsirkulatsioonis (Jaagus, 2003; 2006). Tugevaim seos indeksi ja õhutemperatuuri vahel esines jällegi talvekuudel, kuid erinevalt teistest indeksitest näitas NAOT seost ka aasta keskmise ning suvise temperatuuri puhul. Sademete korralgi esines tugevam korrelatsioon talvel. Suviste sademetega näitas NAOT jaamapõhistest indeksitest mõnevõrra tugevamat negatiivset seost (Jaagus, 2003; 2006; Jaagus et al., 2010).

2.2. Ilmaandmed

Ilmaandmetena on töös kasutatud Eesti ilmajaamade kuu keskmise, maksimaalse ja minimaalse õhutemperatuuri, sademete, suhtelise õhuniiskuse ning päikesepaiste kestuse

mõõteandmeid. Käesoleva töö autor sai andmed juhendajalt. Andmete algallikaks on Riigi Ilmateenistus.

Kokku on töös kasutatud 22 ilmajaama andmeid (jaamade paiknemist vt jooniselt 1). Sõltuvalt ilmastikunäitajast kasutatavate jaamade arv erines, kuna kõigis ilmajaamades kõiki näitajaid ei mõõdeta (tabel 1). Mõõdetavate andmete poolest olid universaalseteks jaamadeks Ristna, Tartu, Vilsandi ja Võru. Keskmise temperatuuri ja sademete andmeid ei olnud vaid Tooma kohta, seevastu oli Tooma üheks seitsmest jaamast, kus oli mõõdetud päikesepaiste kestust. Suhtelise õhuniiskuse andmed puudusid kahe jaama puhul. Maksimaalse ja minimaalse temperatuuri andmeid sai kasutada 15 jaama kohta.

Aegridade pikkus sõltus nii ilmajaamast kui näitajast. Aegread algasid vahemikus 1950–1964. Nigula puhul algasid kõik aegread 1964. aastast, kui jaam avati. Maksimaalse ja minimaalse temperatuuri ning sademete aegread ulatusid 2015. aastani, seevastu eelmise aasta keskmise temperatuuri andmed puudusid kümnes jaamas. Suhtelise õhuniiskuse aegread lõppesid 2013. aastaga ja päikesepaiste kestuse aegrida ulatus 2015. aastasse välja vaid Tartu jaamas.



Joonis 1. Töös kasutatud ilmajaamade asukohad.

Tabel 1. Töös kasutatud ilmajaamade aegridade pikkused sõltuvalt ilmastikunäitajast.

Jaam	Keskmine õhutemperatuur	Maksimaalne õhutemperatuur	Minimaalne õhutemperatuur	Sademed	Suhteline õhuniiskus	Päikesepaiste kestus
Jõgeva	1950–2014	1951–2015	1951–2015	1950–2015	–	–
Jõhvi	1953–2014	–	–	1958–2015	1964–2013	–
Kihnu	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1964–2013	–
Kunda	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Kuusiku	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Narva	1950–2014	–	–	1950–2015	1950–2013	–
Nigula	1964–2014	–	–	1964–2015	1964–2013	–
Pakri	1950–2014	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Pärnu	1950–2014	–	–	1950–2015	1950–2013	1950–2010
Ristna	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	1950–2002
Sõrve	1950–2014	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Tallinn	1950–2015	–	–	1950–2015	1950–2013	1950–2010
Tartu	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	1951–2015
Tiirikoja	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Tooma	–	–	–	–	–	1950–2003
Türi	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Valga	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Viljandi	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Vilsandi	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	1959–2014
Virtsu	1950–2014	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	–
Võru	1950–2015	1951–2015	1951–2015	1950–2015	1950–2013	1950–2010
Väike-Maarja	1961–2014	–	–	1962–2015	1964–2013	–

3. Metoodika

Kõigepealt uuriti korrelatsioonianalüüsi abil erinevate töös kasutatud NAO indeksite omavahelisi seoseid. Selleks leiti Microsoft Excelis iga indeksi jaoks korrelatsioonikordajad kõigi teiste indeksite suhtes. Kordajad leiti eraldi kõigi kuude, kogu aasta, kevade (märts–mai), suve (juuni–august), sügise (september–november) ja talve (detsember–veebruar) kohta. Eraldi vaadeldi 1950. aastale eelnenud ja järgnenud perioodi, et tuvastada võimalikke muutusi seoste tugevuses, mis võivad olla põhjustatud muutustest atmosfääri tsirkulatsioonis. Analüüsi käigus kujunesid välja maatrikstabelid (veergudes vaadeldav indeks, ridades võrreldavad indeksid), mida kasutati ka tulemuste esitamiseks. Indeksite varieeruvust ajas uuriti ka trendianalüüsi kaudu. Indeksite väärtuste ja korrelatsioonide tugevuse muutumist ajas kujutati joon- ja tulpdiaagrammidega.

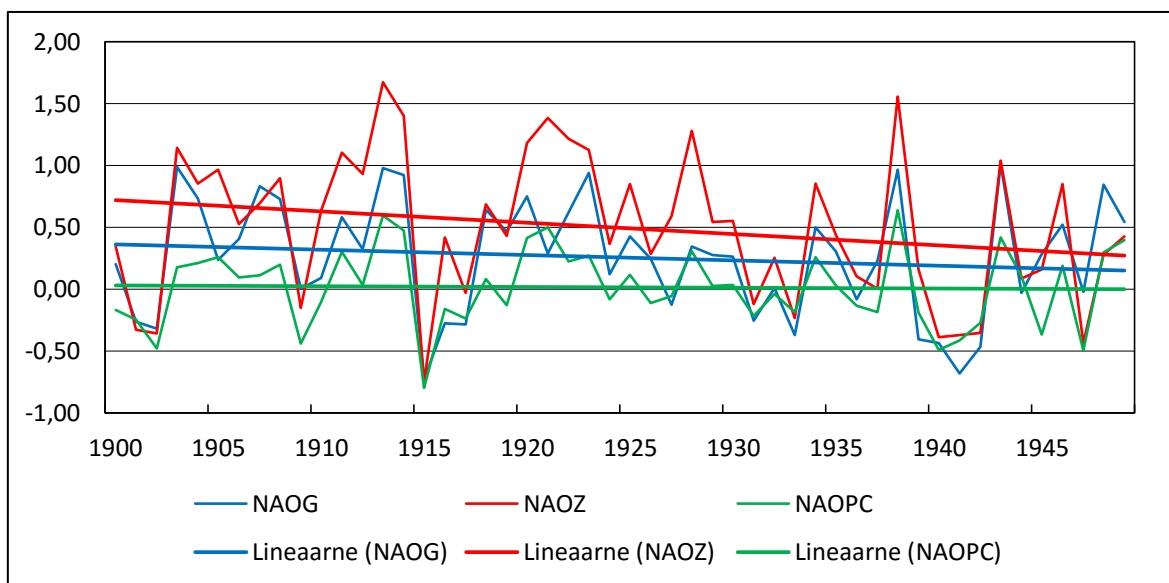
NAO indeksite ja erinevate ilmastikunäitajate vaheliste seoste leidmiseks rakendati lisaks eelpool kirjeldatud korrelatsiooni- ja trendianalüüsile ka regressioonianalüüsi, mille esitamisel kasutati regressioonisirge graafikuid. Indeksite ja ilmaandmete vaheliste korrelatsioonide muutumist ajas kujutati jällegi joon- ja tulpdiaagrammidega. Tulenevalt aegridade pikkusest (üle 60 aasta) loeti statistiliselt olulise korrelatsioonikordaja alumiseks piiriks positiivse seose korral 0,25 ja negatiivse seose (päikesepaiste kestus) korral $-0,25$ (ülemine piir). Korrelatsioonide territoriaalsete erinevuste väljatoomiseks kasutati Surferi programmis loodud isopleetilisi kaarte. Kaardid saadi krigingu interpoleerimismeetodit kasutades, mis annab väikeste andmehulkade korral parimaid tulemusi.

4. Tulemused

Töö tulemused on järgnevalt toodud kahes osas. Peatükk 4.1 käsitleb NAO indeksite vahelisi seoseid, tuues välja töös kasutatud indeksite varieeruvuse vaadeldud perioodil ja indeksite omavahelised korrelatsioonid. Peatükis 4.2 on toodud NAO indeksite korrelatsioonid Eesti keskmise (ptk 4.2.1), maksimaalse (ptk 4.2.2) ning minimaalse temperatuuri (ptk 4.2.3), sademete (ptk 4.2.4), suhtelise õhuniiskuse (ptk 4.2.5) ja päikesepaiste kestusega (ptk 4.2.6).

4.1. NAO indeksite omavahelised seosed

Joonisel 2 on toodud töös kasutatud aasta keskmiste NAO indeksite varieeruvus perioodil 1900–1949 NAOG, NAOZi ja NAOPC näitel. Indekseid iseloomustas antud perioodil kerge langustrend ja suhteliselt väike kõikumine nulltelje suhtes. Teistest enam kõikus nulltelje suhtes NAOZ. NAOPC kõikumised tasakaalustasid üksteist selliselt, et trendijoon kulgeb mööda nulltelge. Maksimumina tõuseb kõigi puhul esile 1938. aasta ja miinimumina 1915. aasta. Kuni 1930. aastani domineeris positiivne faas, mis püsis perioodil 1918–1930 peaaegu katkestusteta. Aastast 1931 sai valdavaks aga juba negatiivne faas koos pikema järjestikuse negatiivse perioodiga 1930. aastate lõpust 1940. aastate alguseni.



Joonis 2. Aasta keskmiste NAO indeksite varieeruvus perioodil 1900–1949 ja nende lineaarsed trendid.

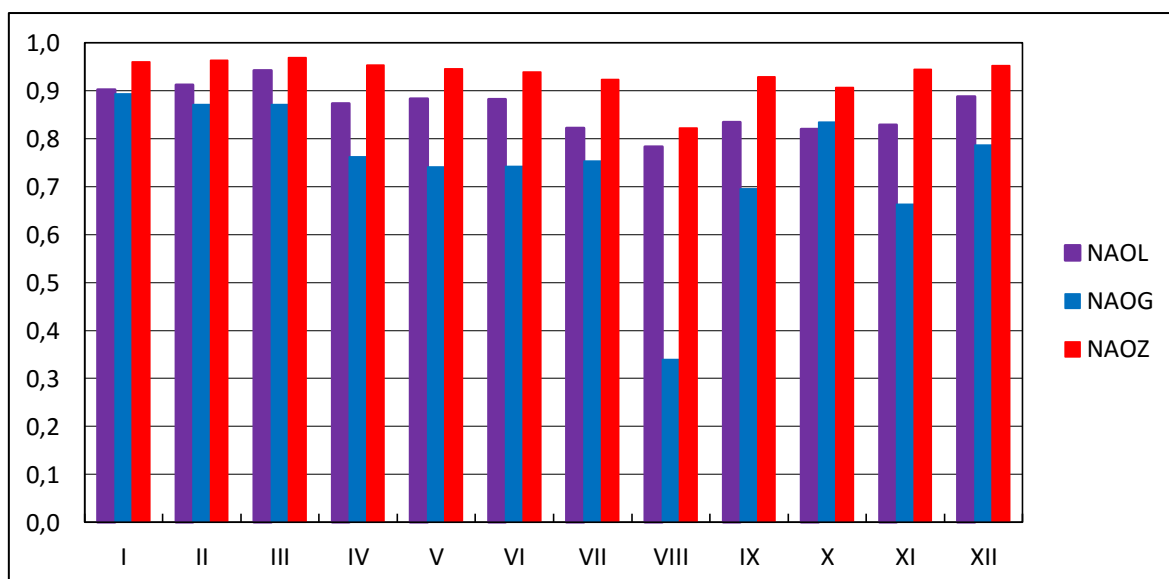
Tabelis 2 ja joonisel 3 on vastavalt NAOLi ja NAOPC näitel toodud indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes antud perioodil. Statistiliselt olulised korrelatsioonid esinesid

kõigi indeksite vahel aasta läbi. Perioodi tugevaim korrelatsioonikordaja esines NAOZi ja NAOPC vahel märtsis (0,97) ning kõige nõrgem NAOG ja NAOPC vahel augustis (0,34). NAOPC aasta keskmised seosed teiste indeksitega olid kõige tugevamad (0,83–0,91), NAOG omad kõige nõrgemad (0,75–0,83). NAOLi ja NAOZi vastavad näitajad olid 0,75–0,85 ning 0,75–0,91. NAOLi ja NAOZi tugevaimad seosed olid NAOPC-ga ning NAOG ja NAOPC omad NAOZiga. Kõige stabiilsemad kordajad esinesid kogu aasta lõikes NAOLi puhul, mille maksimaalse ja minimaalse kordaja vaheks oli 0,23 ühikut.

Kuude lõikes esinesid kolme indeksi puhul tugevaimad keskmised kordajad veebruaris (0,90–0,94) ja NAOPC-I märtsis (0,93). Väikseimad keskmised kordajad (0,49–0,73) olid indeksitel augustis, mida mõjutas tugevalt NAOG keskmisest tunduvalt nõrgem seos teiste indeksitega sellel kuul (joonis 3). Aastaaegade lõikes esinesid tugevaimad kordajad talvel, kus need jäid vahemikku 0,86–0,92. Nõrgimad keskmised kordajad olid vahemikus 0,52–0,76 suvel. Kevadel jäid need vahemikku 0,79–0,88 ja sügisel vahemikku 0,76–0,85.

Tabel 2. NAOLi korrelatsioonid teiste indeksitega kuude lõikes perioodil 1900–1949.

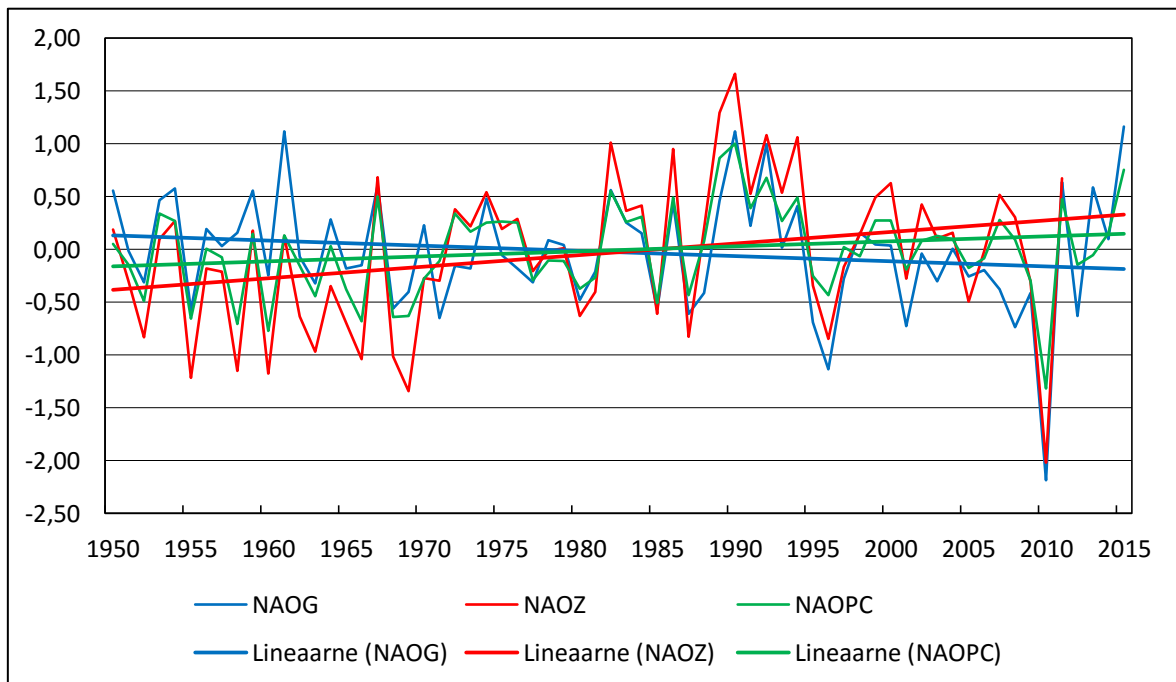
Indeks	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
NAOG	0,80	0,90	0,86	0,79	0,66	0,76	0,69	0,55	0,69	0,77	0,79	0,76	0,75
NAOZ	0,86	0,92	0,92	0,83	0,83	0,81	0,75	0,80	0,83	0,82	0,87	0,84	0,80
NAOPC	0,90	0,91	0,94	0,87	0,88	0,88	0,82	0,78	0,83	0,82	0,83	0,89	0,85



Joonis 3. NAOPC korrelatsioonid teiste indeksitega kuude lõikes perioodil 1900–1949.

Perioodil 1950–2015 on indeksid olnud valdavalt tõusutrendis (joonis 4). Erandiks on vaid langustrendiga NAOG. Indeksite varieeruvust antud ajavahemikul iseloomustab

varasemaga võrreldes tunduvalt suurem aastatevaheline kõikumine, mis tuleb hästi esile perioodil 1950–1970, kui indeksite faasid peaaegu aasta-aastalt vaheldusid. 1930. aastast alates domineerinud negatiivne faas lõppes 1970. aastate alguses. Sellele järgnenud positiivse faasi maksimum jäi 1990. aastate algusesse, kui indeksite väärtused mitmel järjestikusel aastal positiivsetena püsisid. Kuigi negatiivne faas jäi antud perioodi esimesse poole, tuleb absoluutse miinimumina esile hoopis 2010. aasta, mis oli ühtlasi kogu käsitletud perioodi (1900–2015) kõige negatiivsemate väärtustega aastaks. Viimastel aastatel on indeksid olnud positiivsed.



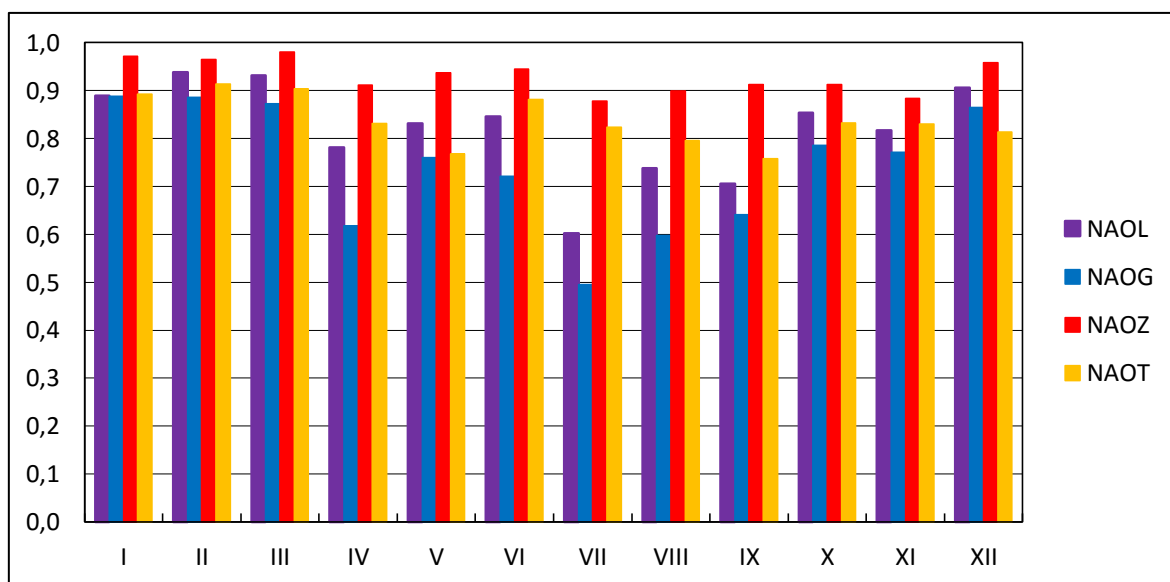
Joonis 4. Aasta keskmiste NAO indeksite varieeruvus perioodil 1950–2015 ja nende lineaarsed trendid.

Indeksite vahelised korrelatsioonid perioodil 1950–2015 on kuude lõikes näidatud NAOLi ja NAOPC näitel tabelis 3 ja joonisel 5. Sarnaselt varasemale perioodile esines tugevaim korrelatsioon NAOZi ja NAOPC vahel märtsis (0,98), nõrgim seevastu NAOG ja NAOT vahel septembris (0,33). Tugevaimad aasta keskmised korrelatsioonid teiste indeksitega olid NAOPC-l (0,73–0,97) ja NAOZil (0,70–0,97) ning kõige nõrgemad (0,68–0,78) jällegi NAOG puhul. NAOLi ja NAOT aasta keskmised kordajad olid vastavalt 0,77–0,85 ning 0,68–0,86. NAOLi, NAOG ja NAOPC korrelatsioonid olid tugevaimad NAOZiga ning NAOZi ja NAOT omad NAOPC-ga.

Tugevaimad keskmised korrelatsioonid esinesid kuude lõikes viiel indeksil veebruaris (0,88–0,94) ja NAOG puhul jaanuaris (0,87). Väikseimad korrelatsioonid (0,49–0,73) olid teistel indeksitel juulis, NAOT-I seevastu augustis (0,60). Aastaaegade lõikes esinesid tugevaimad keskmised kordajad jällegi talvel (0,89–0,94) ja nõrgimad suvel (0,52–0,78). Erandiks oli siinkohal NAOT, mille nõrgimad seosed teistega olid kevadel. NAOT puhul esines ka suurim erinevus korrelatsioonide tugevuse vahel talvel ja suvel, mis tuli kõige selgemalt välja jaamapõhiste indeksite korral: talvel oli NAOT korrelatsioon NAOLi ja NAOG-ga (0,89) üle kahe korra tugevam kui suvel (0,43). Kevadised keskmised korrelatsioonid jäid indeksitel vahemikku 0,65–0,79 ja sügisel vahemikku 0,66–0,82.

Tabel 3. NAOLi korrelatsioonid teiste indeksitega kuude lõikes perioodil 1950–2015.

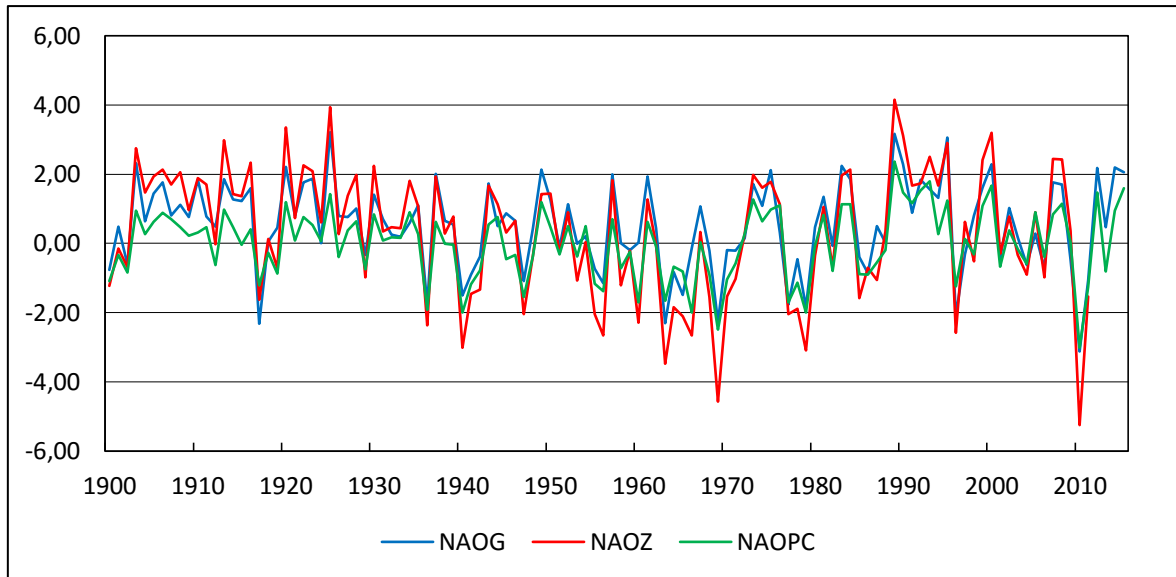
Indeks	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
NAOG	0,87	0,87	0,87	0,76	0,74	0,70	0,43	0,70	0,71	0,74	0,73	0,89	0,78
NAOZ	0,93	0,93	0,94	0,86	0,85	0,87	0,64	0,76	0,76	0,85	0,81	0,91	0,85
NAOPC	0,89	0,94	0,93	0,78	0,83	0,85	0,60	0,74	0,71	0,85	0,82	0,91	0,85
NAOT	0,90	0,92	0,88	0,67	0,67	0,71	0,38	0,45	0,46	0,72	0,70	0,85	0,77



Joonis 5. NAOPC korrelatsioonid teiste indeksitega kuude lõikes perioodil 1950–2015.

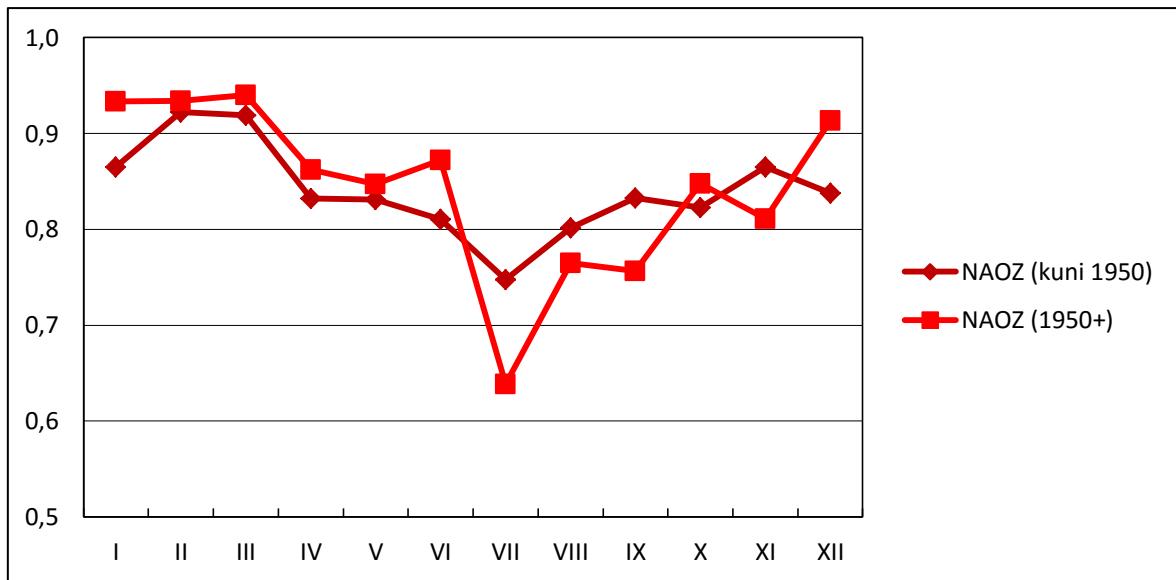
NAO mõju avaldub selgemalt talvekuudel, mistõttu tulevad indeksite aastatevahelised kõikumised kõige paremini esile just talviste indeksite aegridasid vaadeldes. Talviste NAO indeksite varieeruvust perioodil 1900–2015 (joonis 6) sama ajavahemiku aasta keskmiste indeksitega (joonised 2 ja 4) võrreldes on hästi näha talviste mõju aasta keskmistele. Talviste indeksite puhul kuni 1930. aastateni kestnud (joonis 2) ja 1970. aastatest uuesti

domineerivaks saanud (joonis 4) positiivsed faasid korreleeruvad samade perioodide aasta keskmiste positiivsete faasidega ja keskmisest madalamate väärtustega talvede (nt 1950.–1970. aastad joonisel 6) korral on ka aasta keskmised indeksid tavapärasest madalamad (joonis 4). Sellest tulenevalt tähistavad talviste indeksite maksimum 1990. aastate alguses ja miinimum 2010. aastal vastavaid ekstreemumeid ka aasta keskmiste indeksite aegreas.



Joonis 6. Talviste NAO indeksite varieeruvus perioodil 1900–2015.

Aasta keskmised korrelatsioonid on võrreldes sajandi esimese poolega perioodil 1950–2015 kasvanud NAOLi ja NAOZi puhul. NAOLil on kasv toimunud peamiselt külmal poolaastal (joonis 7) ning seosed on tugevnenud NAOPC ja NAOZi suhtes (ligikaudu 0,05 ühiku võrra). NAOZi korrelatsioonid on kasvanud kõige rohkem augustis NAOPC suhtes (0,08 ühikut). NAOPC aasta keskmised korrelatsioonid on jäänud sajandi jooksul samaks. NAOG seosed NAOLiga on küll enamikul kuudel kasvanud (keskmiselt 0,03 ühikut), kuid nõrgenemine teiste indeksite suhtes on aasta keskmist vähendanud. Talvel on korrelatsioonid peamiselt detsembri arvelt kõigi indeksite puhul kasvanud (nt NAOLi ja NAOG vahel 0,13 ühikut) ning soojal poolaastal nõrgenenud (nt NAOZi puhul kevadel 0,09 ühikut). Tugevnemised ja nõrgenemised on kuude lõikes toimunud kõigil indeksitel suhteliselt väikeses mahus, mistõttu ei ole ka aasta keskmised kahel perioodil oluliselt muutunud.



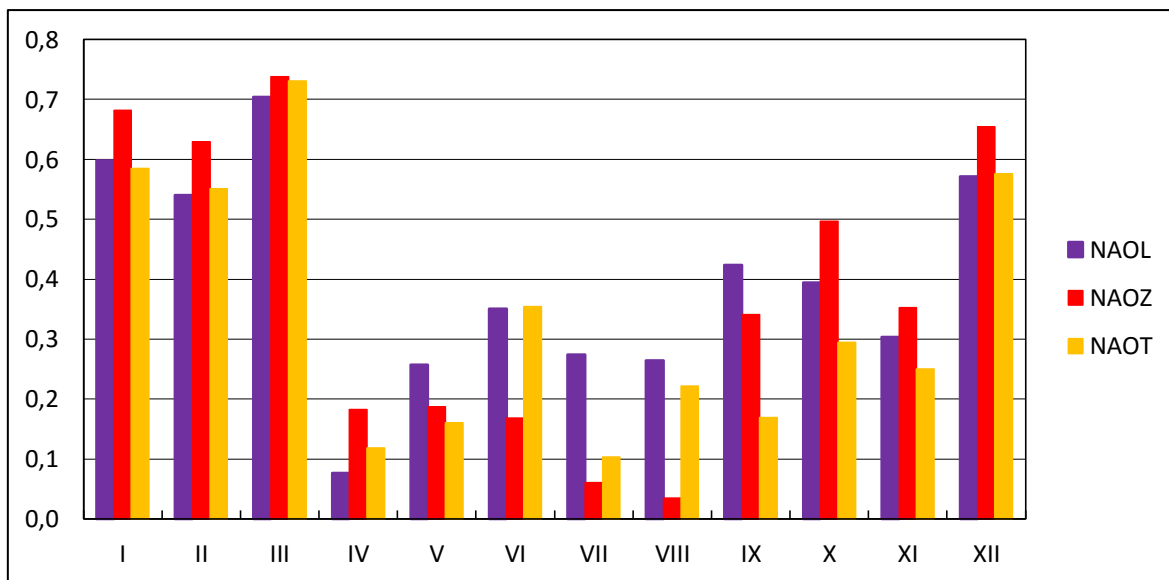
Joonis 7. NAOLi ja NAOZi vahelised korrelatsioonid perioodidel 1900–1949 ja 1950–2012 kuude lõikes.

4.2. NAO indeksite seosed Eesti ilmastikunäitajatega

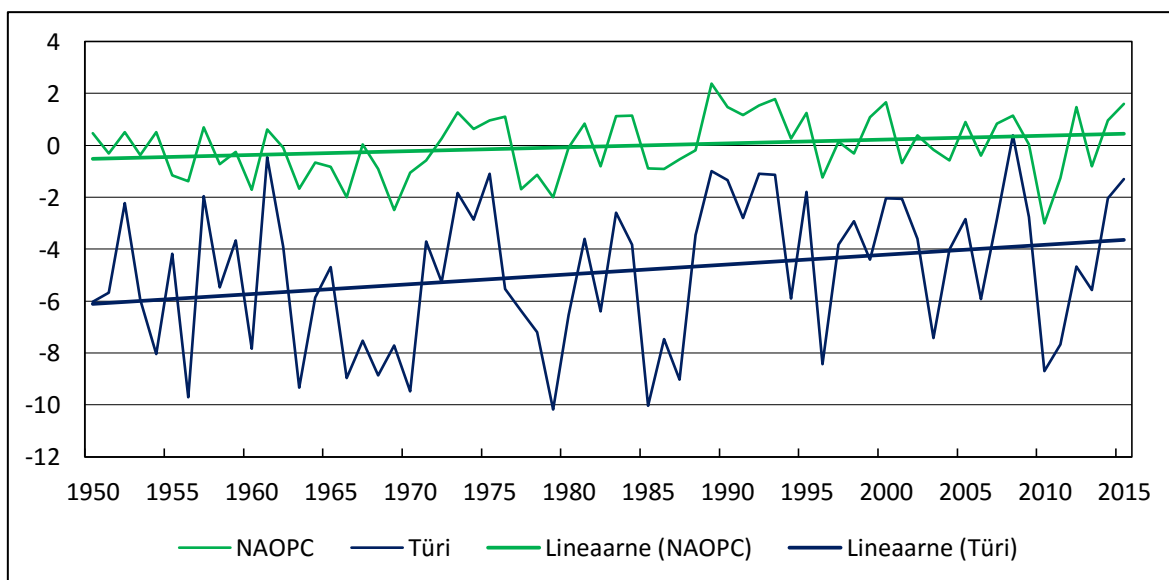
4.2.1. Keskmine temperatuur

Töös kasutatud ilmastikunäitajatest näitas NAO indeksitega tugevamaid korrelatsioone keskmine temperatuur (joonis 8). Kuude lõikes esinesid kõige tugevamad korrelatsioonid märtsis (0,43–0,76) ja nõrgimad augustis, kus maksimaalne kordaja oli 0,31 (NAOL Väike-Maarjas) ja enamikus jaamades statistiliselt olulisi seoseid ei esinenud. Statistiliselt olulised seosed esinesid vaid üksikutes jaamades ka aprillis ja mais. Aastaaegade lõikes olid selgelt tugevaimad korrelatsioonid talvel (0,63–0,80) ja nõrgimad suvel, kus olulised seosed puudusid. Kevadel (kuni 0,55) olid seosed sügisest (kuni 0,50) natuke tugevamad. Jaamadega andsid parimaid korrelatsioone NAOPC ja NAOZ, mille talvised kordajad olid vastavalt vahemikus 0,73–0,80 ja 0,74–0,78. Nõrgimad seosed esinesid NAOG puhul, mis aprillist septembrini olulisi seoseid ei näidanud. NAOL oli ainus indeks, mis näitas ka juulis nõrgalt olulisi korrelatsioone.

Joonisel 9 on Türi ja NAOPC näitel toodud talve keskmise temperatuuri ja NAO indeksi vahelised seosed perioodil 1950–2015. NAO mõju temperatuurile on näha samasuunaliste kõikumiste kaudu. Kõrgemate indeksi väärtustega aastatel on keskmine temperatuur talvel kõrgem ja madalamate väärtuste korral madalam. Samuti on antud perioodil domineerinud NAO positiivne faas avaldanud selget mõju keskmise temperatuuri tõusule (ligikaudu 2 °C) Türis, mida väljendavad näitajate korreleeruvad tõusutrendid.

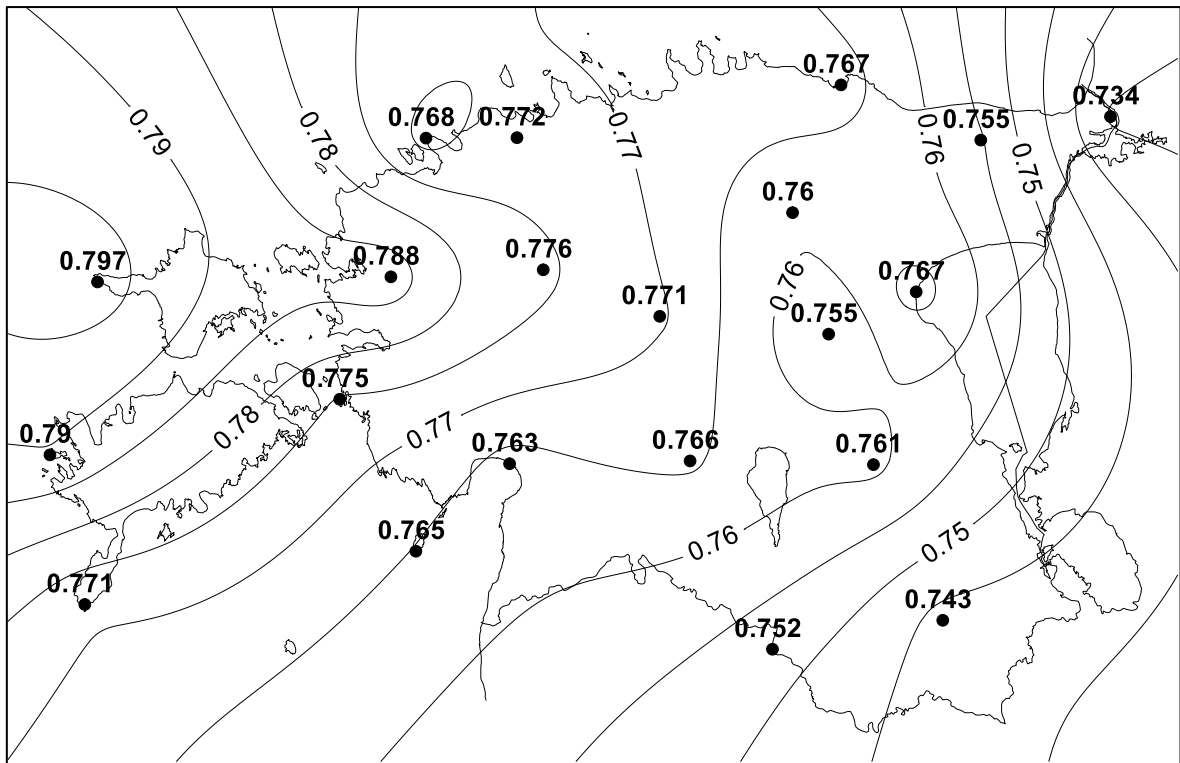


Joonis 8. Tartu keskmise temperatuuri ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1950–2015.



Joonis 9. Türi talve keskmise temperatuuri ja talvise NAOPC varieeruvus perioodil 1950–2015 ($R = 0,771$).

Indeksite ja keskmise temperatuuri vaheliste seoste puhul ilmnes selge territoriaalne jaotus. Läänepoolsed jaamad näitasid üldjuhul kõigi indeksite korral idapoolsetest tugevamaid korrelatsioone (joonis 10). Eranditeks olid siinkohal Kihnu, Pakri ja Pärnu, mis andsid võrreldes teiste läänepoolsetega veidi nõrgemaid korrelatsioone. Ristna näitas üldiselt tugevamaid ja Narva kõige nõrgemaid seoseid terve aasta jooksul. Idapoolsetes jaamades olid seosed läänerannikust tugevamad vaid juunis, kus Vilsandi, Sõrve ja Ristnaga andsid statistiliselt olulisi korrelatsioone vaid NAOL ja NAOT.



Joonis 10. Talve keskmise temperatuuri ja talvise NAOPC vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus perioodil 1950–2015.

4.2.2. Maksimaalne temperatuur

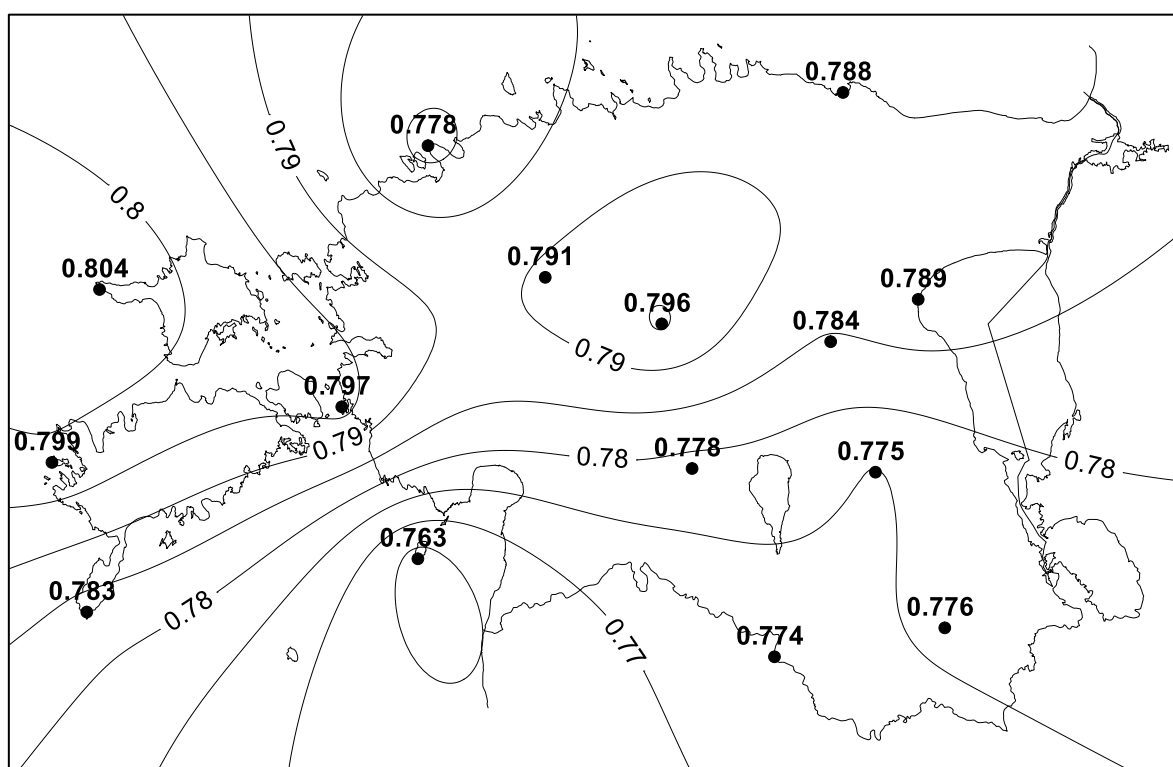
Indeksite seosed maksimaalse temperatuuriga olid üldiselt keskmise temperatuuri seostega analoogsed (tabel 4) ja talvel isegi natuke tugevamad. Tugevaimad korrelatsioonid esinesid jaanuaris (0,55–0,73) ning märtsis (0,46–0,76) ja nõrgimad augustis, kus kohati näitas nõrku statistiliselt olulisi seoseid (0,25–0,28) ainult NAOT. Jällegi esinesid tugevaimad seosed aastaegade lõikes talvel, kus sarnaselt keskmisele temperatuurile esinesid kõige tugevamad korrelatsioonid NAOPC (0,76–0,80) ja NAOZi (0,76–0,80) korral. Talvel olid NAOG korrelatsioonid (0,67–0,72) NAOLi omadest (0,64–0,72) tugevamad, seevastu oli NAOL ainsaks indeksiks, mis näitas jaamadega seoseid ka mais ja juulis. Kevadel (kuni 0,55) olid korrelatsioonid sügisest (kuni 0,46) natuke tugevamad.

Korrelatsioonide territoriaalse jaotuse osas esines võrreldes keskmise temperatuuriga mõningaid erinevusi (joonis 11). Kui sarnaselt keskmisele temperatuurile esinesid Ristnas tugevaimad korrelatsioonid ka maksimaalse temperatuuri korral, siis nõrgimad seosed olid hoopis Kihnu jaamas. Lääneranniku saartega peaaegu sama tugevad korrelatsioonid tulid esile ka Kesk-Eestis asuvate Kuusiku ja Türi ilmajaamade puhul. Selge ida-läänesuunalise territoriaalse jaotuse asemel esines pigem teatav põhja-lõunasuunalisus, mille puhul eristus naaberjaamadest nõrgemate korrelatsioonidega Pakri. Kuna jaamade vahelised erinevused

olid korrelatsioonide tugevuse osas suhteliselt minimaalsed, siis suurt gradienti kaardil ei kujunenud.

Tabel 4. Viljandi maksimaalse temperatuuri ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1951–2015. Paksus kirjas statistiliselt olulised kordajad.

Indeksid	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NAOL	0,59	0,56	0,65	0,06	0,27	0,35	0,24	0,22	0,37	0,41	0,28	0,57
NAOG	0,64	0,62	0,52	0,05	0,04	-0,05	-0,02	-0,02	0,17	0,43	0,22	0,54
NAOZ	0,70	0,65	0,67	0,10	0,18	0,15	0,06	-0,01	0,26	0,47	0,36	0,69
NAOPC	0,69	0,63	0,72	0,15	0,20	0,29	0,16	0,10	0,25	0,41	0,39	0,71
NAOT	0,61	0,57	0,69	0,13	0,20	0,36	0,16	0,26	0,18	0,36	0,28	0,58



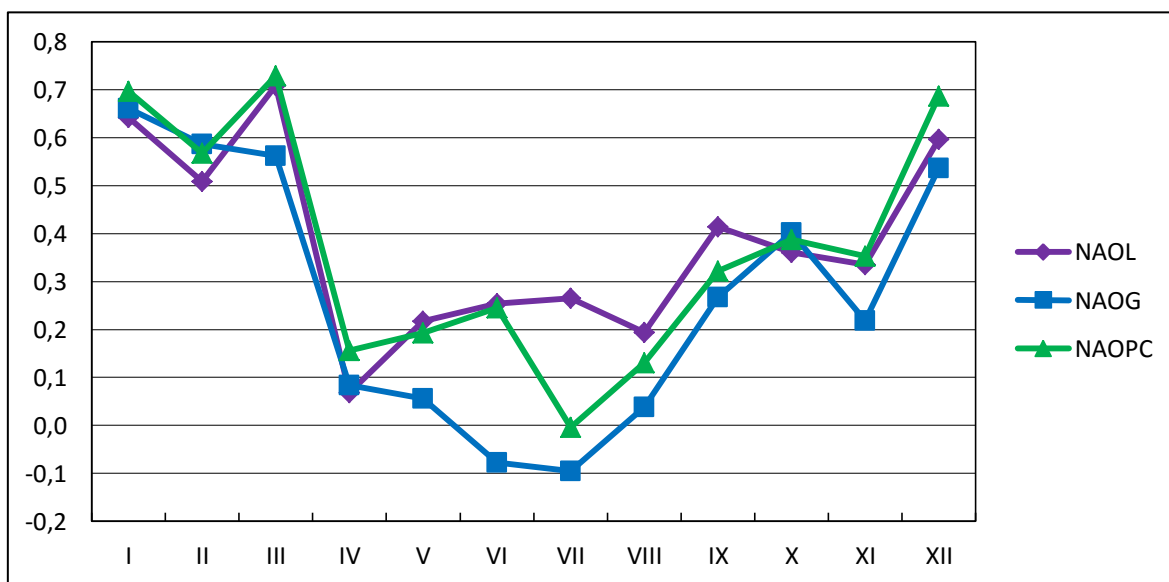
Joonis 11. Talve keskmise maksimaalse temperatuuri ja talvise NAOPC vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus perioodil 1951–2015.

4.2.3. Minimaalne temperatuur

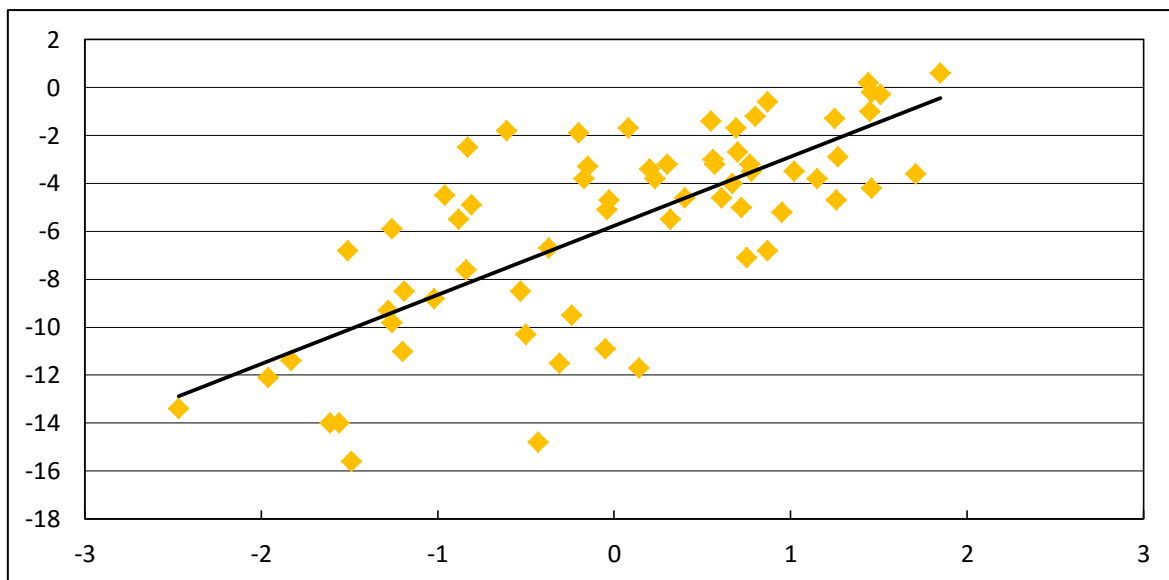
Minimaalse temperatuuri korrelatsioonid indeksitega sarnanesid maksimaalse ja keskmise temperatuuri korrelatsioonidega (joonis 12), olles eelnevatest keskmiselt natuke nõrgemad. Kuude lõikes esinesid tugevaimad seosed jällegi märtsis (0,51–0,76) ja jaanuaris (0,61–0,74), nõrgimad aga erinevalt teistest mais, kus statistiliselt olulisi kordajaid ühegi jaama puhul ei esinenud. Aastaaegade lõikes olid seosed kõige tugevamad talvel (0,67–0,79) ja kõige nõrgemad suvel (kuni 0,30). Keskmiselt olid korrelatsioonid kevadel (0,35) sügisest

(0,34) tugevamad. Tugevamaid seoseid andsid jaamadega NAOZ ning NAOPC, mille korrelatsioonid jäid talvel vastavalt vahemikku 0,76–0,79 ja 0,74–0,79. Nõrgimad korrelatsioonid esinesid talvel NAOT-1 (0,67–0,70), kogu aasta lõikes aga NAOG-1.

NAO mõju märtsi minimaalsele temperatuurile käsitletud perioodi jooksul on toodud Valga ja NAOT aegridade näitel joonisel 13. Analoogselt talve keskmisele temperatuurile (joonis 9) on minimaalne temperatuur märtsis seda kõrgem, mida suurem on indeksi väärtus. Keskmisest madalam on minimaalne temperatuur jällegi neil aastatel, mil indeksi väärtused tavapärasest madalamad on.

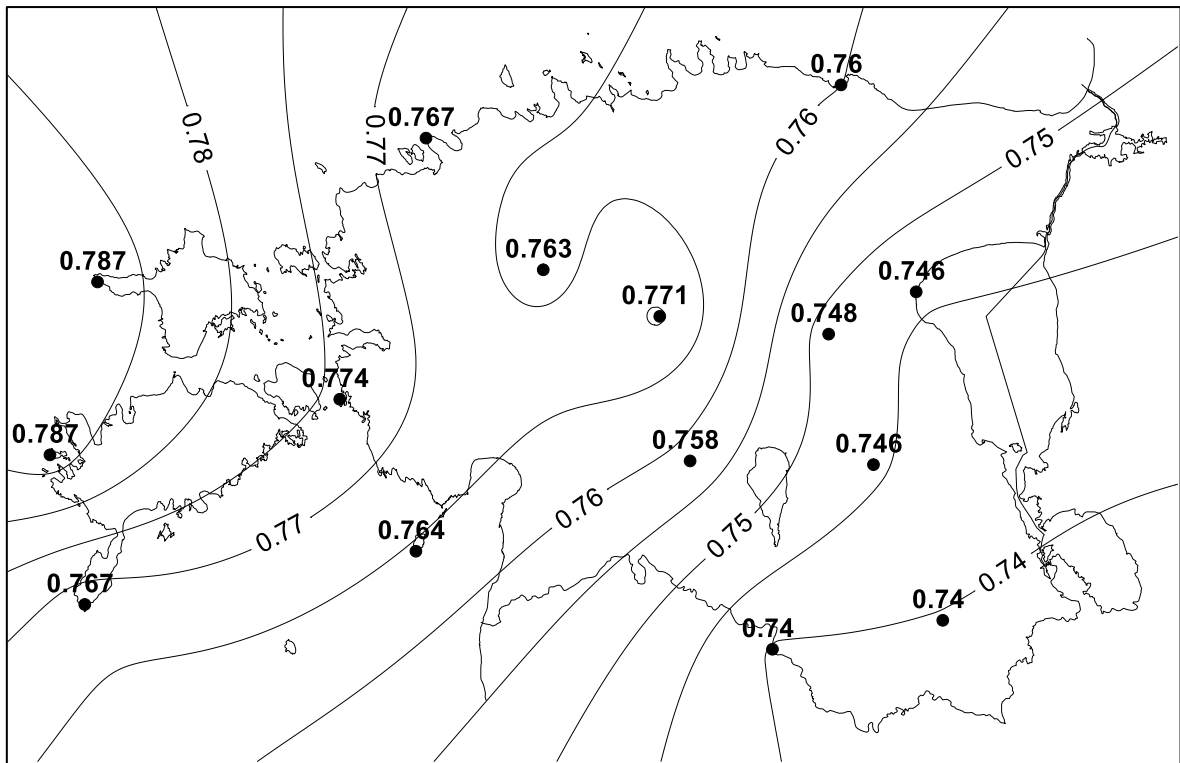


Joonis 12. Võru minimaalse temperatuuri ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1951–2015.



Joonis 13. Valga märtsi minimaalse temperatuuri ja NAOT varieeruvus perioodil 1951–2015 ($R = 0,729$).

Indeksite ja minimaalse temperatuuri korrelatsioonide territoriaalne jaotus oli aasta lõikes analoogne keskmisele temperatuurile ehk esines ida-läänesuunaline gradient (joonis 14). Talvise NAOPC näitel olid tugevaimad korrelatsioonid Ristnas ja Vilsandis ning nõrgimad Valgas ja Võrus. Sarnaselt minimaalsele temperatuurile näitasid Kuusiku ja Türi teistest sisemaa jaamadest keskmisest tugevamaid seoseid. Erinevalt keskmisest ja maksimaalsest temperatuurist Pakri ja Kihnu läänepoolsetest jaamadest korrelatsioonide osas oluliselt ei erinenud.



Joonis 12. Talve keskmise minimaalse temperatuuri ja talvise NAOPC vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus perioodil 1951–2015.

4.2.4. Sademed

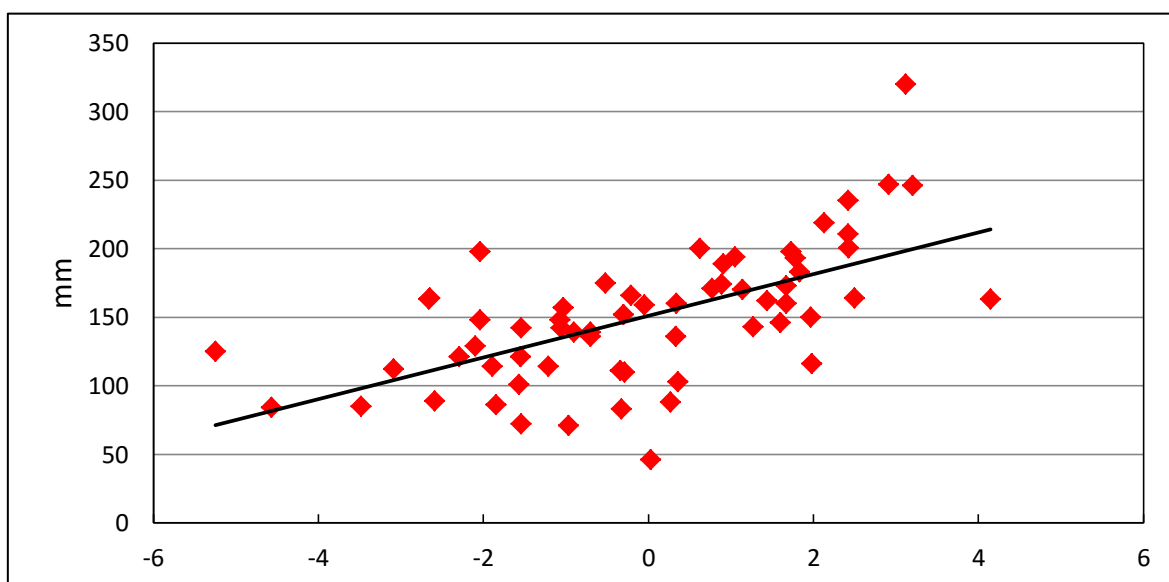
Sademe korrelatsioonid erinesid temperatuuri korrelatsioonidest olulisel määral, olles selgelt tunduvalt nõrgemad (tabel 5). Erinevused tulid kõige paremini esile külmal ajal, kui temperatuuri korrelatsioonid kohati sademete omadest kaks korda tugevamad olid. Seosed olid kuude lõikes sarnaselt temperatuurile keskmiselt tugevaimad märtsis (0,39) ning jaanuaris (0,37), kuid erinevalt temperatuurist esines sademete korral jaamu, mis enamiku indeksitega jaanuaris-veebruaries statistiliselt olulisi seoseid ei näidanud (Kunda, Ristna ja Vilsandi). Aastaaegade lõikes esinesid olulised positiivsed seosed talvel, kus tugevamaid seoseid jaamadega näitas NAOZ (kuni 0,70). Sellele järgnes NAOG (kuni 0,66), mille puhul talvised korrelatsioonid ühegi jaama suhtes 0,25-st allapoole ei langenud. Korrelatsioonid olid nõrgimad NAOLil (kuni 0,56). Suvel näitas üksikutes jaamades olulisi negatiivseid seoseid vaid NAOT. Kevadel, suvel ja sügisel enamikul indeksitel üldiselt aga statistiliselt olulised seosed puudusid.

Sademe ja NAO vahelist seost kirjeldab Kuusiku ja NAOZi talviste aegridade näitel joonis 15. Kuigi korrelatsioonikordajad olid sademete puhul temperatuurist madalamad, esines talviste NAO indeksi väärtuste ja sademete hulga vahel siiski selgelt positiivne seos. Kõrgemate indeksi väärtustega kaasneb ka keskmisest suurem sademete hulk, mistõttu on

tugeva positiivse NAO korral talved tavapärasest sajusemad. Sarnane seos esines kõigi jaamade puhul, kuid tuli kõige paremini esile Kuusikus ja Nigulas.

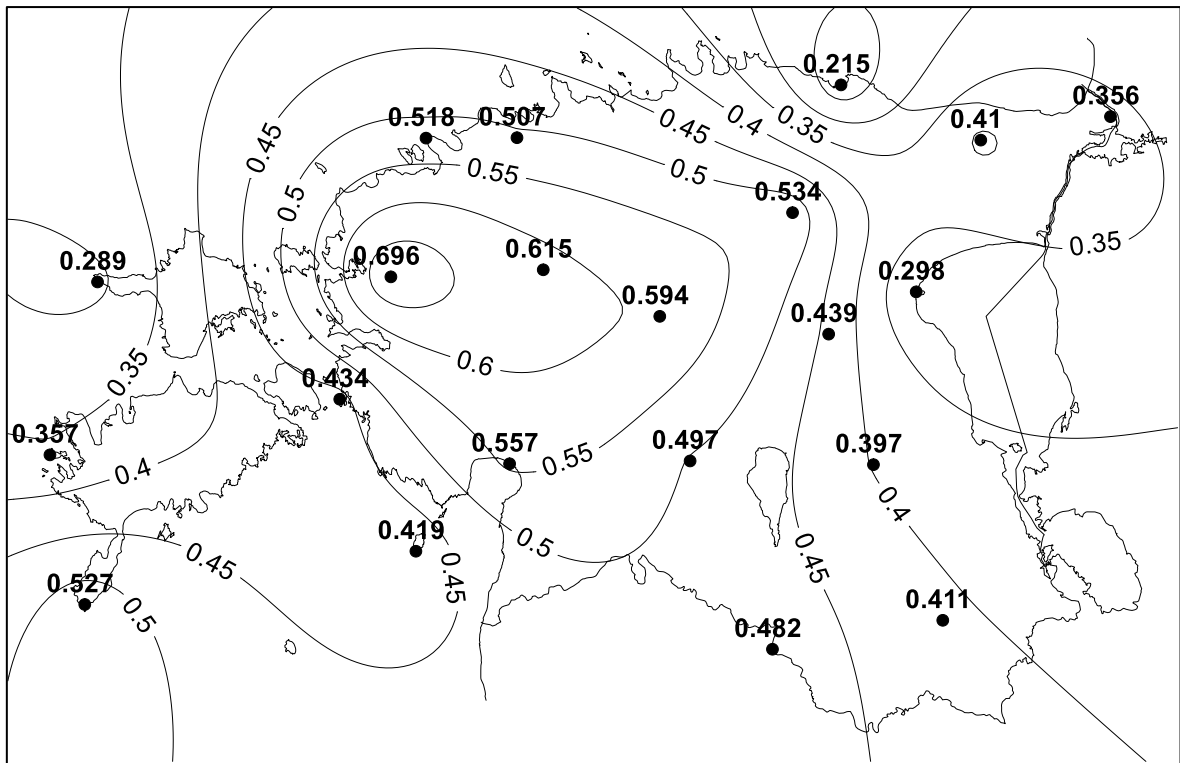
Tabel 5. Viljandi sademete ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1950–2015. Paksus kirjas statistiliselt olulised kordajad.

Indeksid	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NAOL	0,34	0,26	0,42	-0,02	-0,19	-0,17	0,15	-0,06	0,16	-0,03	0,16	0,17
NAOG	0,39	0,41	0,43	0,07	0,00	-0,10	0,18	0,00	0,26	0,12	0,23	0,17
NAOZ	0,39	0,39	0,39	0,06	-0,06	-0,10	0,16	0,09	0,29	0,15	0,32	0,24
NAOPC	0,36	0,31	0,36	-0,05	-0,12	-0,23	0,01	0,03	0,21	0,01	0,19	0,17
NAOT	0,30	0,27	0,40	-0,16	-0,23	-0,37	-0,08	-0,22	-0,05	-0,23	-0,06	0,35



Joonis 15. Kuusiku talviste sademete ja talvise NAOZI regressioonisirge perioodil 1950–2012 ($R = 0,615$).

Sademete korrelatsioone iseloomustasid temperatuurist tunduvalt suuremad territoriaalsed erinevused (joonis 16). Selget ida-lääne- või põhja-lõunasuunalist gradienti ei kujunenud. Tugevaimad seosed tulid esile Lääne-Eesti sisemaal Nigula ja Kuusiku jaamades, seevastu nõrgimad Kundas, kus korrelatsioonid olid Nigulast üle kolme korra nõrgemad. Eesti ida- (Tiirikoja, Narva) ja lääneservas (Ristna, Vilsandi) olid korrelatsioonid üldiselt keskmisest nõrgemad. Erandiks oli lääneranniku puhul Sõrve, mis näitas naaberjaamadest tunduvalt tugevamaid seoseid.

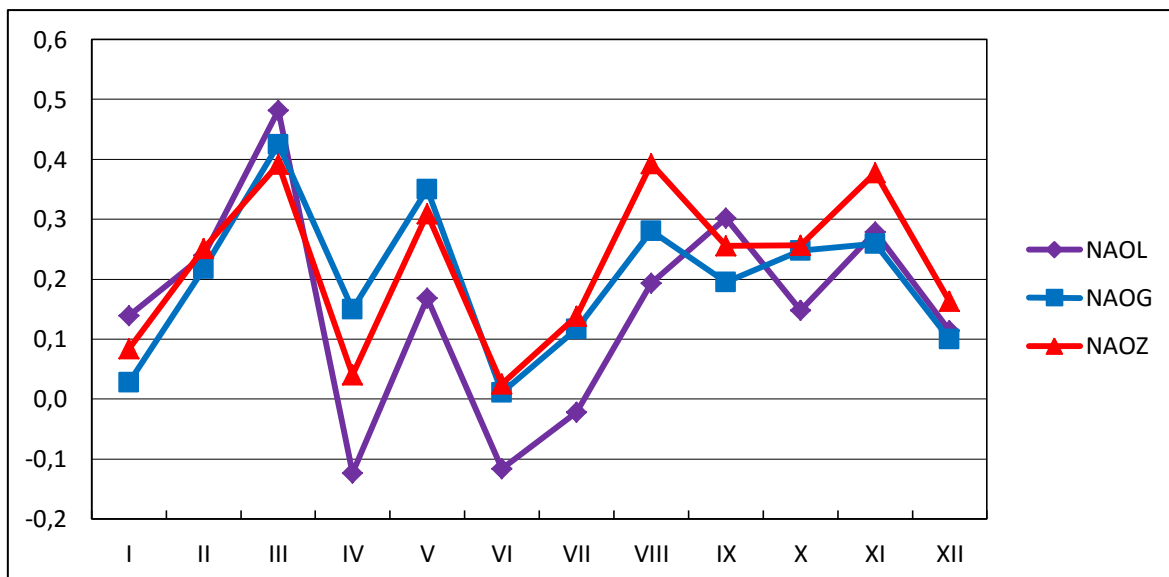


Joonis 16. Talve sademete ja talvise NAOZi vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus talvel perioodil 1950–2012.

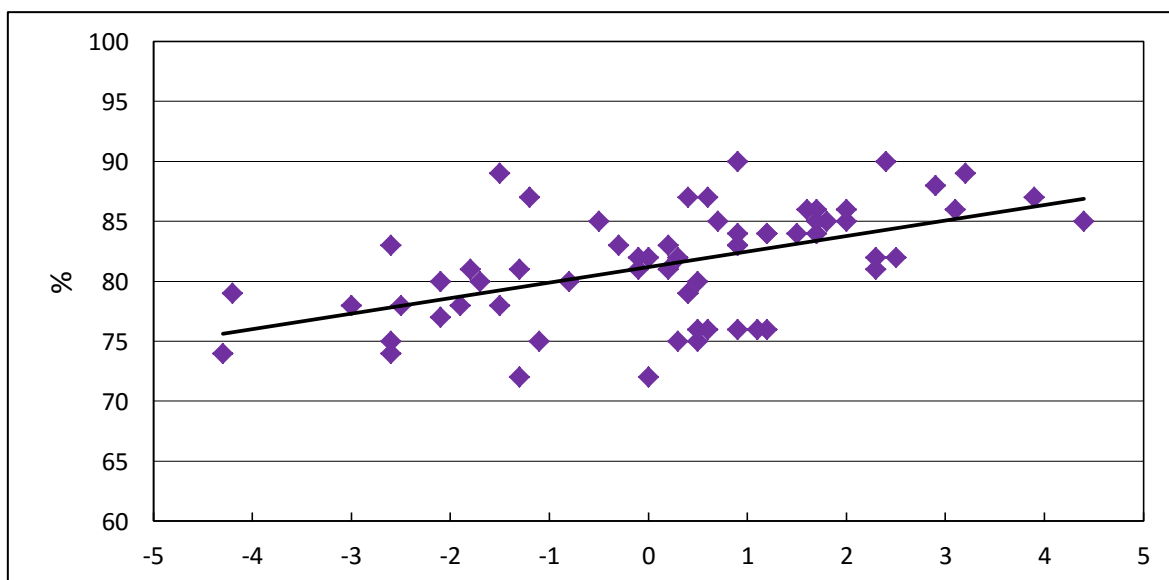
4.2.5. Suhteline õhuniiskus

Suhtelise õhuniiskuse korrelatsioonid olid kõigis jaamades sõltumata indeksist sademete omadest nõrgemad (joonis 17). Kuude lõikes olid seosed tugevaimad jällegi märtsis, mis oli ühtlasi ainus kuu, kus keskmine korrelatsioon üle kõigi jaamade (0,32) oli statistiliselt oluline. Aastaaegade lõikes esinesid statistiliselt olulised korrelatsioonid (kuni 0,49) vaid talvel, kuid erinevalt sademetest andsid siinkohal indeksid olulisi korrelatsioone ainult viies jaamas. Kui paljudes ilmajaamades väljaspool talvekuid ja märtsi seosed indeksitega peaaegu puudusid, siis erandina näitasid NAOZ ja NAOG Kihnus olulisi korrelatsioone ka näiteks mais ja augustis. Talvel olid NAOZi seosed jaamadega tugevaimad (kuni 0,49) ja nõrgimad olid need NAOLil (kuni 0,39), mis andis seevastu teistest paremaid seoseid märtsis (kuni 0,56).

Nõrkadest korrelatsioonidest tulenevalt avaldab NAO suhtelisele õhuniiskusele sademetest vähem mõju (joonis 18). Üldiselt on õhuniiskus siiski positiivsete indeksi väärtuste korral natuke kõrgem kui negatiivsete puhul, kuid seos on suurema hajuvuse tõttu selgelt nõrgem. Samuti saab antud graafiku abil kirjeldada olukorda ainult märtsis ja talvel, kuna muul ajal olulisi seoseid praktiliselt ei esinenud. Mitmes jaamas (nt Tiirikoja, Tartu) olid ka talvised korrelatsioonid nii nõrgad, et seost indeksi ja õhuniiskuse vahel leida ei olnud võimalik.

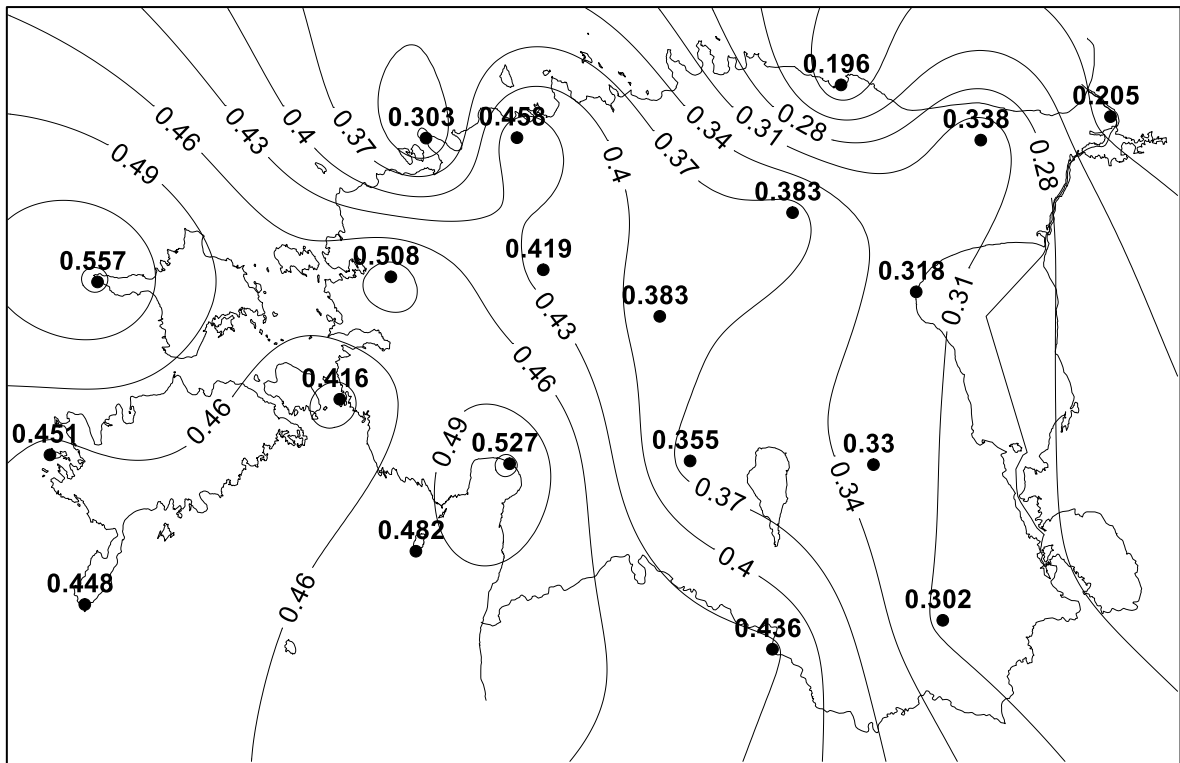


Joonis 17. Kihnu suhtelise õhuniiskuse ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1950–2013.



Joonis 18. Pärnu märtsi suhtelise õhuniiskuse ja NAOLi regressioonisirge perioodil 1950–2013 ($R = 0,527$).

Joonisel 19 on toodud korrelatsioonide territoriaalne jaotus suhtelise õhuniiskuse puhul. Sarnaselt sademetele olid korrelatsioonid keskmisest nõrgemad Ida-Eestis (Kunda, Narva), kuid Kuusiku ja Nigula asemel esinesid tugevaimad seosed Ristnas ja Pärnus. Kundas kui nõrgimate korrelatsioonidega jaamas olid seosed Ristna omadest üle kahe korra nõrgemad. Kuigi läänepoolsed jaamad näitasid idapoolsetest üldjuhul tugevamaid korrelatsioone, olid Pakri kordajad naaberjaamadest tunduvalt madalamad. Väljaspool talveperioodi ja märtsi erilist territoriaalset jaotust oluliste seoste puudumise tõttu ei esinenud.

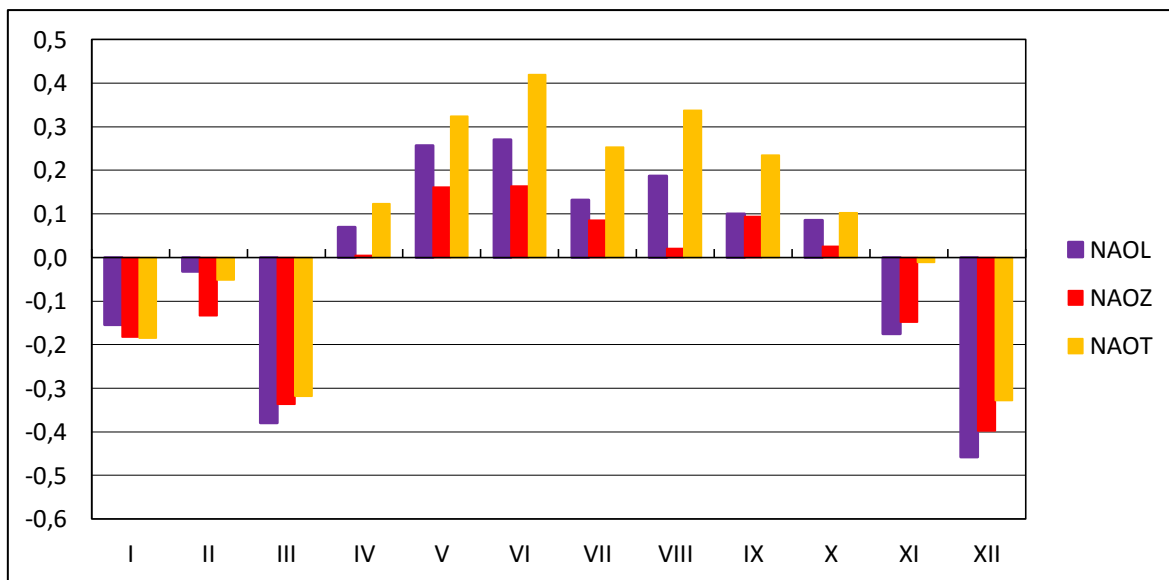


Joonis 19. Suhtelise õhuniiskuse ja NAOLi vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus märtsis perioodil 1950–2013.

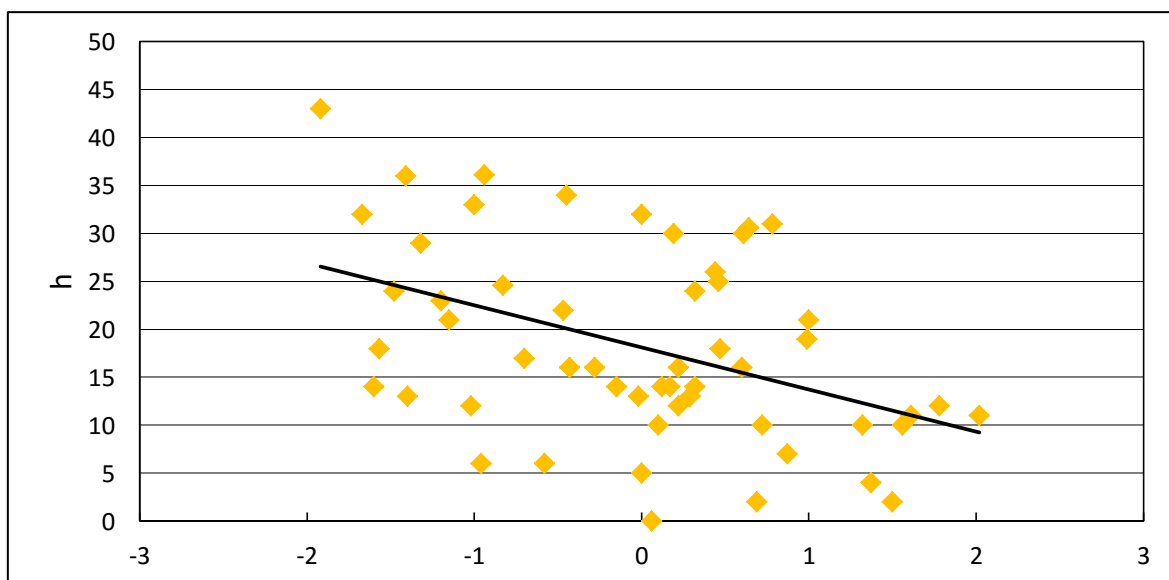
4.2.6. Päikesepaiste kestus

Päikesepaiste kestus oli ainus ilmastikunäitaja, mille puhul esinesid indeksitega statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid (joonis 20). Tugevaim kordaja esines kuude lõikes küll NAOLi ja Tooma vahel detsembris ($-0,47$), kuid tugevaimad keskmised negatiivsed seosed tulid esile märtsis ($-0,27$), kus parimaid korrelatsioone näitas samuti NAOL (kuni $-0,39$) ja nõrgimaid NAOG (seosed vaid Pärnuga). Aastaaegade lõikes esinesid olulised negatiivsed seosed (kuni $-0,36$) ainult talvel Võru jaamas. Vastupidiselt külmale ajale esinesid perioodil mai–august positiivsed korrelatsioonid, mis olid tugevaimad juunis, kus indeksitest andis parimaid korrelatsioone NAOT ($0,36$ – $0,47$). NAOT oli ühtlasi ainsaks indeksiks, mis näitas suvel olulisi seoseid kõigis jaamades ($0,26$ – $0,43$).

Kuna päikesepaiste kestuse puhul olid korrelatsioonid teistest nõrgemad, mõjutab NAO seda töös käsitletud ilmastikunäitajatest kõige vähem (joonis 21). Detsembris ja märtsis on indeksi positiivsete väärtuste korral päikesepaiste kestus keskmisest natuke väiksem ning negatiivsete väärtuste korral suurem. Suvel on kõrgemate indeksi väärtuste korral seevastu päikesepaiste kestus suurem ja madalamate korral väiksem. Mõlemad korrelatsioonid olid teistest näitajatest aga selgelt nõrgemad ja suvised seosed esinesid ainult NAOT puhul.

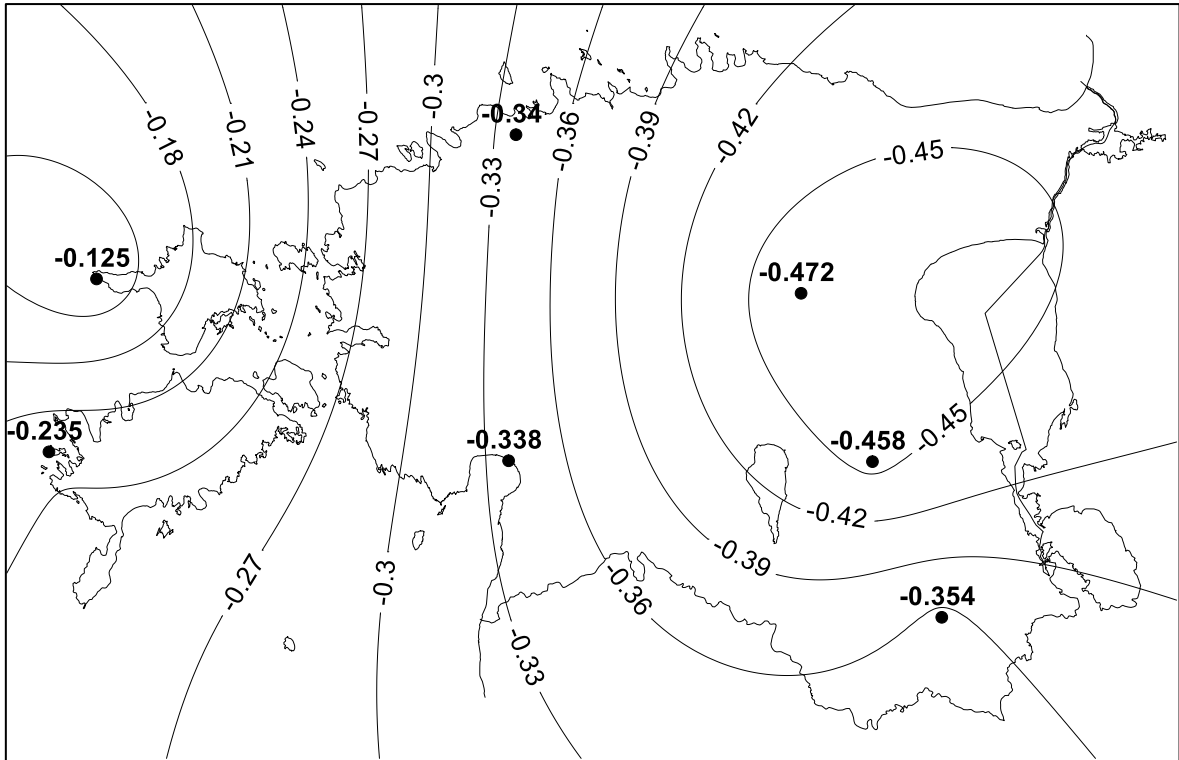


Joonis 20. Tartu päikesepaiste kestuse ja NAO indeksite vahelised korrelatsioonid kuude lõikes perioodil 1951–2015.



Joonis 21. Tooma detsembri päikesepaiste kestuse ja NAOT regressioonisirge perioodil 1950–2003 ($R = -0,434$).

Päikesepaiste kestuse puhul sai töös kasutada vaid seitsme ilmajaama andmeid, mistõttu ei saa territoriaalse jaotuse osas põhjanevaid järeldusi teha. Siiski on kasutatud jaamade näitel näha teatavat ida-läänesuunalist jaotust (joonis 22). Talvel ja märtsis olid tugevaimad negatiivsed korrelatsioonid Toomal ja Tartus ning nõrgimad saarte läänerannikul Ristnas ja Vilsandis. Suviste statistiliselt oluliste positiivsete korrelatsioonide korral selgeid erinevusi korrelatsioonide tugevuse ja seega ka nende territoriaalse jaotuse osas ei esinenud.



Joonis 22. Päikesepaiste kestuse ja NAOLi vaheliste korrelatsioonide territoriaalne jaotus detsembris perioodil 1950–2015.

5. Arutelu

5.1. NAO indeksite omavahelised seosed

Peatükis 4.1 toodud erinevate NAO indeksite varieeruvus ja trendid perioodidel 1900–1949 ja 1950–2015 ühtivad varasemalt kirjanduses käsitletud indeksite trendidega nendel perioodidel. Tulenevalt 1930. aastate lõpust alates valdavaks saanud negatiivsest faasist iseloomustas 20. sajandi esimesel poolel indekseid langustrend (joonis 2), mida on erinevad autorid täheldanud nii NAOLi (Hurrell, 1995), NAOG-d (Jones et al., 1997), NAOZi (Li, Wang, 2003) kui ka NAOPC-d (Hurrell et al., 2003) käsitlevates töedes. 1930. aastate lõpust alguse saanud ja 1960. aastate lõpuni domineerinud negatiivset faasi (joonised 2–3) on seostatud tavapärasest jahedamate aastatega sellel perioodil (Hurrell, 1995) ja keskmisest tunduvalt kõrgema õhurõhuga Põhja-Euroopas 1960. aastatel, mis tõi mõjupiirkonnas kaasa karmid talveilmad (Hurrell et al., 2003).

Sajandi teises pooles valdavaks olnud positiivset faasi (joonis 4) on jällegi seostatud läänevoolu tugevnemisega ja keskmisest pehmemate talvedega antud ajavahemikul, kusjuures 1980. aastate lõpust 1990. aastate alguseni kestnud erakordselt positiivsete väärtustega perioodi on kirjeldatud kõigi indeksite puhul (Hurrell, 1995; Jones et al., 1997; Hurrell et al., 2003; Jaagus, 2003; Li, Wang, 2003). Joonisel 4 teistest eristunud NAOG langustrendi varem otseselt täheldatud ei ole. Ilmselt on siinkohal üheks põhjuseks NAOG suhteliselt harv kasutamine kirjanduses pärast esmamainimist (Jones et al., 1997), mistõttu on 21. sajandil NAOG puhul domineerinud negatiivne faas seni jäänud kirjeldamata.

Teiste indeksitega andsid kõige tugevamaid korrelatsioone NAOZ ja NAOPC ning kõige nõrgemaid NAOG (tabelid 2–3, joonised 3 ja 5). NAOZi ja NAOPC tugevamad seosed teistega sõltuvad suuresti nende tuletamise meetodikast, mida on kirjeldatud lähemalt peatükkides 2.1.2 ja 2.1.3. Nii tsonaalne indeks kui ka PCA-põhised indeksid tabavad jaamapõhistega võrreldes aasta jooksul täpsemini NAO liikumismustreid Põhja-Atlandi kohal, mis vähendab müra ja kõrvalekaldeid andmestikes (Barnston, Livezey, 1987; Hurrell et al., 2003; Li, Wang, 2003). Seetõttu on nende varieeruvus aasta lõikes väiksem ja korrelatsioonid keskmiselt teistega tugevamad. Jaamapõhine NAOG rõhutsentreid nii hästi ei taba, millest tulenevadki selle nõrgemad korrelatsioonid teiste indeksitega. NAOLi ja NAOG vahelised varasemalt kirjeldatud (Tomingas, Jaagus, 1999) väga tugevad (talvel 0,97) korrelatsioonid olid käesolevas töös keskmiselt üle 0,1 ühiku võrra nõrgemad.

NAO avaldub kõige selgemalt talvel (Hurrell et al., 2003), mistõttu on erinevate indeksite vaheline varieeruvus talvekuudel väiksem. Sellest tulenevalt korreleeruvadki indeksid omavahel talvisel ajal tugevamalt. Nõrgemad korrelatsioonid perioodil aprill–september on aga põhjustatud NAO nõrgemast mõjust soojal poolaastal (BACC, 2008; 2015), mis indeksite vahelisi erinevusi suurendab ja seega seoste tugevusi vähendab. Tugevaimad seosed kuude lõikes esinesid käesoleva töö andmetel indeksite vahel veebruaris ja märtsis ning nõrgimad augustis, mis ühtib varasemate uurimistulemustega (Tomingas, Jaagus, 1999).

Selgeid seaduspärasusi indeksite omavaheliste korrelatsioonide tugevuste muutuse osas perioodidel 1900–1949 ja 1950–2015 välja tuua ei saa. NAOLi ja NAOZi puhul on aasta keskmised korrelatsioonid veidi kasvanud, NAOPC-l jäänud samaks ning NAOG puhul vähenenud. Varasemast tugevamaid seoseid talvekuudel (joonis 6) saab põhjendada kõigi indeksite puhul 20. sajandi teises pooles domineerinud positiivse faasiga, mistõttu on indeksite vahelised erinevused talvel vähenenud ja korrelatsioonid tugevnenud (Hurrell et al., 2003; BACC, 2008; 2015). Kevadel ja suvel nõrgenenud korrelatsioonid võivad seevastu olla põhjustatud NAO vähenenud mõjust soojal poolaastal (Li, Wang, 2003; BACC, 2015), mille tõttu on indeksite vaheline varieeruvus suurenenud. NAOG varasemast nõrgemad korrelatsioonid on seletatavad indeksi keskmisest madalamate väärtustega antud perioodil, mis põhjustasid ka joonisel 4 toodud langustrendi.

5.2. NAO indeksite seosed Eesti ilmastikunäitajatega

Eesti keskmise temperatuuri ja NAO indeksite vahelised seosed olid antud töös kasutatud ilmastikunäitajatest tugevaimad, mis vastab Eesti autorite varasematele uurimistulemustele (Russak, 1999; Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003; 2006; Tarand jt., 2013). Samuti olid korrelatsioonid aasta lõikes oodatult tugevaimad perioodil detsember–märts ja nõrgimad suvel, eriti augustis. Parimaid seoseid näitasid jaamadega NAOZ ja NAOPC, mida varem Eesti oludes kasutatud ei ole. NAOLi (Tomingas, Jaagus, 1999) ja NAOT (Jaagus, 2003) korrelatsioonid jäid antud töös eelnevalt täheldatuga samasse suurusjärku, seevastu NAOG (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2006) puhul olid need natuke nõrgemad. Kinnitust leidis NAO selge mõju talve keskmise temperatuuri tõusule 20. sajandi teises pooles (joonis 9), mis on korduvalt tõestust leidnud ka Eesti puhul (BACC, 2008; 2015; Tarand jt., 2013). Sarnaselt teistele uurimustele (Jaagus, 2003; 2006; Tomingas, 2003) näitasid läänepoolsed ilmajaamad indeksitega tugevamaid korrelatsioone ka käesolevas töös (joonis 10). Seega

olid seosed tugevamad Eesti kõige merelisemas ja soojemas piirkonnas, mistõttu võib oletada, et NAO mõju temperatuurile avaldub selgemalt seal, kus mere mõju on.

Maksimaalse ja minimaalse temperatuuri korrelatsioonid NAO indeksitega ei ole seni Eestis vaadeldud. Oodatult sarnanesid seoste tugevused keskmise temperatuuri omadega, olles maksimaalse temperatuuri puhul talvel kohati keskmisest temperatuurist kõrgemad (tabel 4). Suvel statistiliselt olulised korrelatsioonid sarnaselt keskmisele temperatuurile mõlemal näitajal peaaegu puudusid. Jällegi andsid näitajatega parimaid korrelatsioone NAOZ ja NAOPC ning nõrgimaid NAOG. Sarnastest korrelatsioonidest tulenevalt on NAO talvise minimaalse temperatuuri kasvule antud perioodil avaldanud keskmise temperatuuriga analoogset mõju (joonis 12). Maksimaalse temperatuuri puhul on kasv olnud minimaalsest suurem (Tarand jt., 2013), mistõttu võib eeldada, et NAO mõju tuleks veelgi paremini esile. Korrelatsioonide territoriaalne jaotus oli minimaalsel temperatuuril analoogne keskmisega (joonis 14). Maksimaalse temperatuuri tugevaimad korrelatsioonid esinesid sarnaselt keskmisele ja minimaalsele Ristnas ja Vilsandis (joonis 11), nõrgimad aga erinevalt teistest Kihnus. Üldiselt olid kõigi temperatuuride puhul jaamade vahelised erinevused teistest ilmastikunäitajatest selgelt väiksemad, mida saab põhjendada NAO teistest näitajatest tugevama mõjuga temperatuurile, mille tagajärjel varieeruvus väheneb.

Sademetega ja indeksite seosed olid sarnaselt varem täheldatule (Tomingas, Jaagus, 1999; Jaagus, 2003; 2007; Jaagus et al., 2010) temperatuuri omadest tunduvalt nõrgemad. Aasta lõikes esinesid statistiliselt olulised positiivsed korrelatsioonid talvel, kus tugevaimad seosed olid NAOZil ja NAOG-l, mille häid korrelatsioone Eesti sademetega on ka eelnevalt kirjeldatud (Jaagus, 2006; Jaagus et al., 2010). Statistiliselt oluline negatiivne korrelatsioon suvel (Tomingas, Jaagus, 1999) tuli antud töös esile vaid üksikutes jaamades NAOT puhul. Sademete hulga ja NAO vahel leitud positiivne seos on temperatuurist nõrgem ning esineb vaid külmal poolaastal (joonis 15), mis on leidnud kinnitust ka eelpool viidatud uuringutes. Territoriaalse jaotuse osas olid jaamade vahelised erinevused temperatuuriga võrreldes palju suuremad (joonis 16), mis tuleneb nii sademete suuremast ajalisest ja territoriaalsest muutlikkusest kui NAO väiksemast mõjust sademetele võrreldes temperatuuriga. Tugevaimad seosed tulid Kuusiku ja Nigula näitel esile piirkonnas, mis kattub Eesti sajusema alaga – Lääne-Eesti sademeteharjaga (Tarand jt., 2013). Nõrgimad seosed seevastu olid lääne- ja idaservades, mis on keskmisest kuivemad piirkonnad. Anomaalia esines siinkohal Sõrve puhul, kus korrelatsioonid olid naaberjaamadest palju tugevamad.

Suhtelise õhuniiskuse korrelatsioone NAO indeksitega ei ole sarnaselt maksimaalsele ja minimaalsele temperatuurile varem uuritud. Korrelatsioonide aastane käik oli sademetega analoogne ehk statistiliselt olulised korrelatsioonid esinesid ainult talvekuudel ja märtsis, kuid need olid nõrgemad ja talve keskmised ületasid olulisuse alampiiri ainult viies jaamas. Sarnaselt sademetele andsid tugevamaid korrelatsioone NAOZ ja NAOG ning nõrgimaid NAOL. Kõrgemate indeksi väärtuste ja tavapärasest kõrgema suhtelise õhuniiskuse vahel leiti külmal ajal positiivne seos (joonis 18), mis kõigi jaamade puhul aga liiga nõrkade korrelatsioonide tõttu ei kehtinud. Sellest võib järeldada, et NAO mõju õhuniiskusele on võrreldes temperatuuri ja sademetega üsna marginaalne. Territoriaalse jaotuse poolest oli suhtelisel õhuniiskusel rohkem sarnasusi temperatuuriga (joonis 19) ehk tugevamad seosed esinesid Lääne-Eestis ja saartel ning nõrgimad riigi idaosas.

Päikesepaiste kestuse ja indeksite vaheline negatiivne korrelatsioon talvel ja positiivne korrelatsioon suvel tuli sarnaselt varasemalt kirjeldatule (Tomingas, Jaagus, 1999) esile ka käesoleva töö puhul. Talvised korrelatsioonid olid tugevaimad NAOLil ja suvised NAOT-l. NAOG nõrku korrelatsioone antud näitajaga on samuti varem täheldatud. Töös kasutatud näitajatest mõjutas NAO päikesepaiste kestust oodatult (Tomingas, Jaagus, 1999) kõige vähem (joonis 21). Talvel korreleerub indeksi kõrgemate väärtustega keskmisest väiksem päikesepaiste kestus, mida saab seostada positiivse NAOga talvel kaasneva tsüklonaalse ilma domineerimisega, mis omakorda põhjustab pilvisemat ilma. Suvel esineb NAO positiivse faasi olukorras jällegi antitsüklonaalne ilm ning indeksi ja päikesepaiste kestuse vaheline korrelatsioon on positiivne. Korrelatsioonid olid talvel tugevamad Ida-Eestis ja nõrgemad lääneosas (joonis 22). Seega olid korrelatsioonid tugevamad piirkonnas, kus päikesepaiste kestus on aasta jooksul väiksem, ning nõrgemad seal, kus see on suurem (Tarand jt., 2013). Tasub märkida, et päikesepaiste kestust mõõdetakse tänapäeval vaid üksikutes ilmajaamades, mistõttu sai töös kasutada ainult seitsme jaama andmeid. Seetõttu saab päikesepaiste kestuse ja NAO vaheliste seoste puhul teha vaid osalisi järeldusi.

Enamiku töös kasutatud ilmastikunäitajatega andis tugevamaid korrelatsioone tsonaalne indeks NAOZ, mis näitas ka teiste indeksitega keskmisest tugevamaid seoseid. Tugevaid korrelatsioone saab siinkohal jällegi põhjendada NAOZi tuletamise eripäradega, mis aitab indeksil paremini kirjeldada NAO kõikumist aasta jooksul ja seega ka selle mõju ilmale (Li, Wang, 2003). NAOZi universaalsus muudab selle vaadeldud indeksitest kõige sobivamaks NAO ja erinevate ilmastikunäitajate vaheliste seoste kirjeldamisel. NAOZi puuduseks on alates 2012. aastast pikendamata aegrida, mistõttu sõltub selle kasutatavus

tulevastes uuringutes suuresti sellest, kas aegrida lähiajal jätkatakse. NAOZi kõrval sobib keskmist, maksimaalset ja minimaalset temperatuuri kirjeldama NAOPC, mis antud näitajate puhul NAOZiga sama tugevaid korrelatsioone andis. Sademete ja suhtelise õhuniiskuse puhul saab parima alternatiivina kasutada NAOG-d, mis küll muude näitajatega kuigi tugevaid seoseid ei näidanud. Päikesepaiste kestus oli ainus näitaja, millega NAOZ parimaid seoseid ei andnud, mistõttu tasub vastavates uuringutes talvel kasutada NAOLi ja suvel NAOT-d.

6. Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Põhja-Atlandi ostsillatsiooni mõju Eesti ilmastiku kõikumistele. Uurimus viidi läbi kahes osas. Esimeseks ülesandeks oli selgitada välja NAO numbriliseks väljendamiseks kasutatavate erinevate NAO indeksite vahelised seosed. Töös kasutati kahte jaamapõhist (NAOL, NAOG) ja peakomponentanalüüsil põhinevat (NAOPC, NAOT) ning ühte tsonaalset indeksit (NAOZ). NAO indeksite vahelisi seoseid uuriti korrelatsiooni- ja trendianalüüsi abil, vaadeldes eraldi perioode 1900–1949 ja 1950–2015, et tuvastada võimalikke muutusi korrelatsioonide tugevuste osas. Teiseks ülesandeks oli indeksite ja Eesti ilmastikunäitajate vaheliste seoste leidmine. Ilmastikunäitajatena kasutati töös Riigi Ilmateenistuse keskmise, maksimaalse ja minimaalse temperatuuri, sademete, suhtelise õhuniiskuse ja päikesepaiste kestuse andmeid. Korrelatsiooni- ja trendianalüüsi kõrval kasutati NAO mõju tugevuse tuvastamiseks regressioonianalüüsi. Korrelatsioonide territoriaalsete erinevuste välja toomiseks kasutati Surferi programmis krigingu meetodiga loodud isopleetilisi kaarte.

NAO indeksite varieeruvuse analüüs perioodidel 1900–1949 ja 1950–2015 tuvastas 1930. aastate lõpust 1960. aastateni domineerinud negatiivse faasi, mida on seostatud sellel perioodil Põhja-Euroopas esinenud karmide talvedega. 1980. aastate lõpus ja 1990. aastate alguses tuli esile tugev positiivne faas, mida on täheldatud kõigi indeksite puhul ka varem. NAOG puhul 20. sajandi teises pooles tuvastatud langustrendi ei ole aga seni veel kirjeldatud. Parimaid korrelatsioone näitasid teiste indeksitega NAOZ ja NAOPC, mis on põhjustatud nende võimest aasta jooksul täpsemini tabada NAO liikumismustreid ja seega varieeruvust vähendada. Nõrgimaid korrelatsioone näitas NAOG, mille varem kirjeldatud tugevad seosed NAOLiga senisest samuti nõrgemad olid. Kõik seosed olid tugevamad külmal poolaastal, kui NAO mõju on tugevam ja varieeruvus väiksem. Sooja poolaasta nõrgemad seosed tulenevad jällegi NAO nõrgema mõjuga kaasnevast suuremast varieeruvusest. Erinevused korrelatsioonide tugevuse osas 1950. aastale eelnenud ja järgnenud perioodil ei olnud suured. Talvised seosed olid natuke tugevnenud ja suvised nõrgenenud, mida saab seletada NAO mõju suurenemisega talvel ja vähenemisega suvel.

Tugevaimad seosed esinesid indeksitel Eesti ilmastikunäitajatest keskmise temperatuuriga, millega andsid parimaid korrelatsioone NAOZ ja NAOPC ning nõrgimaid NAOG. Kõik seosed olid sarnaselt varasematele uurimistulemustele külmal poolaastal tugevamad. Tulemused kinnitasid NAO positiivse faasi otsest mõju temperatuuri tõusule 20. sajandi teises pooles. Korrelatsioonid olid tugevaimad läänerannikul. Maksimaalse ja minimaalse

temperatuuri seoseid NAO indeksitega varem uuritud ei olnud. Oodatult sarnanesid korrelatsioonid keskmise temperatuuri omadega, olles talvel maksimaalse temperatuuri puhul veidi tugevamad.

Sademetega ja päikesepaiste kestuse seosed indeksitega sarnanesid samuti varem täheldatule. Külmal poolaastal leiti sademete ja indeksite vahel positiivne korrelatsioon, mis oli temperatuuri omast tunduvalt nõrgem. Tugevaimad seosed esinesid Lääne-Eesti sademetevööndis. Päikesepaiste kestuse ja NAO vahel esines talvel negatiivne ning suvel positiivne korrelatsioon, mis olid teiste näitajate omadest nõrgemad. Tugevaimad korrelatsioonid tulid esile Ida-Eestis. Suhtelise õhuniiskuse seoseid NAOga varem vaadeldud ei olnud. Korrelatsioonid olid sademete omadest nõrgemad ja sarnanesid territoriaalse jaotuse poolest temperatuuriga ehk seosed olid tugevamad Eesti lääneosas. Suhtelise õhuniiskuse ja sademetega näitasid indeksitest parimaid korrelatsioone NAOZ ja NAOG ning päikesepaiste kestusega talvel NAOL ja suvel NAOT.

The Impact of the North Atlantic Oscillation on Estonian Weather Variability

Holger Virro

Summary

The aim of this thesis was to study the impact of the North Atlantic Oscillation on Estonian weather variability. Atmospheric circulation is one of the main factors that affect climate along with solar radiation. Out of circulatory climate factors, the Westerlies affect Estonian weather the most. The strength of the Westerlies is determined through fluctuations in the strength of the Azores High and the Icelandic Low, which is known as the North Atlantic Oscillation (NAO). The impact of the NAO is more pronounced in the winter, when strong Westerlies are associated with warm and wet winters (positive phase of the NAO) and weak Westerlies with cold and dry winters in Northern Europe (negative phase of the NAO). The positive phase has been predominant in the second half of the 20th century, which has been associated with climatic changes that have occurred in Estonia during this period. Positive correlations have been observed between the NAO and temperature, precipitation, and summer sunshine duration. Snow cover duration, winter sunshine duration, and summer precipitation have been found to correlate negatively with the NAO.

The study was conducted in two parts. The first task was to identify connections between the different NAO indices used to numerically express the NAO. Two station-based (NAOL, NAOG) and two PC-based indices (NAOPC, NAOT) along with one zonal index (NAOZ) were used for the analysis. Correlation and trend analyses were applied over the period 1900–2015 in order to detect possible changes in the strength of the correlations. The second task was to identify connections between the NAO indices and the different climate parameters in Estonia. The data set included mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, precipitation, relative humidity, and sunshine duration data, provided by the Estonian Weather Service. Regression analysis along with correlation and trend analyses were applied to detect the impact of the NAO on climate parameters. Isopleth maps created with the Kriging method were used to illustrate spatial variations in the correlations.

Analysis of the interannual variability of the indices during the periods 1900–1949 and 1950–2015 detected that a negative phase had been predominant from the early 1930s to the late 1960s, which has been associated with the severe winters that occurred in Northern Europe during this period. A strong positive phase occurred from the late 1980s to the early 1990s, which has previously been observed in all indices. The downward trend of NAOG found in the second half of the 20th century has not been described before. Other indices gave the best correlations with NAOZ and NAOPC, which is caused by their ability to better follow the interannual movement patterns of the NAO, and thus to reduce variation. NAOG had the weakest correlations, including with NAOL, which it had previously had stronger connections with. All connections were stronger during the cold half-year when the impact of the NAO is more pronounced and has less variability. Weaker connections during the warm half-year are caused by the reduced impact of the NAO, which is accompanied by a larger variability. The differences in the strength of the correlations before and after 1950 were minimal. Correlations have gained strength during the winter and become weaker during the summer, which can be explained by an increase in the impact of the NAO during the winter and a decrease in the summer.

Out of the climate parameters used in this study, the indices had the strongest connections with mean temperature, which had the best correlations with NAOZ and NAOPC and the weakest with NAOG. All connections were stronger in the cold half-year, as has been noted before. The findings confirmed a direct impact of the positive phase of the NAO on the rise in temperature in the second half of the 20th century, as well as the correlations being stronger in the stations on the western coast. Connections between the indices and maximum and minimum temperature had not been studied before. As expected, the correlations were similar to those of mean temperature, and in the case of maximum temperature, slightly stronger during the winter.

The correlations between the indices and precipitation and sunshine duration were also similar to those observed previously. A positive correlation between the indices and precipitation was found during the cold half-year, which was considerably weaker than that of temperature. Correlations were the strongest in the region with the highest precipitation in the western part of continental Estonia. Sunshine duration had a negative correlation with the indices during the winter and a positive correlation during the summer, which were weaker than those of the other parameters. The strongest correlations were observed in Eastern Estonia. Connections between the indices and relative humidity had not been

studied before. Correlations were weaker than those of precipitation, and in terms of spatial distribution were similar to temperature, with the correlations being stronger in the western part of Estonia. Relative humidity and precipitation gave the best correlations with NAOZ and NAOG. NAOL had the strongest connections with sunshine duration during the winter, while NAOT gave the best correlations during the summer.

Tänuavaldus

Täna professor Jaak Jaagust põhjaliku ja efektiivse juhendamise, tööks vajalike andmete hankimise ning kasulike nõuannete eest kogu bakalaureusetöö valmimise protsessi jooksul.

Kasutatud kirjandus

Kirjandusallikad

The BACC Author Team, 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer, 496pp.

The BACC II Author Team, 2015. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer, 515pp.

Barnston, A.G., Livezey, R.E., 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083–1126.

Cropper, T., Hanna, E., Valente, M.A., Jónsson, T., 2015. A daily Azores–Iceland North Atlantic Oscillation index back to 1850. *Geoscience Data Journal*, 2, 12–24.

Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.

Hurrell, J.W., 1996. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 665–668.

Hurrell, J.W., van Loon, H., 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, 36, 301–326.

Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottensen, G., Visbeck, M., 2003. The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. American Geophysical Union, Washington, D.C., 279pp.

Jaagus, J., 1999. Uusi andmeid Eesti kliimast. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 85, 28–40.

Jaagus, J., 2003. Kliimamuutuse tendentsid Eestis 20. sajandi teisel poolel seostatuna muutustega atmosfääri tsirkulatsioonis. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 93, 62–79.

Jaagus, J., 2006. Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 77–88.

Jaagus, J., 2007. Euroopa sademete rajoonid ja nende seosed suuremõõtmelise atmosfääri tsirkulatsiooniga. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 102, 83–108.

- Jaagus, J., Suursaar, Ü., 2007. Veetaseme pikaajalised muutused Eesti rannikumeres. Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis, 102, 131–142.
- Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E., Remm, K., 2010. Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors. *Int. J. Climatol.*, 30, 705–720.
- Jones, P.D., Jónsson, T., Wheeler, D., 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.*, 17, 1433–1450.
- Kirde, K., 1939. Andmeid Eesti kliimast. Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumi teaduslikud väljaanded, 3, 153.
- Li, J., Wang, J., 2003. A new North Atlantic Oscillation index and its variability. *Advances in Atmospheric Sciences*, 20, 661–676.
- Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., Hurrell, J., McCartney, M., Saravanan, R., Visbeck, M., 2001. North Atlantic climate variability: Phenomena, impacts and mechanisms. *Int. J. Climatol.*, 21, 1863–1898.
- Keevallik, S., Rajasalu, R., 2001. Winds on the 500 hPa isobaric level over Estonia (1953–1998). *Phys. Chem. Earth*, 26, 425–429.
- Rogers, J.C., 1984. The Association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 112, 1999–2015.
- Rogers, J.C., 1997. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *J. Climate*, 10, 1635–1645.
- Russak, V., 1999. Muutustest kliimaelementide aegridades varakevadises Eestis. Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis, 85, 52–60.
- Sepp, M., 2007. Läänemere piirkonnas tekkinud tsüklonid: nende pikaajalised muutused, seosed Põhja-Atlandi ostsillatsiooni ja Eesti ilmastikunäitajatega. Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis, 102, 19–31.

Sepp, M., 2009. Changes in frequency of Baltic Sea cyclones and their relationships with NAO and climate in Estonia. *Boreal Environment Research*, 14, 143–151.

Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A., 2013. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, 632pp.

Tomingas, O., Jaagus, J., 1999. Atmosfääri tsirkulatsiooni suuremõõtmelised kõikumised ja nende mõju avaldumine Eesti ilmastikus. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 85, 96–107.

Tomingas, O., 2003. Atmosfääri tsirkulatsiooni indeksid Eesti jaoks ja nende seos ilmastiku kõikumistega. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 93, 80–101.

Tooming, H., 2003. Talve ja kevade seosed Eesti kliimas. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*, 93, 129–143.

Internetiallikad

Hurrell, J.W. Station-Based Monthly NAO Index.

https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/nao_station_monthly.txt (Viimati vaadatud: 08.05.2016)

Osborn, T. North Atlantic Oscillation index data.

<https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm> (Viimati vaadatud: 08.05.2016)

Li, J. North Atlantic Oscillation (NAO) Index. <http://ljp.gcess.cn/dct/page/65574> (Viimati vaadatud: 08.05.2016)

Hurrell, J.W. PC-Based North Atlantic Oscillation Index (Monthly).

https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/nao_pc_monthly.txt (Viimati vaadatud: 08.05.2016)

Climate Prediction Center. Monthly mean NAO index since January 1950.

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table> (Viimati vaadatud: 08.05.2016)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Holger Virro,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Põhja-Atlandi ostsillatsiooni mõju Eesti ilmastiku kõikumistele“,

mille juhendaja on Jaak Jaagus,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **23.05.2016**