

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

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

**Pikaajalised muutused Eesti siseveekogude kliimatiliste
aastaaegade saabumisajas ja kestuses**

Agnes Rosenberg

Juhendaja: prof Jaak Jaagus

Tartu 2022

Annotatsioon

Pikaajalised muutused Eesti siseveekogude kliimaatiliste aastaegade saabumisajas ja kestuses

Maakera kliima soojenemine on sel sajandil kujunenud üheks suuremaks keskkonnaprobleemiks. Enamasti mõeldakse selle all õhutemperatuuri kasvu, tegelikult on oluline pöörata tähelepanu ka teistele näitajatele, sealhulgas veetemperatuurile, mis mõjutab ökosüsteemide seisundit ja arengut. Bakalaureusetöö eesmärk on selgitada välja, kuidas on muutunud kliimaatiliste aastaegade algus ja kestus. Analüüs põhineb Eesti siseveekogude veetemperatuuri andmetel aastatel 1946–2010. Määratud on kaheksa kliimaatilise aastaaja üleminek ja kestus vaatlusperioodil, arvatud keskmine algusaeg ja kestus, nende muutlikkus ja trendid. Kliimaatiline talv on kõigis mõõtejaamades nihkunud kaks kuni neli nädalat hilisemaks ja jäänud lühemaks. Enamikus mõõtejaamades on kliimaatilise suve kestus jäänud lühemaks ja selle algus nihkunud hilisemaks.

Märksõnad: kliimaatilised aastaajad, siseveekogud, kliimamuutus, veetemperatuur

CERCS kood: P510 – Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Annotation

Long-term variability in Estonian inland water climatic seasons' beginning time and duration

Climate change is a big problem in the 21st Century. While talking about climate change people mostly think about rising air temperatures. But it is also important to notice other aspects that are changing with it like water temperatures because it is affecting ecosystems. The aim of this bachelor's thesis was to find out how climatic seasons have changed. The analysis is based on Estonian inland water temperatures data. After defining all of the eight climatic season beginnings between 1946–2010, it was possible to analyze variability and trends. The climatic winter has shifted two to four weeks later and become shorter at all measuring stations. At most measuring stations, the duration of the climatic summer has shortened and it begins a little bit later.

Keywords: climatic seasons, inland waters, climate change, water temperature

CERCS code: P510 – Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

Sisukord

Sissejuhatus.....	5
1. Teoreetiline ülevaade	7
1.1 Kliimaatiliste aastaegade uurimine Eestis	7
1.2 Üldkliimaatilised aastaajad vs. veekogude aastaajad	8
1.3 Kliimaatilised aastaajad ja veetemperatuuri muutus teistes põhjapoolkera piirkondades	10
1.4 Olulised tegurid Eesti siseveekogude hüdrooloogilisel uurimisel	12
1.5 Kliimanäitajate mõju veelistele ökosüsteemidele	13
1.6 Võimalikud veetemperatuuri trendid tulevikuks.....	14
2. Andmed ja meetodika	15
2.1 Andmete kirjeldus	15
2.2 Meetodika.....	16
3. Tulemused ja arutelu.....	19
3.1 Kliimaatiliste aastaegade alguse ja kestuse statistiline kirjeldus.....	19
3.1.1 Varakevad.....	19
3.1.2 Kevad.....	26
3.1.3 Hiliskevad.....	26
3.1.4 Suvi.....	27
3.1.5 Sügis	28
3.1.6 Hilissügis	28
3.1.7 Eeltalv	29
3.1.8 Talv.....	30
3.2 Maksimaalne veetemperatuur	30
3.3 Kliimaatiliste aastaegade pikaajalised muutused	32
Kokkuvõte.....	40

Summary	42
Tänuavaldused	44
Kasutatud kirjandus	45
Lisad.....	51
Lisa 1. Näide korrelatsioonitabelist, mille abil täideti lünki jõgede andmeridades	51
Lisa 2. Näide määratud kliimatiliste aastaegade algustest, sinisega on kuupäevad, mis määrati korrelatsiooni tabelit kasutades.	51

Sissejuhatus

Kliima on pidevas muutumises. Oluline on seda uurida, et olla teadlik käimasolevatest trendidest ja tuleviku suundadest. Kliima mõjutab kogu elu Maal ja sellest oleneb meie elukeskkond, sotsiaal-majanduslikud aspektid, toiduga varustus, ekstreemsete ilmastikutingimuste esinemine ja palju muud. Me elame ajal, mil kliima soojeneb ja selle tulemusi on võimalik tunda. Maailma keskmine temperatuur tõusis aastatel 1880–2012 0,85 °C võrra, perioodi teisel poolel temperatuuri tõus kiirenes (IPCC, 2014). Rohkem räägitakse õhutemperatuuri tõusust ja veetemperatuurile ei pöörata nii palju tähelepanu. Kuid kliimasoojenemine tõstab ka veekogude temperatuuri, mis hakkab mõjutama veelisi ökosüsteeme (Hunziker, Wüest, 2011). Võib oletada, et kerkiv õhutemperatuur tõstab ka Eestis veekogude temperatuuri ja toob kaasa pikema suve.

Veekogude kliima on väga kompleksne nähtus. Seda mõjutavad paljud hüdroloogilised ja meteoroloogilised tegurid, millest suurimad on toitelisus, veekogu ja seda ümbritseva keskkonna koosmõju ning päikesekiirguse hulk (Järvet, 2001). Neile lisaks mõjutab jõgesid asukoha reljeef ja voolusängi kuju (Caissie, 2006). Kliima uurimiseks on vaja pikka aegrida andmeid, sest kliima on pikaajaline ilmade kogum. Kliimanäitajate arvutamiseks on vaja vähemalt 30 aasta pikkust aegrida (Deutscher Wetterdienst, 2022b).

Läänemere regioonis on väga pikk ilmavaatluste traditsioon, kusjuures pikimad aegread ulatuvad tagasi 18. sajandi keskpaika (BACC, 2015). Järjepidevate jäävaatlustega alustati Eesti siseveekogudel 1920. aastate alguses. Veetemperatuuri mõõtmisi hakati tegema Eestis pärast teist maailmasõda, kui Eesti riiklik hüdroloogiateenistus oli osa NSVLi (Nõukogude Sotsialistlike Vabariikide Liit) hüdrometeoroloogiateenistusest. Tollal välja kujunenud vaatlussüsteemi alusel jätkati tööd ka taasiseseisvumise järel. (Järvet, 2001) Praegu on Keskkonnaagentuuri vaatlusvõrgus 61 hüdromeetriaama (Keskkonnaagentuur, Ilm, 2022a), kus mõõdetakse veetemperatuuri automaatselt (Keskkonnaagentuur, Ilm, 2022b).

Bakalaureusetöö eesmärk on saada ülevaade, millised on Eesti siseveekogude temperatuurimuutuste trendid. Varem on sellel teemal Eestis kirjutanud Arvo Järvet (Järvet, 2001; 2003), aga nendes töödes lõppeb aegrida 20. sajandi lõpuga. Enne Järveti töid on ilmunud lühike ülevaade 1962. aastal Eesti NSV agrokliimaatilises teatmikus, kus keskenduti 20. sajandi esimesele poolele (Eipre jt, 1962). Praegune töö otsib vastuseid küsimustele, milliseid muutusi on kaasa toonud 21. sajand, millised on vaatlusperioodi keskmised kliimaatiliste aastaegade

alguspäevad ja kestused ning kuidas need on ajas muutunud. Trendide põhjal saab teha ka oletusi, kuidas võivad muutused edasi areneda ning milline võib olla nende mõju.

Bakalaureusetöö eesmärkide saavutamiseks püstitati järgmised uurimisküsimused:

- Millised on kliimatiliste aastaegade alguse ja kestuse keskmised väärtused?
- Kui suured muutused on uurimisperiodil toimunud aastaegade alguskuupäevas ja kas need on statistiliselt olulised?
- Milliste kliimatiliste aastaegade kestused on vaatlusperioodi jooksul pikenenud ja millised lühenenud ning kas muutused on statistiliselt olulised?

Töö koosneb kolmest põhipeatükist, millest esimene on teoreetiline ülevaade, kust leiab infot kliimatiliste aastaegade uurimisest Eestis ja mõnes teises põhjapoolkera piirkonnas, millised on olnud trendid mujal maailmas, kuidas mõjutab veetemperatuuri muutus ökosüsteeme ning millised võivad olla väljavaated tulevikuks. Teises peatükis antakse ülevaade töös kasutatud andmetest ja meetodikast. Kolmas osa on pühendatud tulemuste kajastamisele ning arutelule saadud tulemuste üle.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Kliimaatiliste aastaegade uurimine Eestis

Üldkliimaatilisi aastaage ühitemperatuuri alusel on Eestis käsitletud 1960. aastate algusest, sellest on saanud traditsiooniline uurimissuund. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudil (EMHI) on aga ka veetemperatuuri ja jäänähtuste kohta olemas mahukas andmestik, mida ei olnud enne Arvo Järveti 2001. aasta veekogude kliimaatilisi aastaage käsitlevat artiklit keegi põhjalikult analüüsinud (Järvet, 2001).

Järvet toob välja, et on väga oluline uurida siseveekogude temperatuuri muutusi, sest see on sealse elustiku seisukohast üks tähtsamaid näitajaid. Veekogude kliima sõltub suuresti mitmetest meteoroloogilistest ja hüdrooloogilistest mõjutajatest. Kõige arusaadavamalt väljendub see veetemperatuuri ja jää olemasolu kaudu (Järvet, 2001). 20. sajandi esimeses pooles vabanesid Eesti jõed jääst 12. märtsist kuni 9. aprillini, peaaegu kuu aja jooksul, mis näitab, et kevade saabumine oli aeglane (Eipre jt, 1962). Soojusrežiimi mõjutab enim päikesekiirgus ja veekogu ning selle ümbruse koosmõju (Järvet, 2003). Eesti asub nii suurel geograafilisel laiusel, et päikesekiirguse hulk on aasta jooksul varieeruv, mis mõjutab suuresti ka veekogude temperatuurirežiimi (Järvet, 2001). Jõe teatud lõikudes võib oluliseks muutuda ka kaugemal asuva valglaosa mõju, sest jõe puhul mõjutab soojusseisundit ja omadusi ka selle toitumine. Põhjaveetoiteliste jõgede puhul on kliimaatilised suvi ja talv lühemad ning sügis ja kevad seetõttu pikemad (Järvet, 2001). Jõed, mis algavad Pandivere kõrgustikust, on enamikus põhjaveetoitelised (Iital *et al.*, 2005). Kevadel võtab selliste jõgede puhul soojenemine kauem aega. Praeguses töös uuritavatest jõgedest on selliseid kaks – Põltsamaa jõgi ja Valgejõgi.

Järveti 2003. aastal tehtud töö eesmärk oli analüüsida Võrtsjärve veetemperatuuri pikaajalisi ja sesoonseid muutusi, mis on olulised veekaitse ja ökoseisundi abinõude rakendamiseks (Järvet, 2003). Enamik Eesti järvi asub Lõuna-Eestis ja seega saab Võrtsjärve kohta käivas uurimuses saadud tulemusi laiendada ka teistele Mandri-Eesti väiksema sügavusega järvedele. Aastatel 1952–2000 tõusis Võrtsjärve aasta keskmine veetemperatuur 0,6 °C võrra. Kuude lõikes olid suurimad muutused aprillis ja mais ning juulis, mis on aasta kõige soojem kuu. (Järvet, 2003) Nii Võrtsjärve kui ka teiste Eesti siseveekogude puhul on aastatel 1946–1998 nihkunud talve lõpp varasemaks, soojenemine algab varem ja talv jääb lühemaks. Samas on sellel ajaperioodil jäänud ka suvi umbes kahe nädala jagu lühemaks, sest algus on nihkunud hilisemaks ja lõpp varasemaks. (Järvet, 2001)

Suurimad õhu- ja veetemperatuuri tõusud on leidnud aset just kevadel, mida on välja toodud ka teistes uurimustes. Jaagus *et al* (2017) uurisid atmosfääri tsirkulatsioonide intensiivsuse muutusi, mis on Eesti kliima suurimad mõjutajad. Arktika ostsillatsioon (AO) ja Põhja-Atlandi ostsillatsioon (NAO) tegid külmal poolaastal statistiliselt olulise pöörde soojenemise suunas 1980. aastate lõpus. (Jaagus *et al.*, 2017)

1.2 Üldklimaatilised aastaajad vs. veekogude aastaajad

Atmosfääri ja veekogu vaheline soojuse vahetus on sesoonselt erinev maismaa omast. Üldklimaatilised aastaajad on määratud õhutemperatuurist (Jaagus, 1999) ja siseveekogude omad veetemperatuurist lähtuvalt. Neid iseloomustab üldjoontes soojenev temperatuur kevadel, jahtumine sügisel, võrdlemisi püsiv temperatuurivahemik suvel ja talvel (veekogudel ka jääkate). (Järvet, 2001)

Klimaatiliste aastaegade määramise aluseks on, et iga aastaaeg peaks teistest eristuma ja olema sisemiselt võrdlemisi ühtne. Aastaegade alguse ja lõpu piiritlemisel lähtutakse varasematest vaatlusandmetest, mis teeb aastaegade mõistmise lihtsamaks ja piiride määramise kriteeriumid selgemaks. Kuid võimalusi looduslike aastaegade eristamiseks on mitmeid. (Jaagus, 2013) Eesti NSV agroklimaatilises teatmikus eristati kliimaatilisi aastaegu ööpäeva keskmise õhutemperatuuri püsiva liikumise alusel läbi seatud piiride (Maanvere, 1962). Ants Raik täiendas Maanvere kliimaatiliste aastaegade määramise süsteemi ja võttis külmal poolaastal arvesse ka lumikatte andmeid. Raik jagab aasta neljaks põhiliseks üldklimaatiliseks aastaajaks (suvi, talv, kevad, sügis) ning eristab ka nelja ülemineku aastaaega (hilissügis, eeltalve, kevadtalv ja varakevad). (Raik, 1963 *cit.* Jaagus, 2013) Jaagus on oma töödes kasutanud Raiki meetodi edasi arendust (Jaagus, 2013).

Kevadtalveks on lume sulamisperiood, mille ajal lumikatte paksus õheneb ja selle alguses on valitsevad sulailmad. Varakevad algab peale lumikatte täielikku kadumist. Kevad algab taimede vegetatsiooniperioodiga ehk ööpäeva keskmine õhutemperatuur peab tõusma püsivalt üle 5 °C. Suvi algab siis, kui ööpäeva keskmine temperatuur on tõusnud püsivalt üle 13 °C. Sügis algab aga siis, kui temperatuur on püsivalt langenud alla 13 °C, hilissügis temperatuuri püsival langemisel alla 5 °C, eeltalv koos esimese ajutise lumikattega ja talv saabub koos püsiva lumikatte moodustumisega (Jaagus, 2013).

Üldklimaatilised aastaajad on suurema varieeruvusega kui veekogude kliimaatilised aastaajad. Veekogudel ilmneb termilise inertsuse tõttu sügisel soojendav ja kevadel jällegi jahutav toime,

mis pikendab ülemineku aastaaegu. See toob kaasa kliimaatiliste aastaegade alguskuupäevades umbes kuupikkuse erinevuse ja kestuses üle pooleteise kuu pikkuse erinevuse võrreldes üldkliimaatiliste aastaategadega (Järvet, 2001). Lisaks on üldkliimaatilistel aastaegadel territoriaalsed erinevused, mis veekogudel Eesti mõistes selgelt välja ei joonistu (Jaagus, 1999). Kriteeriumide paikapanek aitab võrrelda aastaegade saabumist ja kestust eri paigus eri aastatel ning hinnata territoriaalseid erinevusi. (Järvet, 2001)

Jäävabal perioodil võttis Järvet kliimaatiliste aastaegade hindamise aluseks ööpäeva keskmise veetemperatuuri, sest ööpäevase keskmise pidevat tõusu ja langust ei esine just tihti. Jäänähtustega seotud aastaegadel on aga hea tugineda veetemperatuuri asemel jää esinemisele, sest see on üldmõistetav efekt, mida fikseeritakse täpselt. Jäänähtuste esinemise järgi on hea eristada suve- ja talvepoolaastat. (Järvet, 2001)

Jääkatte olemasolul väheneb hapniku hulk vees, sest õhuhapniku difusioon vette on raskendatud (Fang, Stefan, 1994). Koos madala temperatuuriga pärsib see elutegevust (Kelly, Chynoweth, 1981). Temperatuuri tõustes kevadel hakkab elutegevus veekogudes elavnema, eriti suureneb fütoplanktoni teke ehk primaarproduktioon. Oluliseks muutuseks loetakse ööpäevase keskmise temperatuuri tõusu üle 10 °C, sest siis intensiivistuvad veekogus järsult bioloogilised protsessid (maismaal loetakse oluliseks temperatuuri püsivat tõusmist üle 5 °C). Fütoplanktoni ja suurtaimestiku kasv intensiivistub veel rohkem 15 °C juures, mis on võetud ka järgmiseks verstepostiks, mis näitab üleminekut suvisele perioodile. Kui temperatuur langeb püsivalt alla 15 °C, on tegemist juba sügisega. Kevad on antud kliimaatiliste aastaegade klassifikatsioonis määratud pärast talve tuleva perioodina, kui veetemperatuur on püsivalt üle 4 °C. (Järvet, 2001) Sarnaseid klassifikatsioone kasutatakse ka selle töö andmeanalüüsis.

Veekogudel saab kõige lihtsamalt eristada kahte põhiaastaaga, milleks on suvi ja talv. Sellesse loetellu võib lisada ka sügise, sest see on eelnevatega peaaegu sama pikk ja selle üldiseks iseloomujooneks on pikal perioodil toimuv veetemperatuuri üldine langus. Veekogu soojusliku inertsi tõttu võtab sügisene jahtumine kauem aega kui kevadine soojenemine. Lisaks põhiaastaegadele on veel neli ülemineku aastaaga – varakevad, hiliskevad, hilissügis ja eeltalv. (Järvet, 2001)

1.3 Kliimaatilised aastaajad ja veetemperatuuri muutus teistes põhjapoolkera piirkondades

Pinnavee temperatuur Euroopa järvedes on tõusnud viimastel kümnenditel 0,21–0,54 °C igal dekaadil, aga soojenemistes on regionaalsed erisused (O'Reilly, *et al.*, 2015).

Soome territoorium on põhja-lõuna suunas väga pikk ja sellepärast on seal ka suured kliimaatilised erinevused. Kliimaatiline talv algab Lapimaal oktoobri lõpus ja Lõuna-Soome rannikualadel detsembri alguses, järvede sügavaimad osad külmuvad detsembri lõpuks ja erandlikel juhtudel, kui on soojemad aastad, võib talve algus ja sügavate järvede külmumine lükkuda jaanuari (Korhonen, 2005). Talve algus varieerub rohkem Soome lõunaosas mere läheduses, Põhja-Soomes on erinevused järvede vahel väiksemad (Leppäranta, 2014). Varakevad algab Soome järvedel esimesena Lõuna-Soomes keskmiselt 30. aprillil ja põhjaosas on algus juuni esimeses pooles. Talve kestus on Lõuna-Soome rannikul alla 140 päeva ja põhjas üle 220 päeva. Soome jõgede kliimaatilisi aastaaegu mõjutab enim sulavee hulk, sest sulavesi moodustab Soome jõgede äravoolust väga suure osa. (Korhonen, 2006) Lumesulast tulenev vesi võib mängida väga suurt rolli üleüldises veetemperatuuri varieeruvuses (Smith, 1975).

Talvel moodustuva jääkatte tekke ja varakevadel sulamise aeg on Soomes selges korrelatsioonis keskmiste õhutemperatuuriga. Jäänähtuste esinemise aeg mõjutab omakorda kliimaatiliste aastaegade üleminekuid. Õhutemperatuuri vaheline seos on olemas ka kevadisel soojenemisel ja sügisesel jahtumisel. (Leppäranta, 2015) Inglismaal on aga täheldatud, et suurimad korrelatsioonid õhutemperatuuri ja veekogude vahel on ojad, mille vooluhulk on väike, sellistel juhtudel ei ole õhu- ja veetemperatuuri erinevused suured (Macan, 1958).

Benson *et al* leidsid oma uurimuses, et korrelatsioonid õhutemperatuuri ja siseveekogude temperatuuri vahel tulevad paremini välja väiksel skaalal, kus on tehtud vähem üldistusi. Tehes samasuguseid arvutusi terve põhjapoolkera järvede kohta, kus oli andmete keskmistatus palju suurem, ei saadud statistiliselt nii suure olulisusega seoseid, kui vaid Soome kohta arvutusi tehes. (Benson *et al.*, 2012)

Poolas on täheldatud kliimasoojenemist alates 19. sajandi keskpaigast (Przybylak, 2011). Soojenemine kiirenes alates 1950-ndatest, sealt edasi on soojenemine toimunud keskmiselt 0,2 °C iga kümne aasta kohta (Wójcik, 2014, *cit.* Hutorowicz, 2020). Õhu- ja veetemperatuuri trendide vahel on olemas selge korrelatsioon, tugevad seosed on ka kuukeskmises temperatuuris (Hutorowicz, 2020).

Laialdasem järvede veetemperatuuri mõõtmine algas Poolas 1956. aastal (vaid kahel järvel) ja seetõttu ei ole väga pikki aegridu. (Hutorowicz, 2020) 20. sajandi keskpaiga andmete tuginedes on Poolas tehtud kliimaatiliste aastaegade uuringuid, kuid määrati vaid neli aastaega. Talveks loeti periood, kus temperatuur jäi alla 2 °C, kevadel, mis kestis keskmiselt aprillist maini, toimus järsk temperatuuri tõus kuni 8 °C. Suvisel aastaajal oli pinnavee temperatuur võrdlemisi stabiilne ja sügisel (septembrist novembrini) toimus temperatuuri langemine talvisele tasemele. Maksimaalne temperatuur ilmnes juulis, vahel ka augustis, ja minimaalne jaanuaris või veebruaris. (Chojnowski, 1972, *cit.* Hutorowicz, 2020)

Kuuel Poola järvel tehtud temperatuurianalüüs perioodil 1961–2000 näitas, et vaatamata üldisele temperatuuri tõusule aastate lõikes on suveperioodil temperatuur järvedes langenud (Dabrowski, 2004). Kümne Kirde-Poolas asuva järve temperatuuri võrreldes jõudis Hutorowicz tulemuseni, et aastatel 2010–2019 oli keskmised juuni ja juuli temperatuur madalam kui aastatel 1951–1963. Juunis oli keskmise muutus –0,73 °C, juulis –0,49 °C, aga augustit ja septembrit võrreldes oli toimunud varasemaga võrreldes soojenemine, vastavalt 0,39 °C ja 0,47 °C. (Hutorowicz, 2020)

Saksamaal on õhutemperatuuri andmed olemas juba aastast 1881, mis võimaldab sealset kliimat analüüsida väga pikal ajaskaalal (Deutscher Wetterdienst, 2022a). Nagu globaalseltki, on kliimasoojenemine Saksamaal juba pikem trend, mis jätkub ka tulevikus. Kliimasoojenemine muudab Saksamaal suved kuumemaks ja talved pehmemaks, suureneb ekstreemsete ilmastikunähtuste hulk. (Deutscher Wetterdienst, 2022b) Suurim soojenemine on toimunud põhjapoolkera suurematel laiustel, kus asub ka Eesti (Jaagus jt., 2002). Kliima soojenemisega kaasnevad põhijooned on Eestis samad mis Saksamaal. Õhu- ja veetemperatuuri korrelatsiooni tõttu järgivad tõusutrendi ka Saksamaa veekogud (Korte, Sommerhäuser, 2011). Sama trendi näitas ka Saksimaa liidumaa jõgedel tehtud uuring. Elbe jõel tehtud mõõtmistulemuste osas märgiti ära, et jõe veetemperatuur püsib sügisel kõrgemal, kui õhutemperatuur, sest õhk jahtub kiiremini kui vesi. Veetemperatuuri muutus on õhutemperatuuri muutusega umbes 12-päevases nihkes. (Schneider *et al.*, 2011)

Hüdroloogiliste tingimuste muutusi on uuritud ka Põhja-Ameerikas, kus Kanada ja Ameerika Ühendriikide koostöös monitooritakse ja uuritakse Suurt järvistut. Muutuste uurimine Suures järvistus on väga oluline, sest seal on 20% maailma mageveest, see mõjutab üle 30 miljoni inimese igapäevaelu ning seal elab palju liike (Magnuson *et al.*, 1997). Dobiesz ja Lester tuvastasid Suure järvistu piirkonnas ajavahemikus 1968–2002 õhutemperatuuri tõusu 1,3 °C

võrra. Sama perioodi augustikuu veetemperatuur Erie järves oli tõusnud, aga ühegi mõõtejaama temperatuurikasv ei olnud statistiliselt oluline. Ontario järves oli aga temperatuuri tõus neljast mõõtejaamast kolmes statistiliselt oluline, sealne temperatuur tõusis 34-aastase perioodi jooksul 1,6 °C. Suurim tõus oli aga Huroni järve augustikuu temperatuuris, kus kuuest mõõtejaamast kolmes oli muutus statistiliselt oluline. Järve keskmine temperatuuri tõus oli lausa 2,9 °C. (Dobiesz, Lester, 2009) Soojenemine ilmnes ka pikema aegrea ulatuses. 1999. aasta uurimuses leiti, et Suure järvestu seitsmest järvest viies on toimunud temperatuuri tõus 86-aastase perioodi jooksul (1906–1992) ja samas on pikenenud ka kliimaatiline suvi. (McCormick, Fahnenstiel, 1999) Kliimaatilise talve pikkus on aga lühenenud (Jones *et al.*, 2006).

Läti seitsme suurima järve temperatuure analüüsid leiti, et vahemikus 1946–2002 on aasta keskmine vee pinnatemperatuur statistiliselt oluliselt tõusnud kuues järves. Uurimisperioodi viimase 15 aasta jooksul tõusis temperatuur järvedes 0,4–0,8 °C. Lätis on veetemperatuur järvedes kõrgeim juulis ja augustis. Märtsis, aprillis ja mais tõusis seitsmest järvest kuuel veetemperatuur statistiliselt olulisel määral. Kahel järvel seitsmest tõusis oluliselt keskmine temperatuur ka juulis, neljal järvel augustis ja nii novembris kui ka detsembris toimus oluline soojenemine ühel järvedest. (Apsite *et al.*, 2014)

1.4 Olulised tegurid Eesti siseveekogude hüdrooloogilisel uurimisel

Järvedes toimub pidev vertikaalne vee liikumine. Sellepärast on väga oluline temperatuuri muutus üle või alla 4 °C (täpsemalt 3,94 °C), sest siis on vesi suurima tihedusega. Kui kogu veekogus on temperatuur langenud 4 °C-ni, ei toimu enam vee segunemist, sest suurim tihedus on saavutatud. Jääkate tekkimise järel ei toimu olulisi veekogu soojusseisundi muutusi (Järvet, 2001).

Võrtsjärve keskmine sügavus on 2,8 meetrit, sügavaim koht ulatub 6 meetrini. Suurvee ajal tõuseb keskmine sügavus 1,4 meetri võrra. (Järvet *et al.*, 2004) Järve pindala on 270 km² (Eipre jt, 1962). Oma madala veetaseme tõttu ei toimu üldjuhul Võrtsjärves vee kihistumist. Suvisel poolaastal on pinna- ja põhjavee kihtide temperatuuri erinevus 0,1 °C lähedal ja tuulevaiksetel päevadel võib erandkorras erinevus tõusta kuni nelja kraadini. (Laas *et al.*, 2012) Võrtsjärve veetemperatuuri mõõtmised algasid 20. sajandi keskel, kui oli külmem periood, edaspidi õhutemperatuur tõusis. Seega peaks soojenemist olema näha ka veetemperatuuris. (Järvet, 2003)

Peipsi järve keskmine sügavus on 8 meetrit ja maksimaalne sügavus 15 m. Järv on kaetud jääga detsembrist aprillini (Tammeorg *et al.*, 2015). Peipsi järve voolab palju jõgesid, aga väljavool on vaid Narva jõe kaudu. Järve temperatuur seguneb hästi tänu tuulele ja hoovustele. (Haberman *et al.*, 2010) 1960-ndatel oli järv jääkatte all kuni pool aastat, aga nüüd on jääkatte periood jäänud lühemaks (Blank *et al.*, 2009). Kõige soojem kuu on juuli ja vahel ka august (Haberman *et al.*, 2010).

Emajõgi ühendab kahte Eesti suurimat järve, saades alguse Võrtsjärvest ja suubudes Peipsi järve. Jõe pikkuseks on 101 km. Tegemist on tüüpilise madalamal alal asuva jõega, mille lang on väike (3,6 m). Väike lang on ka aeglase voolu põhjuseks, mis laseb Emajõel esimeste seas saada jääkatte. (Eipre jt, 1962)

Vihterpalu jõgi voolab pikalt läbi Suursoo (Eesti Entsüklopeedia, 2003) ja metsaste alade. Ka läbi soo voolamine mõjutab jõe veetemperatuuri, sest soostunud aladel on jõed enamasti aeglasema vooluga (Järvet, 2001).

1.5 Kliimanäitajate mõju veelistele ökosüsteemidele

Veetemperatuur on üks tähtsamatest abiootilistest teguritest, mis määrab ära veelise ökosüsteemi olemuse (Skowron, 2017). Edela-Saksamaal läbi viidud uurimus tõdeb, et kliimasoojenemine soojendab ka jõgede temperatuuri ning seeläbi mõjutab see vooluveekogude kooslusi (Korte, Sommerhäuser, 2011). Soojalembelised liigid võivad sellest ja saavad oma leviala laiendada, hõivates temperatuuri tõusmise tõttu juurde tekkinud nišše, kuid jõgede põliselanikele muutuvad tingimused halvemaks (Tittizer, 2001). See annab võimaluse ka invasiivsetele liikidele põlisliikide suuremaks tõrjumiseks (Orendt *et al.*, 2010). Soojema poolaasta pikenedes on probleemiks ka pikem öitsenguaeg (Ficke *et al.*, 2007).

Ekstreemsete ilmastikuolude ilmnemisel suureneb ka tõenäosus kalade massiliseks suremiseks (Kangur *et al.*, 2016). Selleks tingimuseks võib olla ka ekstreemne kuumus, aga ainult kõrge veetemperatuuri pärast surevad kalad looduses suhteliselt harva (Mundahl, 1990). Ka Eestis leidub kalade massilisi suremisi, üks neist leidis aset 2013. aastal Võrtsjärves, kui veetemperatuur oli juunis ja juulis tavapärasest kõrgemad. Juba varakevadel tõusis temperatuur väga kiiresti, 26. aprillil kadus järvelt jää ja 21. maiks oli temperatuur juba 23,5 °C. Ebaharilikult kõrge veetemperatuur oli üks põhjustest (lisaks ebatavaliselt kõrgele pH-le ja vähesele vees lahustunud hapnikule), miks Võrtsjärve kalad massiliselt surid. (Kangur *et al.*, 2016)

1.6 Võimalikud veetemperatuuri trendid tulevikuks

21. sajandil jätkub õhutemperatuuri ja maailmamere soojenemine (IPCC, 2014), muutudes ajas intensiivsemaks. Edasine õhutemperatuuri tõus sellel sajandil jääb 1,8–4 °C vahele (IPCC 2007). Kui suurenevad veelgi kasvuhoonegaaside emissioonid, kiireneb kliimasoojenemine veelgi. Vähenev lumikate ja jää veekogudel kiirendab talvede soojenemist, sest kui pole valget lund ja jääd, väheneb tagasipeegelduva päikesekiirguse hulk. Veekogude režiimi mõjutab ka aurustumise suurenemine ja sademete aastase hulga suurenemine, suvel jääb sademeid aga vähemaks. (BACC, 2015)

Trumpickas *et al.* lõid 2009. aastal Suure järvistu põhjal mudeli, millega ennustada tuleviku veetemperatuuri. Loodud mudeliga saadi teada, et aastatel 2071–2100 võib temperatuur olla praegusest 3,3–6,7 °C kõrgem. Helgema stsenaariumi kohaselt jääb veetemperatuuri tõus 2,4–4,6 °C vahele ja kliimaatiline kevad võib nihkuda 35–47 päeva varasemaks ning helgema stsenaariumi korral 24–31 päeva varasemaks. Sügis võib nihkuda hilisemaks vastavalt 26–51 päeva või 18–36 päeva. (Trumpickas *et al.*, 2009)

Siseveekogudest on enim mõjutatud suurematel laiustel asuvad jõed ja järved, sest seal on ka suurimad muutused õhutemperatuuris ja lumikatte kestuses ning ulatuses (BACC, 2015).

2. Andmed ja metoodika

2.1 Andmete kirjeldus

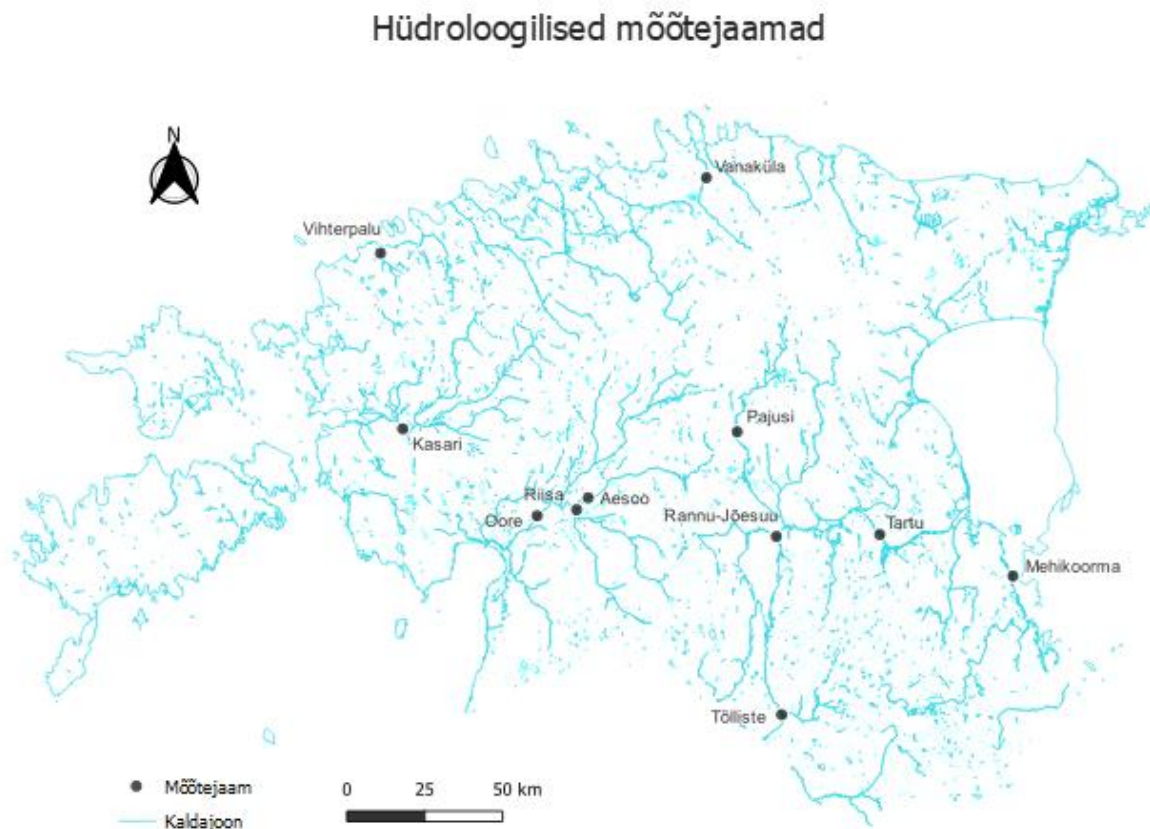
Bakalaureusetöö põhineb Eesti siseveekogude veetemperatuuri andmetel, mille kaudu on arvutatud kliimatiliste aastaegade algused ja kestused. Andmerekad algavad aastast 1945 ja viimased andmed on aastast 2020. Andmed pärinevad Arvo Järveti isiklikust kogust, kes sai need Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi fondist. Mõõtmisi koordineeris ENSV ajal Nõukogude Liidu hüdro meteoroloogiateenistus ja hiljem Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI) (Järvet, 2001). Praegu on veetemperatuuri mõõtmise ülesanne Ilmateenistusel, mis kuulub Keskkonnaagentuuri alla (Keskkonnaagentuur, 2022c).

Käesoleva töö andmetöötlus algas sobivate siseveekogude leidmisest, mille temperatuurimuutust ajas uurida. Valiku tegemisel oli kõige suuremaks mõjutajaks andmeridade terviklikkus. Algne soov oli kasutada töös rohkemate jõgede veetemperatuuri andmeid, et oleks võimalik uurida ka territoriaalset muutlikkust. Aegriade katkendlikkuse tõttu ei olnud see aga võimalik ja terviklike andmeridadega jõgede vähesuse tõttu ei saanud territoriaalset muutlikkust hinnata. Mitmete jõgede puhul on mõõtmistes sees pikemad lüngad ja sellised andmerekad ei ole järeltuste tegemiseks piisavad. Lõppvalikusse jäi üheksa jõge: Põltsamaa, mille mõõtmispunkt asub Pajusil, Vihterpalu mõõtmispunktiga Vihterpalus, Väike-Emajõgi (Tõlliste), Valgejõgi (Vanaküla), Pärnu jõgi (Oore), Navesti (Aesoo), Kasari (Kasari), Halliste (Riisa) ja Emajõgi, mille mõõtepost asub Tartu kesklinnas (joonis 1).

Algselt oli kavas analüüsida kõikide valitud jõgede puhul veetemperatuuri aastatel 1945–2020, kuid lähemal vaatlusel selgus, et suures osas puudusid andmed aastate 2008–2017 kohta. Pajusi mõõtejaama andmetes oli lünk juba alates 2005. aastast, Vihterpalu ja Oore andmerida oli pidev aastani 2009, Tõlliste kuni aastani 2007 ja Kasari kuni aastani 2008. Varieeruvusi oli sees ka andmeridade algusaastates – Vihterpalu jaam alustas mõõtmisi alles 1948. aastal, kõigist teistest valitud jaamadest on mõõtmistulemused olemas alates 1946. aastast (Kasari, Navesti, Halliste, Emajõe ja Põltsamaa jõe andmerekad algavad juba 1945. aastast). Andmete kättesaadavust arvestades kujunes uuritavaks ajavahemikuks 1946–2010, sest see 65 aasta pikkune andmerida oli võimalik saada kõige terviklikumalt.

Järvede puhul analüüsiti Peipsi järvel asuva Mehikoorma (joonis 1) mõõtmispunkti andmeid, mis on olemas ilma lünkadeta 1947. aastast kuni 2017. aastani. Teiseks valitud järveks on Võrtsjärv, mille temperatuuri andmed pärinevad Rannu-Jõesuu mõõtejaamast (joonis 1).

Võrtsjärve aegrida algab samuti aastaga 1947, aga selles andmearas on sees lünk vahemikus 2011–2016. Sellepärast on järvede puhul valitud võrdlemiseks periood 1947–2010. Peipsi järve kliimatiliste aastaegade rida pikendati 2017. aastani. Tuleb silmas pidada, et järvede mõõtepunktid võivad olla mõjutatud asukohast. Rannu-Jõesuu mõõtepost asub Võrtsjärvest vee väljavoolu ja Emajõkke sissevoolu kohas ning Mehikoorma mõõtepunkt asub Mehikoorma sadama sapis.



Joonis 1. Hüdroloogilised mõõtejaamad, mille veetemperatuuri andmeid kasutati (mõõtejaamade koordinaadid: Keskkonnaagentuur; aluskaart: Maa-amet 13.05.2022).

2.2 Metoodika

Selleks, et võrrelda jõgede ja järvede veetemperatuuri muutust, määrati kliimatilised aastaajad. Aastaegade piirid on võetud sarnased neile, mida oli varasemates töodes kasutanud Arvo Järvet (Järvet, 2001; 2003), et oleks võimalik varasemaid töid praegusega kõrvutada. Järvet on oma varasemates töodes kasutanud seitset kliimatilist aastaaga (varakevad, kevad, suvi, sügis, hilissügis, eeltalv ja talv) (Järvet, 2001). Selles töös on neile kuuele aastaajale lisatud juurde

hiliskevad, mil temperatuur on vahemikus 10–15 °C. Aastaaegade määramisel võeti arvesse ka temperatuuri tõusu üle 10 °C ja sügisel ka sellest alla langemist. Põhjuseks on see, et kui veekogu temperatuur tõuseb üle 10 °C, intensiivistuvad seal bioloogilised protsessid (Järvet, 2001) ja seega on oluline teada ka selle perioodi algust.

Määratud on temperatuuri üleminekukuupäevad kogu uurimisperioodi ulatuses. Kuupäevaliselt on märgitud, millal tõusis veetemperatuur püsivalt üle 0,2 °C, 4 °C, 10 °C ja 15°C, suve maksimaalne temperatuur ning sügisel temperatuuri alanedes jällegi kuupäevad, millal temperatuur langes püsivalt alla 15 °C, 10 °C, 4 °C ja 0,2 °C. Aastaaeg, kui veekogude soojenedes temperatuur tõusis üle 0,2 °C ja jäi alla 4 °C, määrati varakevadeks, vahemik 4–10 °C kevadeks, 10°–15 °C hiliskevadeks, periood, kui temperatuur oli üle 15 °C, suveks. Veekogude jahtudes määrati vahemik 15°–10 °C sügiseks, 10°–4 °C hilissügiseks, 4°–0,2 °C eeltalveks ja vahemik, kui temperatuur olid püsivalt alla 0,2 °C, talveks. Järveti varasemates töodes defineeriti kliimaatilist talve kui perioodi, mil veekogu oli jääkatte all (Järvet, 2001; 2003). Praeguses töös ei kasutatud kliimaatiliste aastaaegade defineerimisel jääkatte andmeid, sest peale 1998. aastat puudusid andmed jääkatte esinemise kohta. Seega otsustati kliimaatilised aastaajad määrata vaid temperatuuri püsivate üleminekute kaudu.

Kasutada olnud andmestikus oli Arvo Järvet eelnevalt määranud kliimaatiliste aastaaegade üleminekud aastatel 1945–1997, edasised kuupäevad aastatel 1997–2010 (ja Peipsi järve puhul kuni 2017. aastani) määras autor vastava ajavahemiku mõõtmistulemuste põhjal. Püsiv temperatuuri tõus või langus vastavalt seatud piiridele tehti kindlaks kõigi valitud perioodil tehtud mõõtmistulemuste põhjal. Andmestikes on enamasti kirjas iga päeva kohta kaks kuni neli mõõtmistulemust (hommikul kell 6.00 ja õhtul 18.00, kui mõõtmisi tehti kolm korda päevas, oli mõõtmine ka 20.00, ja kui neli korda, lisandus mõõtmine hommikul 8.00). Jõgede veetemperatuuri mõõdetakse jõe põhjast (Keskkonnaagentuur, 2022b). Kliimaatiliste aastaaegade määramisel oli määravaks päeva keskmine temperatuur, mitte iga päeva iga mõõtmine eraldi.

Varem määratud kuupäevades ei olnud Rannu-Jõesuu mõõtejaama kohta märgitud temperatuuri üleminekuid 0,2 °C puhul ja sellepärast ei lisatud Võrtsjärve analüüsi talve ja varakevade muutusi. Määratud kuupäevad koondati Excelisse (*Microsoft Excel* 2010), kus toimus kogu andmetöötlus ja graafikute ning tabelite koostamine. Igast määratud temperatuurist üles tõusmised ja alla langemised koondati eraldi töölehtedele, kus olid koos kõigi mõõtejaamade üleminekukuupäevad. Iga temperatuuri ülemineku puhul leiti iga

mõõtejaama kohta üleminekute keskmine kuupäev, standardhälve, varaseim ja hiliseim ülemineku kuupäev, tõus ja muut kogu vaatlusperioodi ulatuses, korrelatsioon, p -väärtus ehk olulisuse tõenäosus, et oleks võimalik öelda, kas tulemus on statistiliselt oluline (olulisusnivooks $p < 0,05$).

Valitud jõgede aegridades esines lünki ja seda ka varem määratud kuupäevades. Kui kõik võimalikud kliimaatiliste aastaegade üleminekud said ära määratud, koostati korrelatsioonitabel (lisa 1) ning täideti lüngad sarnaselt kõige suuremas korrelatsioonis olnud jõgede andmetega. Kuupäevad, mis määrati jõgede omavahelisi korrelatsioone kasutades, esitati andmetabelis sinise värviga, et oleks võimalik eristada korrelatsiooni ja temperatuuri andmetel määratud kuupäevi (lisa 2). Valitud järvede mõõtejaamade andmetes lünki ei esinenud.

Jälgides temperatuuri üleminekute muutuste aegrida on võimalik näha kliimamuutuste mõju Eesti siseveekogude temperatuurile. On näha kas ja millises suunas on liikunud kliimaatiliste aastaegade algused viimase 64 aasta jooksul. Huvitav on jälgida ka seda, kuidas on ajas muutunud kliimaatiliste aastaegade kestus.

Kliimaatiliste aastaegade kestuste uurimiseks leiti kõigepealt kõigi kliimaatiliste aastaegade kestused iga aasta ja iga mõõtejaama kohta. Kestuste leidmiseks lahutati kliimaatilise aastaaja lõpukuupäevast sama aastaaja alguskuupäev. Talve arvutamise jaoks tuli lisaks lahutustehele liita vastusele 365 ehk päevade arv aastas, sest talve alguse ja lõpu kuupäevad on eri aastatel (nende vahele jääb aastavahetus). Liigaasta erisusega antud töös ei arvestatud. Pärast kliimaatiliste aastaegade kestuste leidmist arvutati iga mõõtejaama keskmine aastaegade kestus, tõus, muut, korrelatsioon ja p -väärtus. Saadud tulemused koondati kokku tabeliteks ja neist tehti tulemusi illustreerivaid graafikuid, millega saab koos selgitustega tutvuda tulemuste peatükis.

Lisaks koostati mõõtejaamade asukohtadega kaart (joonis 1), kasutades programmi QGIS (QGIS Desktop 3.22.4). Aluskaart on saadud Maa-ameti geoportaalist ja mõõtejaamade koordinaadid Keskkonnaagentuuri leheküljelt ilma alateema alt.

3. Tulemused ja arutelu

3.1 Kliimaatiliste aastaegade alguse ja kestuse statistiline kirjeldus

3.1.1 Varakevad

Kõige varem algab varakevad (temperatuur tõuseb üle 0,2 °C) keskmiste alguskuupäevade järgi Emajõe Tartu mõõtejaamas (17. märtsil) ja kõige hiljem Vanakülas (4. aprillil) (tabel 1). Vanaküla mõõtejaama kõige hilisemat varakevade algust saab seletada jõe põhjaveelise toitelisusega, sest põhjavesi lisab jõe pidevalt külma vett juurde. Isegi kui õhutemperatuuri tõus ja päikesekiirguse hulga kasv juba jõge soojendavad, ei lase see temperatuuril nii kiiresti tõusta. Võiks arvata, et Peipsi järve soojenemine võtab rohkem aega, sest tegemist on väga suure veemassiga, aga tegelikkuses jääb Peipsi varakevade algus 31. märtsil jõgede keskmiste hulka.

Tabel 1. Keskmised kliimaatiliste aastaegade alguse kuupäevad 1946–2010 (kaldkirjas on märgitud iga aastaaja varaseim ja hiliseim kuupäev).

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara- kevad	Kevad	Hilis- kevad	Suvi	Sügis	Hilis- sügis	Eel- talv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	26. märts	18. apr	13. mai	9. juuni	29. aug	26. sept	4. nov	8. dets
Vihterpalu, Vihterpalu	1. apr	18. apr	14. mai	8. juuni	30. aug	27. sept	4. nov	6. dets
Väike- Emajõgi, Tõlliste	23. märts	14. apr	6. mai	30. mai	29. aug	27. sept	1. nov	8. dets
Valgejõgi, Vanaküla	4. apr	19. apr	14. mai	10. juuni	26. aug	24. sept	4. nov	4. dets
Pärnu, Oore	1. apr	16. apr	6. mai	29. mai	5. sept	1. okt	6. nov	7. dets
Navesti, Aesoo	31. märts	17. apr	7. mai	4. juuni	3. sept	30. sept	6. nov	10. dets
Kasari, Kasari	30. märts	16. apr	6. mai	30. mai	6. sept	2. okt	6. nov	11. dets
Halliste, Riisa	31. märts	15. apr	6. mai	2. juuni	5. sept	1. okt	7. nov	6. dets

Emajõgi, Tartu	<i>17. märts</i>	16. apr	<i>4. mai</i>	2. juuni	6. sept	1. okt	4. nov	4. dets
Mehikoorma, Peipsi	31. märts	<i>21. apr</i>	9. mai	<i>28. mai</i>	<i>7. sept</i>	<i>2. okt</i>	2. nov	27. nov
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		17. apr	7. mai	<i>28. mai</i>	<i>7. sept</i>	1. okt	<i>30. okt</i>	

Keskmine varakevade algus jääb siseveekogudel 19-päevasesse vahemikku, mis näitab, et varakevade algus on väga suure varieeruvusega. Alguskuupäevade standardhälve Tölliste mõõtejaamas ulatub 18,4 päevani, mis on üks suurimatest standardhälbe väärtustest (tabel 2).

Tabel 2. Kliimatiliste aastaaegade alguskuupäevade standardhälve aastail 1946–2010.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara-kevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	16,6	7,9	11,7	16	11,4	9,9	15,6	18,4
Vihterpalu, Vihterpalu	15,0	7,9	10,9	14,6	9,1	10,2	14,2	17
Väike-Emajõgi, Tölliste	18,4	7,6	8,5	10,4	7,9	9,4	14,2	16,8
Valgejõgi, Vanaküla	15,2	7,7	11,5	13,0	9,7	9,3	14,7	17,9
Pärnu, Oore	14,8	6,7	9,1	10,2	9,1	8,6	14,2	17,1
Navesti, Aesoo	17,8	7,2	8,9	12,1	9,7	10,3	14,3	19,0
Kasari, Kasari	15,2	6,3	8,5	9,8	9,9	9,0	13,0	16,3
Halliste, Riisa	14,0	7,2	8,2	12,9	8,5	8,7	14,7	16,0
Emajõgi, Tartu	13,1	7,4	9,0	10,5	7,6	9,1	13,5	18,4
Mehikoorma, Peipsi	13,8	8,9	8,5	10,3	7,6	9,9	12,0	17,9
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		7,0	7,7	11,1	7,6	10,3	12,1	

Kõige varem on varakevad alanud 21. jaanuaril 1989 Tölliste mõõtejaamas, kus on olnud ka kõige varasem kevade algus (tabel 3), ja kõige hiljem algas varakevad 29. aprillil 1956 Vanakülas (tabel 4), kus on olnud ka kõige hilisem suve algus. Kõige varasemaid varakevade

alguskuupäevi võrreldes jääb silma, et kuupäevad on lausa kuu pikkuse vahega. Mehikoorma mõõtejaamas on varaseim varakevad alanud kuu hiljem kui jõgedel. See tuleneb sellest, et järvedel on suurem termiline inertsus kui jõgedel (Järvet, 2001), sest järvede puhul on tegemist suuremate veemassidega. Järvedel püsib jääkate palju kauem kui jõgedel. Kõige hilisemate üleminekute seas nii suuri erinevusi ei ole.

Varakevade keskmine kestus jääb 15,1 (Oore) ja 29,4 (Tartu) päeva vahele (tabel 5). Seega on ainuüksi jõgedel kõige lühema ja kõige pikema keskmise varakevade kestuse vahe kahekordne. Emajões tõuseb temperatuur kõige varem üle 0,2 °C ja see võimaldab varakevadel ka kõige kauem kesta. Oores on varakevad lühim, sest seal algab aastaag teiste mõõtejaamadega võrreldes suhteliselt hilja. Peipsi järve varakevade keskmine pikkus jääb 20,6 päevaga jõgede keskmiste sekka (tabel 5). Uurimisperioodi kõige lühem varakevad on kestnud vaid ühe päeva Valgejõel. Teistes jaamades on lühim varakevad kestnud kaks kuni viis päeva (tabel 6). Pikim varakevad on olnud Väiksel Emajõel, kus see kestis 76 päeva ja Põltsamaal 71 päeva (tabel 7). Varakevade kestuse suurim varieeruvus on Mehikoorma mõõtejaamas, kus standardhälve on 16 päeva ja väikseim Riisal (11 päeva) (tabel 8).

Tabel 3. Kõige varasemad kliimaatiliste aastaegade alguse kuupäevad aastatel 1946–2010 (iga aastaaja kohta kõige varasem ja hilisem kuupäev on märgitud kaldkirjas).

Jõgi/järv, mõõtejaam	Varakevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	23. jaan	<i>3. apr</i>	<i>23. apr</i>	6. mai	<i>27. juuli</i>	<i>5. sept</i>	6. okt	30. okt
Vihterpalu, Vihterpalu	1. veeb	29. märts	21. apr	11. mai	4. aug	<i>5. sept</i>	<i>8. nov</i>	6. nov
Väike-Emajõgi, Tõlliste	<i>21. jaan</i>	<i>18. märts</i>	19. apr	5. mai	10. aug	12. sept	11. okt	30. okt
Valgejõgi, Vanaküla	1. veeb	29. märts	<i>23. apr</i>	<i>17. mai</i>	3. aug	6. sept	6. okt	3. onv
Pärnu, Oore	1. veeb	31. märts	20. apr	6. mai	8. aug	11. sept	13. okt	<i>10. nov</i>
Navesti, Aesoo	22. jaan	29. märts	21. apr	11. mai	6. aug	1. sept	11. okt	7. nov

Kasari, Kasari	2. veeb	29. märts	20. apr	8. mai	8. aug	11. sept	12. okt	6. nov
Halliste, Riisa	3. veeb	19. märts	20. apr	7. mai	8. aug	11. sept	11. okt	6. nov
Emajõgi, Tartu	30. jaan	20. märts	<i>17. apr</i>	13. mai	<i>25. aug</i>	<i>13. sept</i>	9. okt	<i>13. okt</i>
Mehikoorma, Peipsi	<i>21. veeb</i>	28. märts	22. apr	<i>4. mai</i>	24. aug	11. sept	7. okt	16. okt
Rannu- Jõesuu, Võrtsjärv		22. märts	21. apr	<i>4. mai</i>	23. aug	12. sept	<i>27. sept</i>	

Tabel 4. Kõige hilisemad kliimaatiliste aastaegade alguse kuupäevad aastatel 1946-2010 (iga aastaaja kohta kõige varasem ja hilisem kuupäev on märgitud kaldkirjas).

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara- kevad	Kevad	Hilis- kevad	Suvi	Sügis	Hilis- sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	23. apr	<i>7. mai</i>	<i>20. juuni</i>	<i>25. juuli</i>	29. sept	24. okt	18. dets	25. jaan
Vihterpalu, Vihterpalu	28. apr	5. mai	6. juuni	20. juuli	18. sept	20. okt	18. dets	25. jaan
Väike- Emajõgi, Tõlliste	24. apr	3. mai	<i>27. mai</i>	26. juuni	<i>17. sept</i>	26. okt	18. dets	26. jaan
Valgejõgi, Vanaküla	<i>29. apr</i>	5. mai	<i>20. juuni</i>	14. juuli	<i>17. sept</i>	<i>15. okt</i>	18. dets	22. jaan
Pärnu, Oore	20. apr	2. mai	31. mai	23. juuni	30. sept	26. okt	<i>19. dets</i>	25. jaan
Navesti, Aesoo	28. apr	2. mai	30. mai	3. juuli	20. sept	26. okt	<i>19. dets</i>	<i>28. jaan</i>
Kasari, Kasari	26. apr	<i>1. mai</i>	31. mai	22. juuni	30. sept	26. okt	<i>19. dets</i>	26. jaan

Halliste, Riisa	26. apr	3. mai	28. mai	5. juuli	20. sept	26. okt	19. dets	21. jaan
Emajõgi, Tartu	12. apr	2. mai	27. mai	24. juuni	1. okt	26. okt	18. dets	23. jaan
Mehikoorma, Peipsi	25. apr	6. mai	31. mai	24. juuni	22. sept	13. nov	12. dets	21. jaan
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		4. mai	27. mai	22. juuni	28. sept	15. nov	13. dets	

Tabel 5. Kliimatiliste aastaegade keskmine kestus aastatel 1946–2010 (iga aastaaja kohta kõige pikem ja lühem kestus on märgitud kaldkirjas).

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara-kevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	22,4	25,4	27,2	80,4	28,4	38,5	34,2	108,6
Vihterpalu, Vihterpalu	16,7	26,6	24,5	83,2	28,0	38,2	32,3	115,6
Väike-Emajõgi, Tõlliste	21,6	22,6	24,0	90,7	28,6	35,8	36,6	105,0
Valgejõgi, Vanaküla	15,7	24,3	27,1	77,5	28,9	40,5	30,4	120,7
Pärnu, Oore	15,1	19,9	23,4	98,4	26,5	35,7	31,6	114,5
Navesti, Aesoo	17,0	20,0	27,7	90,8	27,0	37,7	33,3	111,4
Kasari, Kasari	16,3	20,4	23,9	99,3	25,6	35,0	35,1	109,6
Halliste, Riisa	15,5	20,6	26,6	95,2	26,2	36,4	29,4	115,0
Emajõgi, Tartu	29,4	18,2	28,8	96,4	25,0	34,2	29,7	103,4
Mehikoorma, Peipsi	20,6	18,6	18,9	102,2	24,6	31,6	24,2	124,3
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		19,4	20,9	102,0	24,0	29,4		

Tabel 6. Aastatel 1946–2010 kõige lühemad kliimatiliste aastaegade kestused, tähistatud on suurimad ja vähimad väärtused.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara-kevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	2	3	4	16	5	11	2	28
Vihterpalu, Vihterpalu	2	4	2	17	5	5	2	47
Väike-Emajõgi, Tõlliste	3	5	3	60	5	9	1	30
Valgejõgi, Vanakiila	1	4	3	44	6	10	2	47
Pärnu, Oore	2	3	2	61	9	13	4	49
Navesti, Aesoo	2	5	2	53	4	13	2	32
Kasari, Kasari	2	4	4	60	5	13	7	46
Halliste, Riisa	3	4	2	47	4	13	4	49
Emajõgi, Tartu	5	3	2	66	3	10	4	46
Mehikoorma, Peipsi	2	3	3	72	72	2	5	2
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		6	2	72	5	7		

Tabel 7. Aastatel 1946–2010 kõige pikemad kliimatiliste aastaegade kestused, tähistatud on suurimad ja vähimad väärtused.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara-kevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	71	58	68	119	64	93	80	175
Vihterpalu, Vihterpalu	57	57	62	125	53	75	73	170
Väike-Emajõgi, Tõlliste	76	44	61	115	53	66	78	176
Valgejõgi, Vanakiila	57	59	57	109	55	93	71	177

Pärnu, Oore	59	41	56	125	52	75	69	151
Navesti, Aesoo	67	40	63	127	65	92	89	171
Kasari, Kasari	56	42	56	132	45	64	87	160
Halliste, Riisa	48	41	64	127	52	78	67	171
Emajõgi, Tartu	63	39	57	127	47	67	69	171
Mehikoorma, Peipsi	50	41	49	137	45	64	69	172
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		40	55	128	47	63		

Tabel 8. Kliimatiliste aastaegade kestuse standardhälbed, tähistatud on suurimad ja vähimad väärtused.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Vara-kevad	Kevad	Hilis-kevad	Suvi	Sügis	Hilis-sügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	15,7	11,6	14,8	22,4	11,6	15,6	17,9	26,5
Vihterpalu, Vihterpalu	12,8	10,7	13,7	18,2	11,2	14,4	17,5	23,6
Väike-Emajõgi, Tõlliste	15,0	8,9	13,3	12,1	10,9	13,0	18,8	25,8
Valgejõgi, Vanaküla	12,5	11,4	13,1	15,8	10,2	16,2	16,8	25,8
Pärnu, Oore	12,3	8,1	12,2	12,5	8,5	14,3	16,3	22,0
Navesti, Aesoo	14,9	8,6	14,0	16,1	11,8	16,1	19,2	26,5
Kasari, Kasari	11,7	7,6	11,2	13,9	9,4	12,2	16,0	24,0
Halliste, Riisa	11,0	8,9	15,1	15,2	9,6	15,0	16,5	21,8
Emajõgi, Tartu	11,6	9,1	14,0	13,1	9,1	13,3	14,9	24,3
Mehikoorma, Peipsi	16,0	10,2	8,4	11,8	13,2	9,2	11,6	25,8
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		7,6	11,5	11,9	9,2	10,4		

3.1.2 Kevad

Kevade (temperatuuri püsiv tõus üle 4 °C) alguskuupäevades ei ole nii suurt varieeruvust kui varakevade puhul (vt tabel 1). Kõikide mõõtejaamade kevade algused jäävad ühenädalasesse vahesse (14.–21. aprill). Tegemist on kõige ühtlasemalt üle Eesti saabuva kliimaatilise aastaajaga. Kõige varem algab kevad Vanakülas (14. aprill) ja kõige hiljem Mehikoormas (21. aprill). Võrtsjärve kevad jõuab kätte varem (17. aprillil). Seda saab selgitada sellega, et Võrtsjärv on palju madalam kui Peipsi ja veemahutavuselt on see samuti väiksem. Kevad algab mõni päev varem Lõuna-Eesti jõgedel (Väike Emajõgi ja Halliste). Põhjaveetoitelistel jõgedel algab kevad teistest jõgedest paar päeva hiljem, aga see ei ole suur erinevus. Väikest varieeruvust näitab ka standardhälvete tabel (tabel 2). Suurim standardhälve on Mehikoorma mõõtejaamas (8,9 päeva) ja väikseim Kasaris (6,3 päeva). Kevadised standardhälbed on väikesed, sest ilmastikus toimub sellel perioodil kiire muutus, mis ei lase ka veetemperatuuril aeglaselt pika aja jooksul muutuda, vaid muutus toimub kiiremini.

Kõige varem on kevad alanud Väikesel Emajõel (18. märtsil 1990), mis on loogiline, sest ka kõige varasem varakevad on olnud seal. Põhjaveetoitelisel Põltsamaa jõel on olnud vaatlusperioodi kõige hilisem kevade algus 7. mail 1992. Keskmise kevade kestus jääb 18,2 (Emajõgi) ja 26,6 (Vihterpalu) päeva vahele. Järvedel on kevade kestus veidi lühem kui jõgedel. Peipsi järve kevad kestab 18,6 ja Võrtsjärve oma 19,4 päeva. Kõigil teistel jõgedel v.a Emajõel on kevade kestus pikem. Emajõe kevad võib olla teiste jõgede omadest lühem, sest see voolab Peipsi järve ja Võrtsjärve vahel, kus mõlemal on kevade kestus lühem.

Kõige lühem kevad on vaatlusperioodil olnud Pajusi, Oore, Tartu ja Mehikoorma mõõtejaamades, kus kõigis oli lühima kevade kestuseks kolm päeva. Kõige pikem kevad on kestnud Valgejõel 59 päeva. Külmematel jõgedel nagu Põltsamaa, Vihterpalu ja Valgejõgi venib kevad pikemaks, kui järvedel ja teistel jõgedel.

3.1.3 Hiliskevad

Hiliskevade (temperatuuri tõus üle 10 °C) algus jääb kümnepäevasesse ajavahemikku. Kõige varajasem algus on Emajõel 4. mail ja hilisem 14. mail Vihterpalus. Aastaaja algus on veidi varieeruvam kui kevade puhul. Suurim standardhälve on 11,7 päeva Pajusi vaatluspostil ja väikseim 7,7 päeva Rannu-Jõesuus. Hiliskevade algusega ei paista järved kuidagi silma, Võrtsjärvel on algus 7. mail ja Peipsi järvel 9. mail, mis jääb aastaaja alguste seas keskmiste sekka.

Varajasim hiliskevade algus on olnud 17. aprillil 1990 Emajõel ja hilisem 20. juunil nii Põltsamaa kui ka Valgejõel aastal 1982. Hilisema soojenemise taga võib olla põhjaveeline toitelus, mis suunab pidevalt uut külmemat vett jõkke. Hilisem algus on peale nende kahe jõe olnud juunis veel vaid Vihterpalu jõel (6. juunil 1976). Teistel siseveekogudel jäävad hilisemad aastaaja alguses maisse.

Keskmine hiliskevad kestab jõgedel 23,4–28,8 päeva, kõige lühemalt Pärnu jõel ja pikimalt Emajõel. Järvede hiliskevade kestus on Peipsi järvel 18,9 ja Võrtsjärvel 20,9 päeva, mis tuleneb sellest, et suvi algab järvedel varem kui jõgedel. Hiliskevad on vaatlusperioodil olnud kõige lühem Vihterpalu, Oore, Aesoo, Riisa, Tartu ja Rannu-Jõesuu mõõtejaamas. Neis jaamades kestis see vaid kaks päeva. Kõige pikem hiliskevad oli aga Pajusi mõõtejaamas (68 päeva). Hiliskevade pikkus on suurema varieeruvusega kui kevade pikkus. Suurim standardhälve on Halliste jõel (15,1 päeva) ja väikseim Peipsi järvel (8,4 päeva).

3.1.4 Suvi

Suvi (veetemperatuur püsivalt üle 15 °C) algab kõige varem järvedel (28. mail), sest kevadel ei ole enam nii tugevaid tuuli, mis segaksid pindmiste kihtide soojenenud vett jahedamaga ja järvedes suhteliselt paigal olev vesi saab paremini soojeneda kui jõgedes. Kõige hiljem hakkab suvi aga Valgejõel (10. juuni), mis on põhjaveetoiteline ja kuhu tuleb pidevalt külmemat vett juurde, mis aeglustab soojenemist. Jõgedest on kõige varasem suve algus Pärnu jõel (29. mai). Suve alguse varieeruvus on suur. Pajusi mõõtejaama standardhälve on suurim, olles 16 päeva. Vaatlusperioodil on hilisem suve algus olnud 25. juuli 1978 Pajusi mõõtejaamas ja varasem 4. mail järvedes (Võrtsjärves aastal 1950 ja Peipsi järves 2016), jõgede varajasim üleminek on toimunud 5. mail 1948 Väikesel Emajõel.

Pikim kliimaatiline suvi on siseveekogudest järvedel, kus suvi algab varem ja lõppeb hiljem kui jõgedel. Aeglasem jahtumine on tingitud vee suurest soojusmahutavusest ja veemassi termilisest inertsist. Suve pikkuse varieeruvus on 77,5 päevast Valgejõel kuni 102,2 päevani Peipsi järvel. Võrtsjärve suve kestus on väga sarnane (102 päeva) ja jõgedest kestab kliimaatiline suvi kõige kauem Kasari jõel (99,3 päeva). Põltsamaa jõe suvi kestab 80,4 päeva ja seega saab öelda, et põhjaveelisetoi tõttu jääb neil jõgedel ka suve kestus kõige lühemaks. Kõige lühem kliimaatiline suvi on olnud Põltsamaa ja Vihterpalu jõel vastavalt 16 ja 17 päeva. Vaadates kõige lühemaid suve kestusi tuleb jällegi välja see, et suvi on järvedel pikem kui jõgedel. Kõige lühemad suved on järvedel kestnud 72 päeva (tabel 6). Kõige pikem suvi on olnud

137 päeva Peipsi järvel. Jõgedest on pikim kliimaatiline suvi olnud Kasari jõel (132 päeva). Kliimaatilise suve kestus on kohati väga varieeruv. Põltsamaa jõel on standardhälve lausa 22,4 päeva. Kõige väiksem varieeruvus suve kestuses on järvedel, kus standardhälve on veidi alla 12 päeva.

3.1.5 Sügis

Sügise algus (temperatuuri langemine alla 15 °C) jääb vahemikku 26. augustist kuni 7. septembrini. Kõige varasem on sügise algus Vanakülas, kus suvi kestis ka kõige lühemat aega, seega saab sügis varem alata. Sügis algab kõige hiljem järvedel. Jõgedest algab sügis kõige hiljem Kasaril ja Emajõel (6. sept). Sügise algusega seoses on suurimad varieeruvused Pajusi mõõtejaamas, mille standardhälve on 11,4 päeva. Sügisel on standardhälbed üldiselt väiksemad, sest õhutemperatuuris toimuvad kiired muutused, mitte edasi-tagasi kõikumised, mis laseb ka veekogudel kiiremini jahtuda ja varieeruvused ei ole nii suured. Uurimisperioodi hilisem sügise algus on olnud 1. oktoobril 2006 Emajõel ja varasem 27. juulil 1987 Põltsamaal.

Kliimaatiline sügis kestab 24–28,9 päeva, kestuse varieeruvus on väike. Kõige lühem on sügis järvedel – Mehikoormas 24,6 päeva ja Rannu-Jõesuus 24 päeva, sest seal püsib temperatuur kõige kauem soe. Kõige pikem sügise kestus on Vanaküla mõõtejaama andmete järgi Valgejõel, aga väga sarnase pikkusega on sügis ka Väiksel Emajõel (28,6 päeva), Põltsamaa jõel (28,4 päeva) ja Vihterpalus (28,0 päeva). Seega nendel jõgedel, kus suvi kestab kõige lühemat aega on see eest sügis kõige pikem. Ja vastupidi on samamoodi – järvedel, kus on suvi kõige pikem on sügis jällegi kõige lühem. Kõige pikem sügis on vaatlusperioodil olnud Navesti ja Põltsamaa jõel vastavalt 65 ja 64 päeva. Kõige lühem sügis oli aga Emajõel, kus see kestis vaid kolm päeva. Sügise kestuses on väiksem varieeruvus Pärnu jõel, kus standardhälve on 8,5 päeva ja suurim Peipsi järvel 13,2 päevaga.

3.1.6 Hilissügis

Hilissügise (temperatuuri püsiv langemine alla 10 °C) algus jääb üheksapäevasesse vahemikku. Varajasim algus on 24. septembril Valgejõel ja hilisem 2. oktoobril Kasaril ja Peipsi järvel Mehikoorma mõõtejaamas. Hilissügise algus ei ole väga suure varieeruvusega, suurim standardhälve on 10,3 päeva nii Kasari kui ka Rannu-Jõesuu mõõtejaamas. Kõige varem on aastaalg alanud 1. septembril 1990 Aesoos ja kõige hiljem järvedel

(Rannu-Jõesuus 15. novembril 1958). Hiline aastaaja algus järvedel on tingitud jällegi järvede aeglasemast jahtumisest.

Hilissügise kestus jääb 29,3 ja 40,5 päeva vahele. Kõige lühem on hilissügise järvedel (Võrtsjärvel 29,3 päeva ja Peipsil 31,6 päeva). Kõige kauem kestab aastaag Valgejõesel. Hilissügise on vaatlusperioodil kõige lühem olnud Peipsi järvel, kus kestis vaid kaks päeva ja kõige pikem hilissügise kestis 93 päeva Põltsamaal ja Valgejõesel. Pikimad hilissügised järvedel kestsid 63 päeva Võrtsjärvel ja 64 päeva Peipsi järvel, kõige pikemad hilissügised järvedel jäävad oma pikkuselt 30 päeva lühemaks, kui pikimad hilissügised põhjaveetoiteliseljõgedel. Hilissügise kestuses on suurim varieeruvus Valgejõesel, kus standardhälve on 16,2 päeva, kõige väiksem standardhälve on Mehikoorma mõõtejaamas, kus see on 9,2 päeva.

3.1.7 Eeltalv

Eeltalve (temperatuuri püsiv langemine alla 4 °C) algus toimub kõigis jaamades üheksapäevase ajaraami sees. Kõige varem algab eeltalv Rannu-Jõesuus 30. oktoobril ja kõige hiljem 7. novembril Riisas. Ülemineku kuupäevade suurim standardhälve on 15,6 päeva, mis iseloomustab Pajusi mõõtejaama. Väiksem varieeruvus on järvede kliimaatilise eeltalve alguses, nende puhul jääb standardhälve 12 juurde (Rannu-Jõesuus 12,1). Järvede standardhälbed on väiksemad kui jõgedel.

Aastatel 1946–2010 on kõige hiljem alanud eeltalv jõgedel 18. ja 19. detsembril (Pärnu jõel ja Emajõesel 19. detsember 2006), Mehikoormas aga 12. detsembril 2006 ja Rannu-Jõesuus 13. detsembril 2006. Kõige varasemates aastaegade alguskuupäevades on varieeruvused aga palju suuremad. Nimelt on Rannu-Jõesuus mõõtejaamas alanud eeltalv juba 27. septembril, aga Vihterpalu jaamas on varasem algus 8. novembril ehk üle kuu hiljem. Teiste jaamade varasemad eeltalve algused jäävad oktoobri esimesse poole.

Keskmiselt kestab eeltalv jõgedel 29,4–36,6 päeva, kõige lühem on kestus Riisal ja pikim Tõllistes. Peipsi järve Mehikoorma mõõtejaamas jääb aastaaja kestus keskmiselt 24,2 päeva juurde. Uurimisperioodi lühim eeltalv oli Tõlliste mõõtejaamas ja see kestis vaid ühe päeva. Pikim eeltalv oli aga Navesti jõel kestes 89 päeva. Eeltalve kestus on võrdlemisi suure varieeruvusega. Suurim standardhälve eeltalve kestuses on Naevesti jõel (19,2 päeva) ja väiksem Peipsi järvel (11,6 päeva).

3.1.8 Talv

Jõgedel algab talv detsembri alguses. Kõige varem Valgejõesel ja Emajõesel (4. detsembril) ja kõige hiljem Kasari jõel (11. detsembril). Peipsi järvel on talve algus juba 27. novembril. Temperatuuri üleminekus olid suurimad varieeruvused Pajusi ja Tartu mõõtejaamas, mõlema standardhälve on 18,4 päeva.

Kõige varem on talv alanud 13. oktoobril 1976 Tartu mõõtejaamas. Mõõtejaamade lõikes on varaseimad aastaegade algused väga erinevad. Näiteks Oore mõõtepunktis on kõige varasem talve algus 10. novembril 1993 ehk enam kui kuu hiljem kui varasem algus Tartus. Kõige hilisemad talve algused jäävad jaanuari teise poole. Kõige hiljem on talv alanud Aesoo mõõtejaamas 28. jaanuaril 1990. Teiste veekogude hilisemad talve algused jäävad 21. ja 28. jaanuari vahele.

Talve näol on tegemist kõige pikema kestusega kliimaatilise aastaajaga Eesti siseveekogudel. Talv kestab 103,4-st päevast Emajõesel kuni 124,3 päevani Peipsi järvel. Seega saab öelda, et talve kestus on veekogude lõikes suure varieeruvusega. 1946–2010 oli kõige lühem kliimaatiline talv Pajusi mõõtejaamas, kus see oli 28 päeva pikkune. Kõige pikem talv oli sellel perioodil aga Valgejõesel – 177 päeva pikkune. Kliimaatilise talve pikkus on aastaegadest kõige varieeruvam. Standardhälve on suurim Navesti ja Põltsamaa jõel (26,5 päeva) ja kõige lühem Halliste jõel (21,8 päeva). Ülemineku aastaajad on järvedel lühemad ja põhiaastaajad (suvi ja talv) on seal pikimad, jõgede puhul on olukord vastupidine. Seal on põhiaastaajad lühemad ja vaheaastaajad venivad pikamteks kui järvedel.

3.2 Maksimaalne veetemperatuur

Järvedes saab maksimumtemperatuur tõusta kõrgemale kui jõgedes. Järvedes ei toimu suvel suurt veevahetust, sest suvisel aastaajal ei ole tuuled nii tugevad, vesi seisab rohkem paigal ja erineva soojusega veekihid ei segune omavahel. Lisaks ei ole valitud järved ka põhjaveetoitelised, nii et ei ole pidevat palju külmema vee peale tulekut. See võimaldab veel pikema aja vältel soojeneda. Jõgedes aga on vesi pidevas liikumises, mis ei lase sellel soojeneda.

Uurimisperioodil oli maksimumtemperatuuride poolest kõige rikkam aasta 2010 juuli esimene pool (tabel 9). Sellel aastal tõusis temperatuur Rannu-Jõesuu mõõtepostil 28,6 °C-ni,

Tartus 27,3 °C, Aesoo 26,9 °C ja Riisal 26,8 °C-ni. Perioodi kõige kõrgem veetemperatuur mõõdeti aga 16. juulil 1994 Mehikoorma jaamas, kui seal oli veetemperatuur 32,6 °C.

Tabel 9. Maksimaalne temperatuur, maksimumide keskmised, miinimumid ja standardhälve igas uuritud mõõtejaamas aastatel 1946–2010.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Maksimum (°C)	Maksimumi kuupäev	Keskmine	Minimaalne	Standardhälve
Põltsamaa, Pajusi	25,6	29.06.1947	21,6	16,9	2,1
Vihterpalu, Vihterpalu	25,4	01.08.1963	22,2	17,5	2,2
Väike-Emajõgi, Tõlliste	24,8	09.07.2006	22,0	18,8	1,4
Valgejõgi, Vanaküla	26,5	24.06.1947	21,5	15,2	1,8
Pärnu, Oore	26,8	07.07.1973	23,7	20,3	1,5
Navesti, Aesoo	26,9	15.07.2010	23,0	19,6	1,5
Kasari, Kasari	27,2	13.07.1994	23,7	19,5	1,6
Halliste, Riisa	26,8	16.07.2010	23,1	18,6	1,5
Emajõgi, Tartu	27,3	18.07.2010	23,4	20,4	1,4
Mehikoorma, Peipsi	32,6	16.07.1994	25,2	21,8	1,8
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv	28,6	13.07.2010	24,0	20,4	1,9

Maksimumtemperatuuri keskmistest selgub, et järved on soojemad kui jõed (tabel 9), sest järvedes ei toimu pidevat vee liikumist. Kõige suurem keskmine on Peipsi järvel (25,5 °C) ja Võrtsjärvel (24,0 °C). Jõgedest on suurim keskmine Pärnu ja Kasari jõel, kus mõlemal on keskmine temperatuur 23,7 °C. Isegi kõige külmematel suvedel tõusevad suve maksimumid üle 20 kraadi järvedel ja jõgedest Emajõel ja Pärnu jõel. Põhjaveetoielistel jõgedel on kõige külmemate suvede maksimumid aga palju madalamad. Valgejõel on kõige külmemate suvede maksimumid aga palju madalamad. Valgejõel on kõige külmemate suvede maksimumid aga palju madalamad. Valgejõel on kõige külmemate suvede maksimumid aga palju madalamad.

maksimaalne temperatuur olnud vaid 15,2 °C ja Põltsamaa jõel 16,9 °C. Põhjaveetoitelised jõed on külmemad külma põhjavee juurdevoolu tõttu.

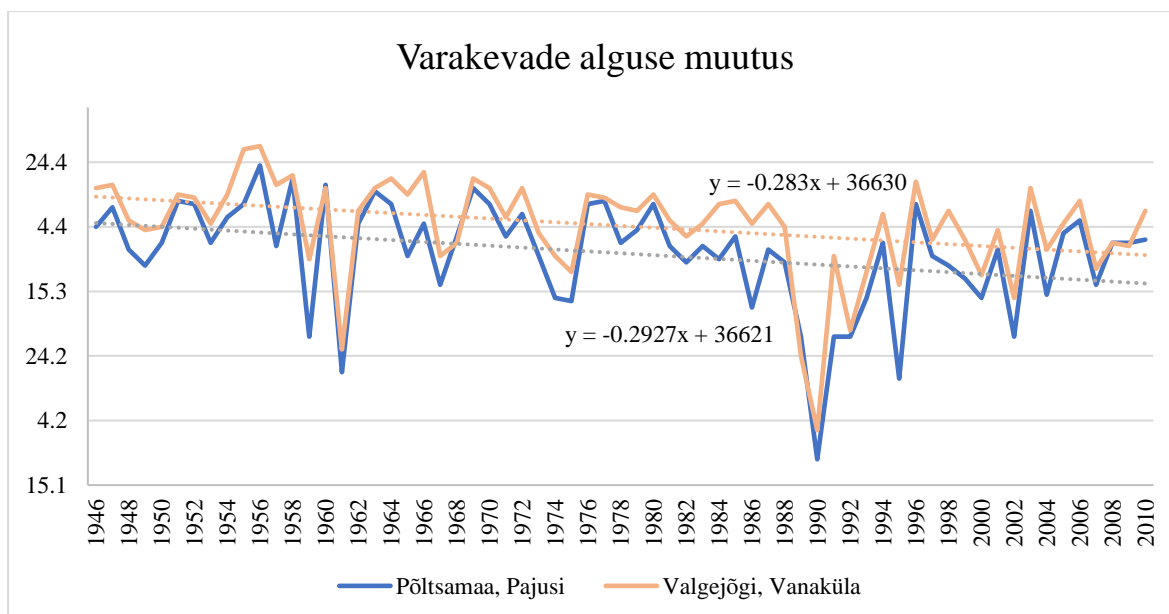
Maksimumtemperatuuri standardhälve on jõgedel samuti suur just põhjaveetoitelistel jõgedel. Põltsamaa jõe standardhälve on 2,1 °C ja Valgejõel 1,8°C. Suurim standardhälbe väärtus on aga Vihterpalus (2,2 °C). Kõigil teistel jõgedel on standardhälbe väärtused väiksemad. Veidi kõrgemad väärtused on järvedel. Peipsi järvel 1,8 °C ja Võrtsjärvel 1,9 °C.

3.3 Kliimaatiliste aastaegade pikaajalised muutused

Uuritud andmerida on 65 aastat pikk ja seega on võimalik selle põhjal teha järeldusi ka hiljutiste kliimamuutuste kohta. Uurimisperioodi, aastate 1946–2010 andmeid analüüvides selgus, et statistiliselt oluliselt on muutunud

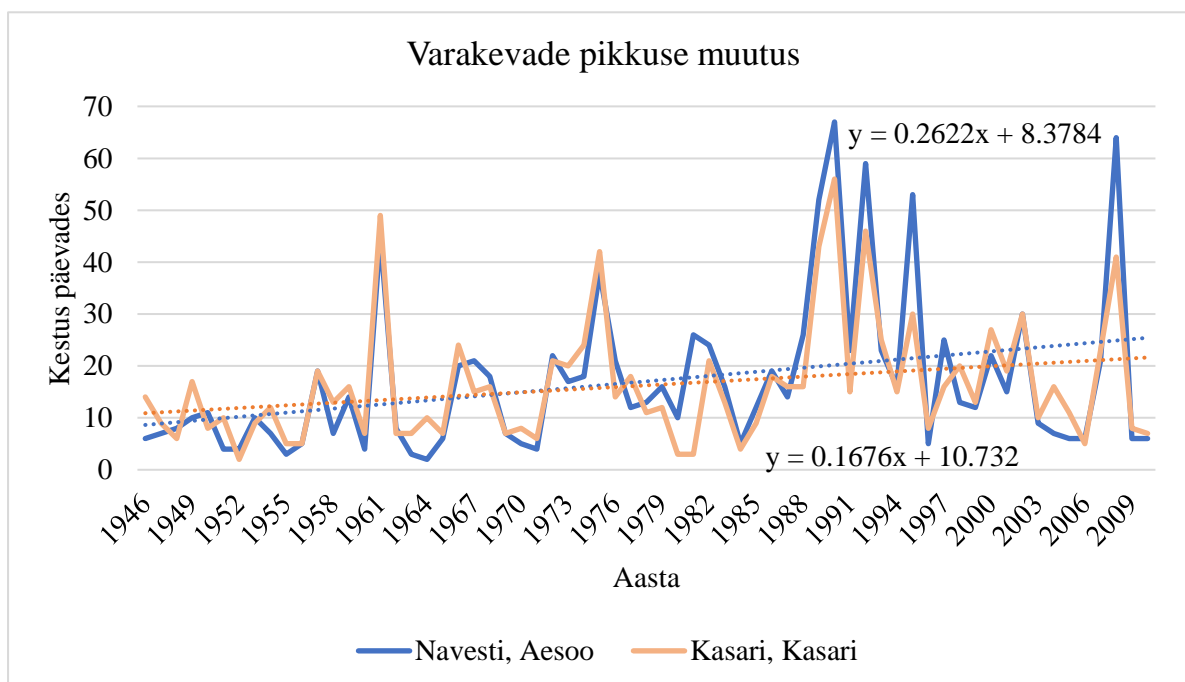
- varakevade algus
- eeltalve algus
- talve algus
- varakevade kestus
- hilissügise kestus
- talve kestus.

Varakevade algus on liikunud varasemaks kõigis vaatlusjaamades (tabel 10). Statistiliselt väga kõrge usaldustasemega ($p < 0,001$) on muutus kahes jaamas (Pajusil ja Vanakülas) (joonis 2). Statistiliselt olulised muutused on veel viies veekogus (Vihterpalu, Väike Emajõgi, Navesti, Kasari ja Peipsi järv). Varakevade varasemaks nihkumise taga on see, et ka üldklimaatiliste aastaegade seisukohast on talv lühemaks jäänud ja õhutemperatuur hakkab kevadel samuti varem tõusma ja veekogusid soojendama. Kõige suurem on muutus Navesti Aesoo, kus varakevade algus on liikunud 20,3 päeva varasemaks. Kõige väiksem muutus on toimunud Emajõel, kus varakevad on nädala võrra varasem.



Joonis 2. Varakevade alguse muutus 1946–2010 Pajusi ja Vanaküla mõõtejaamade näitel, lisatud trendijooned.

Varakevade kestus on pikenenud kõigis mõõtmispunktides peale Emajõe oma, kus see jäi sama pikaks (tabel 11). Kestuse suurenemine on statistiliselt oluline kuuel jõel: Põltsamaa, Vihterpalu, Valgejõgi, Väike-Emajõgi, Navesti ja Kasari (joonis 3). Varakevad on enim pikenenud Aesoo mõõtejaama andmetel (17 päeva).



Joonis 3. Varakevade pikkuse muutus 1946–2010 Navesti ja Kasari jõe näitel, lisatud trendijooned.

Tabel 10. Siseveekogude kliimatiliste aastaegade alguse kuupäevade muutused vaatlusperioodil, esile on tõstetud statistiliselt olulised muutused.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Varakevad	Kevad	Hiliskevad	Suvi	Sügis	Hilissügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	-19,0	-4,6	15,8	16,5	0,6	6,4	18,4	31,2
Vihterpalu, Vihterpalu	-13,8	0,8	11,6	19,3	-6,6	2,4	16,2	16,4
Väike-Emajõgi, Tõlliste	-19,4	-4,4	2,8	13,4	2,0	13,0	21,3	15,6
Valgejõgi, Vanaküla	-18,4	-4,1	1,7	-0,3	-3,5	6,6	18,0	27,7
Pärnu, Oore	-11,7	-6,3	0,4	6,0	1,0	7,6	15,1	18,0
Navesti, Aesoo	-20,3	-3,4	2,7	12,4	-4,9	-5,0	17,4	16,3
Kasari, Kasari	-15,7	-4,8	-2,9	2,7	2,2	4,4	15,1	14,1
Halliste, Riisa	-10,8	-6,5	-0,7	10,2	-5,1	2,1	16,2	15,5
Emajõgi, Tartu	-7,0	-7,0	-2,3	5,9	4,3	7,1	19,4	15,3
Mehikoorma, Peipsi	-18,0	-14,4	-5,4	-4,2	5,5	9,1	16,4	23,3
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		-7,3	-5,6	6,1	2,5	1,7	10,8	

Tabel 11. Kliimatiliste aastaegade kestuse muutused aastatel 1946–2010, esile on tõstetud statistiliselt olulised muutused.

Jõgi/järv, mõõtejaam	Varakevad	Kevad	Hiliskevad	Suvi	Sügis	Hilissügis	Eeltalv	Talv
Põltsamaa, Pajusi	14,5	20,3	0,8	-15,9	5,7	12,1	12,9	-50,4
Vihterpalu, Vihterpalu	14,6	10,9	7,5	-25,9	7,4	15,4	0,2	-30,2
Väike-Emajõgi, Tõlliste	15,0	7,3	10,6	-11,5	11,2	8,4	-5,9	-35,1
Valgejõgi, Vanaküla	14,3	5,8	-2,0	-3,2	10,1	11,4	9,7	-46,1
Pärnu, Oore	5,4	6,7	5,7	-5,1	6,7	7,5	2,9	-29,7
Navesti, Aesoo	17,0	6,0	9,8	-17,3	-0,1	22,4	-1,1	-36,7

Kasari, Kasari	10,9	1,9	5,5	-0,5	2,4	10,6	0,3	-31,0
Halliste, Riisa	4,3	5,8	10,9	-15,3	7,2	14,1	-0,7	-26,2
Emajõgi, Tartu	0,0	4,7	8,1	-1,6	2,8	12,3	-4,1	-22,3
Mehikoorma, Peipsi	3,6	9,0	1,2	9,0	4,1	9,9	2,9	-41,3
Rannu-Jõesuu, Võrtsjärv		0,0	10,3	-2,0	0,5	7,6		

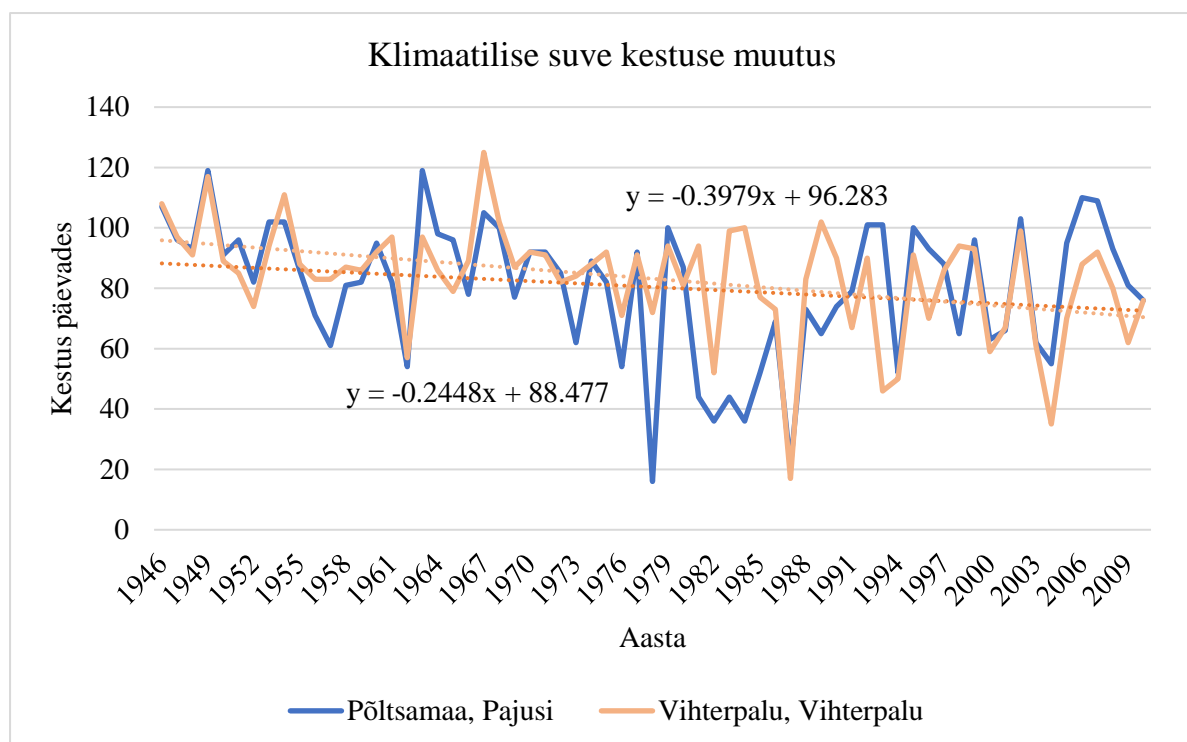
Ka kevade puhul on aastaaja algus nihkunud varasemaks pea kõigis jaamades (Vihterpalus on kevad 0,8 päeva hilisem), kõige enam on kevade algus varasem järvedel – Peipsi järvel 14,4 päeva ja Võrtsjärvel 7,3 päeva. Jõgedes on enim ettepoole nihkunud Emajõe kevad (7 päeva). Muutus on statistiliselt oluline mõlema järve mõõtejaama puhul, aga jõgedest on statistiliselt oluline muutus toimunud vaid Oore, Riisa ja Tartu mõõtepunktides. Varasem kevade algus on tingitud õhutemperatuuri kiiremast tõusmisest kevadisel ajal. Kevad on enamikus jaamades muutunud pikemaks ja Rannu-Jõesuus jäänud samaks. Suurimad muutused on toimunud Põltsamaa Pajusi mõõtepunktis (20,3 päeva), Vihterpalus (10,9) ja Mehikoormas (9), need kolm on ka ainsad jaamad, kus muutus on statistiliselt oluline.

Hiliskevade alguskuupäevas on toimunud olulised muutused vaid Põltsamaa ja Vihterpalu jõgedel, kus vastavalt nihkus aastaaja algus 15,8 ja 11,6 päeva edasi. Tõlliste, Aesoo, Vanaküla ja Oore vaatlusposti andmetel on seal hiliskevad nihkunud mõne päeva võrra edasi, aga seda muutust ei saa statistiliselt oluliseks pidada. Hiliskevad on viie päeva võrra varasemaks nihkunud järvedel, aga ka see muutus ei ole statistiliselt oluline. Hiliskevad kestab lühemat aega vaid Valgejõel, kus see on kahe päeva võrra lühem. Teistes jaamades on aastaaja pikkus kasvanud 0,8–10,9 päeva. Väikseim aastaaja pikenedamine on Pajusi mõõtejaamas ja suurim Riisal. Statistiliselt oluline muutus on toimunud Rannu-Jõesuus, kus hiliskevad on pikenenud 10,3 päeva.

Suve algus on muutunud hilisemaks Vihterpalus lausa 19,3 päeva, Pajusil 16,5, Tõllistes 13,4 ja Aesoo 12,4 päeva. Need hilisemaks nihkumised on statistiliselt olulised (tabel 10). Suve varasemaks nihkumine toimus Mehikoorma mõõtejaamas (4,2 päeva) ja 0,3 päeva võrra Vanakülas, aga kumbki nendest ei ole olulise tähtsusega. Suve kestus on Vihterpalus vähenenud 25,9 päeva, Aesoo 17,3 päeva, Riisal 15,3 päeva ja Tartus 11,5 päeva. Need muutused on ka statistiliselt olulised. Suvi on pikem ainult Mehikoorma mõõtejaamas üheksa päeva võrra ja Rannu-Jõesuus lühenenud 2 päeva, aga järvede puhul ei ole suve pikkuse

muutused statistiliselt olulised.. Kliimaatilise suve lühemaks jäämine enamikes mõõtejaamades on väga huvitav nähtus, sest teades, et kliima soojeneb ja esineb ka rohkem ekstreemseid kuumusi võiks eeldada, et ka kliimaatiline suvi on pikemaks muutunud, nii see aga ei ole. Poolas läbi viidud uuring toob välja, et perioodil 1961–2000 toimus vaatamata üldisele temperatuuri tõusule, aga suveperioodi keskmise temperatuuri langemine (Dabrowski, 2004), selline muster võib olla ka Eestis.

Kliimaatilise suve kestuses on sees palju suuremad varieeruvused aastate lõikes kui varem (joonis 4). Põhiaastaaegade (nii suve kui ka talve) puhul on iseloomulikuks aastaaja kestuse lühenemine ja vaheaastaajad on muutunud pikemaks (tabel 11).

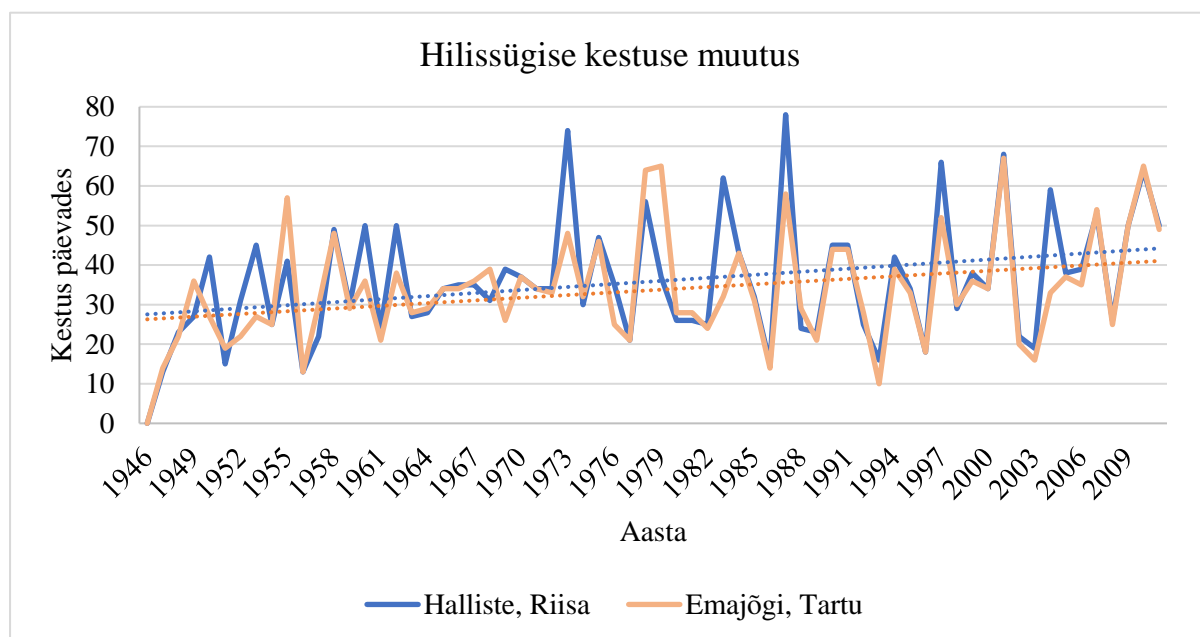


Joonis 4. Kliimaatilise suve kestuse muutus 1946–2010 Põltsamaa ja Vihterpalu jõe näitel, lisatud on trendijooned.

Sügise algus on Vihterpalu, Vanaküla, Aesoo ja Riisa jaamades nihkunud kolme kuni kuue päeva võrra varasemaks. Teistes jaamades on olnud muutus sügise hilisema alguse poole mõne päeva võrra, kuid ükski muutus ei ole statistiliselt oluline. Sügise kestus on muutunud pikemaks kõigis jaamades, välja arvatud Aesoo, kus aastaag lühenes 0,1 päeva võrra. Oluliselt pikemaks muutus sügis Tõlliste (11,2 päeva) ja Vanaküla (10,1) mõõtejaamades. Sügise pikenedamise taga seisab üldkliimaatilise talve edasi nihkumine. Poolas on täheldatud, et viimastel aastakümnetel on sügisene keskmine temperatuur tõusnud (augustis ja septembris)

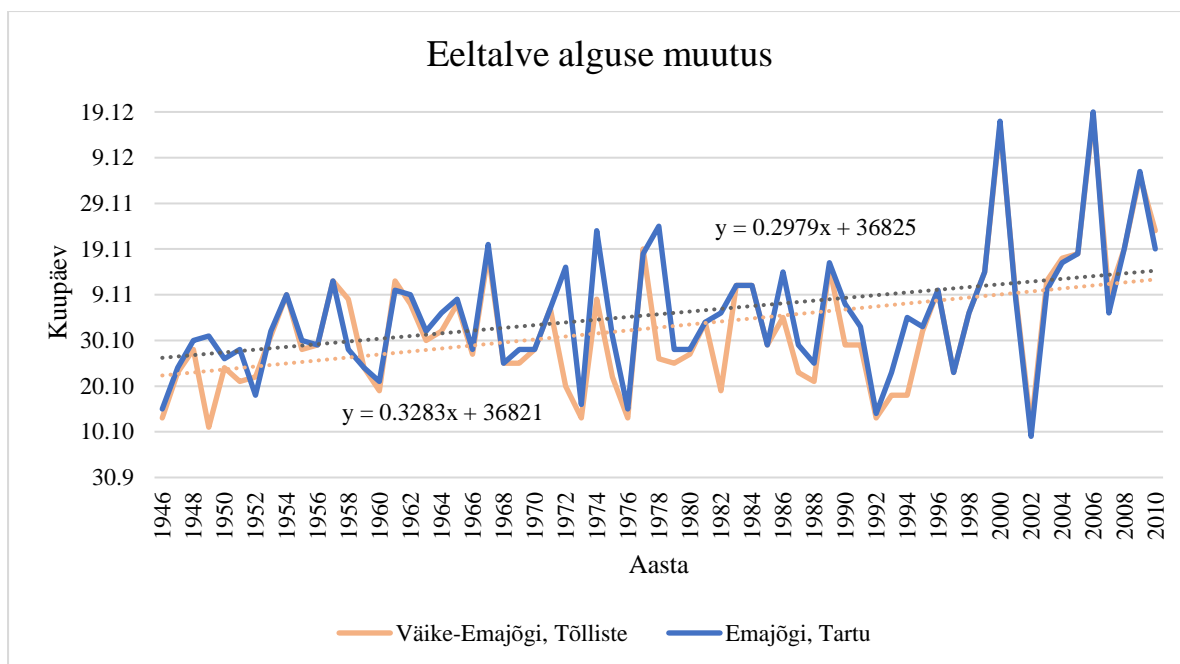
(Hutorowicz, 2020). Selline muster sobitub ka Eesti kohta saadud tulemustega ja seletaks kliimaatilise sügise pikenedamist, sest kui temperatuur on kõrgem kui varem, kulub ka jahtumisele rohkem aega. Kliimaatilise suve pikenedamist on täheldatud ka Suures järvistus (McCormick, Fahnenstiel, 1999).

Ka hilissügise algus on nihkunud edasi pea kõigis jaamades (välja arvatud Aesoos, kus hilissügise algus on 5 päeva varasem). Statistiliselt oluline muutus on toimunud vaid Tõllistes, kus aastaaja algus on liikunud edasi 13 päeva võrra, Mehikoormas 9,1 päeva ja Oores 7,6 päeva võrra. Hilissügise kestus on pikenenud kõigis vaatlusjaamades, enim Aesool, kus kasv on 22,4 päeva. Statistiliselt olulised on muutused kuues jaamas ehk rohkem kui pooltes jaamades (6/11). Olulised muutused on toimunud Vihterpalu, Aesoo, Kasari, Riisa, Tartu (joonis 5) ja Mehikoorma mõõtejaamade järgi. Neist jaamadest Aesoos on aastaalgus 22,4 päeva pikem, Vihterpalus 15,4, Riisas 14,1, Tartus 12,3, Kasaris 10,6 ja Mehikoormas 9,9 päeva pikem.



Joonis 5. Hilissügise kestuse muutus aastatel 1946–2010 Riisa ja Tartu mõõtepostide näitel, lisatud trendijooned

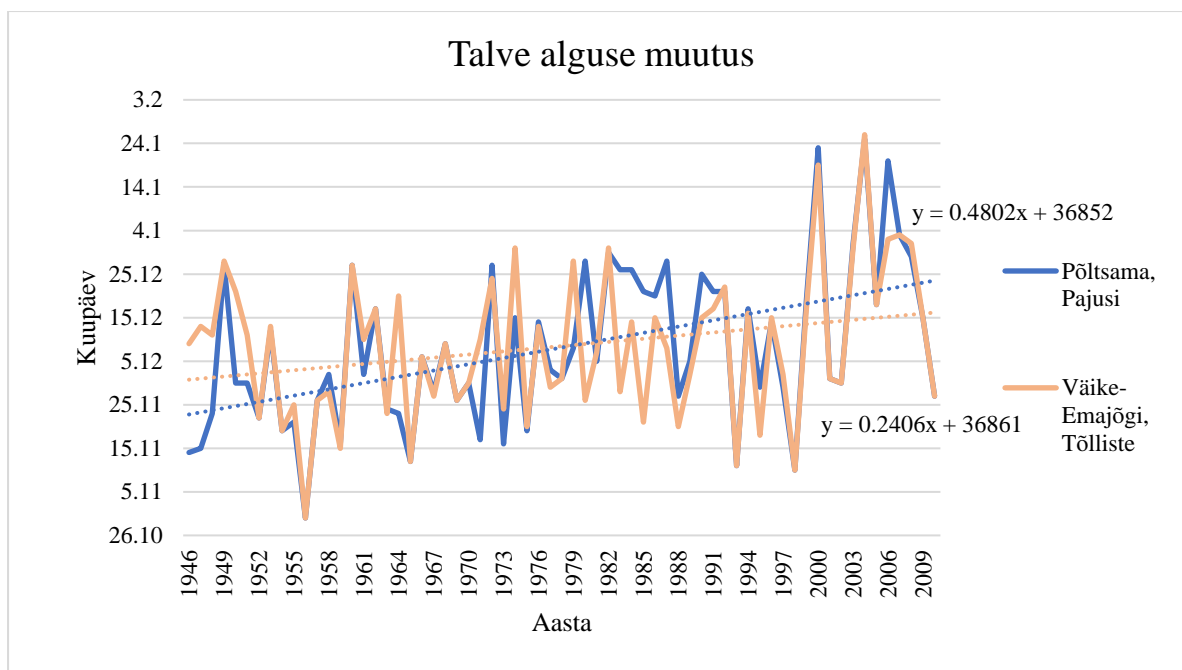
Eeltalve algus on nihkunud hilisemaks kõigis jaamades (10,8–21,3 päeva võrra), kõige rohkem on aastaaja algus lükkunud edasi Tõllistes (21,3 päeva) ja kõige vähem Rannu-Jõesuus. Kõigis jaamades on muutus ka statistiliselt oluline. Väga kõrge usaldustasemega on muutus Mehikoorma, Tõlliste ja Tartu mõõtepunktides (joonis 6). Ka eeltalv on nihkunud ajas edasi sellepärast, et õhutemperatuuri langus enne talve on ajas edasi lükkunud. Eeltalve kestuse muutused on olnud uurimisperiodil väiksed ega oma statistilist tähtsust.



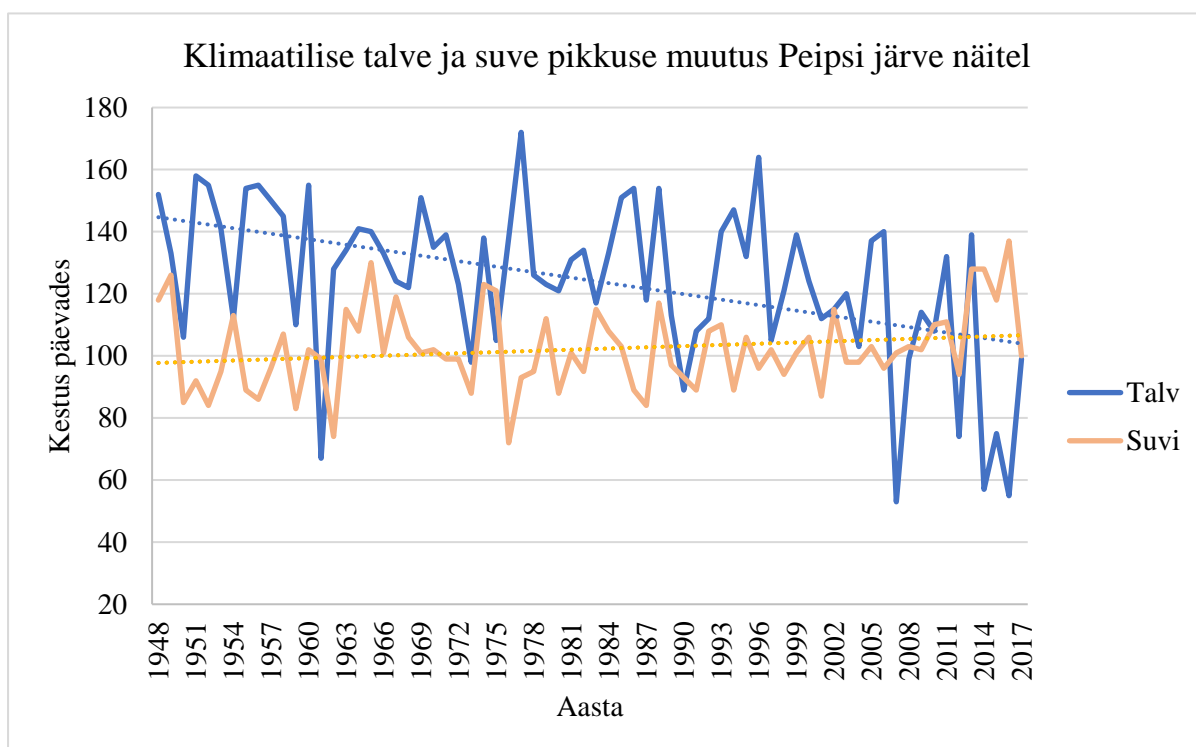
Joonis 6. Eeltalve alguse muutus 1946–2010 Tõlliste ja Tartu mõõtejaamade näitel, lisatud trendijooned

Talve algus on nihkunud kõikides jaamades oluliselt hilisemaks (joonis 7). Hilisem algus on statistiliselt kõrge usaldusega Pajusi ja Vanaküla mõõtejaamades. Statistiliselt olulised on muutused ka Vihterpalu, Väikese Emajõe, Pärnu, Navesti, Kasari ja Halliste jõgedel ning Peipsi järvel. Enim on talve algus edasi nihkunud Vanakülas, kus talv algab nüüd 27,7 päeva hiljem. Kasari jõel on talve algus nihkunud edasi vaid 14,1 päeva. Hilisem talve algus kõigis mõõtejaamades on tingitud sellest, et ka üldklimaatilise talve algus on nihkunud ajas edasi ja õhtutemperatuuri langemine võtab samuti varasemast kauem aega.

Kliimaatiline talv on lühenenud suurel määral kõigis jaamades, Pajusi jaamas on talv lausa 50,4 päeva lühem. Kõikide jaamade puhul on tegemist statistiliselt oluliste väärtustega. Peipsi järvel on kliimaatiline talv 41,3 päeva võrra lühem. Talvele vastanduva aastaaja, suve pikkus pole selles jaamas seevastu oluliselt muutunud, keskmiselt on suvi pikem vaid üheksa päeva võrra (joonis 8). Kõige vähem lühenes talv Tartu mõõtepunktis ja kõige rohkem Pajusil. Talve kestuses on aastaegadest kõige suuremad muutused. Nimelt on talv jäänud lühemaks 22,3–50,4 päeva. Talve pehmenemist on märganud ka teistes Euroopa riikides, näiteks Saksamaal (Deutscher Wetterdienst, 2022b) ja kliimaatiline talv on lühenenud ka Suures järvis (Jones *et al.*, 2006).



Joonis 7. Talve alguse muutus aastail 1946–2010 Põltsamaa ja Väikese Emajõe näitel, lisatud on trendijooned



Joonis 8. Kliimaatilise talve pikkuse muutus võrreldes suve omaga Peipsi järvel Mehikoorma mõõtejaamas aastatel 1948–2017, lisatud trendijooned

Kokkuvõte

Bakalaureusetöö eesmärk on saada ülevaade Eesti siseveekogude temperatuurimuutuste trendidest ajavahemikus 1946–2010. Taheti saada teada, millised on vaatlusperioodi keskmised kliimaatiliste aastaegade alguskuupäevad ja kestused ning kuidas on need selle aja jooksul muutunud. Lisaks oli eesmärk saada teada, kas toimunud veetemperatuuri muutused on statistiliselt olulised. Töö põhineb Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi fondi siseveekogude temperatuuri andmetel. Varem on sellel teemal Eestis kirjutanud Arvo Järvet (Järvet, 2001; 2003), aga nendes töödes lõppeb aegrida 20. sajandi lõpuga. Enne Järveti töid on ilmunud lühike ülevaade 1962. aastal Eesti NSV agrokliimaatilises teatmikus (Eipre jt, 1962).

Määratud kliimaatiliste aastaegade alguskuupäevade keskmistest selgub, millal mõõtejaamas saabub üks või teine kliimaatiline aastaeg. Leitud keskmiste standardhälve näitas, et uuritud mõõtejaamade lõikes on suurimad erisused aastaaja alguses varakevade, suve, eeltalve ja talve alguses. Statistiliselt olulisel määral on uuritava ajaperioodi jooksul nihkunud edasi eeltalve ja talve algus, vastavalt 10,8–21,3 ja 15,3–31,2 päeva. Seitsmes jaamas üheteistkümnest on varakevade algus liikunud statistiliselt oluliselt varasemaks ja kõigis jaamades on varasemaks nihkumine 7–20,3 päeva. Kevad nihkus varasemaks kõigis jaamades, aga statistiliselt oluline muutus toimus vaid viies jaamas (Mehikoorma, Rannu-Jõesuu, Tartu, Riisa ja Oore). Andmetest tuli ilmekalt välja, kuidas põhjaveetoitelistel jõgedel võtab soojenemine kauem aega ja kevadised aastaajad saavad neil jõgedel hiljem. Uuritud jõgedest on sellised Põltsamaa ja Valgejõgi. Suve algus on statistiliselt oluliselt edasi nihkunud neljas mõõtejaamas üheteistkümnest, neis algab suvi 12,4–19,3 päeva hiljem. Sügise alguses ei ole suuri muutusi toimunud ja ükski muutustest ei ole statistiliselt oluline. Hilissügise algus on nihkunud kõigis jaamades peale Aesoo hilisemaks ja kolmes jaamas on hilisem hilissügise algus ka statistiliselt oluline.

Kõige pikem kliimaatiline aastaeg on talv, mille pikkus on 103,4–124,3 päeva. Järgneb suvi pikkusega 77,5–102,2 päeva. Kõige lühem aastaeg on varakevad (15,1–29,4 päeva). Uuritud perioodil on oluliselt lühenenud kliimaatilise talve kestus (29,7–50,4 päeva) ja antud muudud on statistiliselt olulised kõigis mõõtejaamades. Suuremas osas jaamadest on statistiliselt oluliselt pikenenud varakevad ja hilissügis, kus pikenedamine on vastavalt kuni 17 päeva ja 7,5–22,4 päeva. Saadud tulemused kinnitavad, et veetemperatuur järgib õhutemperatuuri ja

tänu sellele on ka talvine periood jäänud lühemaks ning soojem poolaasta veninud pikemaks. Talve kestus on statistiliselt oluliselt vähenenud kõigis jaamades, muutus on 22,3–50,4 päeva. Eeltalve pikkuse muutus ei ole statistiliselt oluline üheski jaamas, osades jaamades on pikkus veidi lühemaks jäänud, teistes jällegi kasvanud. Huvitaval kombel on aga pea kõigis jaamades vähenenud suve kestus ning neljas jaamas on see muutus olulise tähtsusega. Suvi on lühenenud kuni 25,9 päeva võrra, suurim suveperioodi lühenemine on toimunud Vihterpalu jõel. Sügis on muutunud pikemaks kuni 11,2 päeva ja pikenemine on statistiliselt oluline Tõlliste ja Vanaküla jaamas.

Kõige enam maksimaalseid temperatuure esines vaatlusperioodil aastal 2010, kui kuuma-rekordid olid kolmel jõel ja Võrtsjärvel. Perioodi kõige kõrgem veetemperatuur mõõdeti aga 16. juulil 1994 Mehikoorma jaamas – 32,6 °C. Maksimumtemperatuuri keskmistest selgub, et järved on soojemad kui jõed, sest järvedes ei toimu pidevat vee liikumist. Kõige suurem keskmine on Peipsi järvel (25,5 °C) ja Võrtsjärvel (24,0 °C). Jõgedest on suurim keskmine Pärnu ja Kasari jõel, kus mõlemal on keskmine temperatuur 23,7 °C. Isegi kõige külmematel suvedel tõusevad suve maksimumid üle 20 kraadi järvedel ja jõgedest Emajõel ja Pärnu jõel.

Bakalaureusetöö täitis seatud eesmärgid, pikendades Eesti siseveekogude kliimaatiliste aastaegade aegrida. Lisaks selgusid aastaegade alguskuupäevade muutustrendid ning leiti, millised neist muutustest on statistiliselt olulised. Saadi teada, milliste kliimaatiliste aastaegade kestus on pikenenud ja milliste lühenenud ning määrati ka nende muutuste olulisus. Kinnitust sai oletus, et ka veetemperatuur näitab soojenemist, sest kliimaatiline talv on vaatlusperioodil jäänud oluliselt lühemaks.

Long-term variability in Estonian inland water climatic seasons´ beginning time and duration

Agnes Rosenberg

Summary

Climate change is mostly known for rising air temperatures but it is also affecting other aspects of nature as well. It also leads to changes in water temperatures and further from that it leads to changes in ecosystems. As previous studies in other countries have shown, inland water temperatures have also risen and that air and water temperature changes are correlated. In Estonia there are some studies from Arvo Järvet on the same topic (Järvet, 2001; 2003) and from the first half of the 20th century a small overview in 'Eesti NSV agrokliimaatiline teatmik' (Eipre jt, 1962). The author of the bachelor's thesis wanted to extend the timeline of climatic seasons in Estonia.

The aim of this bachelor's thesis is to study change in climatic seasons in Estonia. The following questions were answered in the thesis:

- How long is the average duration of the climatic seasons and when is the average start of them?
- How much has the length of climatic seasons changed and is the change statistically important?
- Which climatic seasons are now shorter and which ones are longer, are the changes statistically important?

The analysis is based on Estonian inland water temperatures data from Estonian Meteorological and Hydrological Institute. Chosen time period for the thesis was 1946–2010 because the measurements availability was best during this period. After defining all of the eight climatic season beginnings between 1946–2010 it was possible to analyze variability. After calculating the average beginnings and durations of the seasons it was found out that winter is now 22,3–50,4 days shorter in inland waters and starts 15,3–31,2 days later than before. The change was statistically significant. Pre-winter moved significantly further (10,8–21,3 days) in all stations and its length change was not important. In a few stations it got a few days longer and in others a few days shorter. After winter comes early spring that starts 7–20,3 days earlier in all stations and most of the changes are also statistically significant. This season lasts longer,

up to 15 days. We can say that it is true that with warmer air temperatures climatic winter will be shorter because of the higher temperatures.

In all stations early spring is now longer than before (up to 17 days) and the change is statistically significant in most of the cases. Also the spring season lasts longer (up to 20,3 days) and starts up to two weeks earlier. But surprisingly summer is shorter (up to 25,9 days) in most of the stations and four out of eleven stations show that shorter summer is also statistically significant change. Summer also starts later in most stations, in four stations out of eleven the later start is also statistically significant. This is interesting because would have thought that with warmer yearly temperatures we would also have a longer summer period but that was not true. In most stations autumn is now longer up to 11,2 days but change is important only in two stations. Late autumn is longer for 7,5–15,4 days in all stations, statistically important is the change in six stations out of eleven. Late autumn starts statistically significantly later in three stations.

The highest maximum temperatures occurred during the studied period in 2010, when heat records were recorded on three rivers and on lake Võrtsjärv. Periods highest water temperature was measured on 16 July 1994 in Mehikoorma station where it was 32,6 °C. Average maximum temperatures show that lakes are warmer than rivers. In lakes water does not move as much as in rivers so it can get warmer. The highest average maximum temperature is in lake Peipsi (25,5 °C) and Võrtsjärv (24,0 °C). Pärnu and Kasari rivers have the highest average maximum temperatures (23,7 °C) from rivers. Even in coldest summers the maximum temperature in lakes and Emajõgi and Pärnu river rises over 20 °C.

The bachelor's thesis met the goals set at the beginning of the thesis, and managed to extend the research period of climatic seasons in Estonian inland waters. The thesis provides information about water temperature patterns in Estonia.

Tänuavaldused

Täna väga oma juhendajat professor Jaak Jaagust, kes pakkus välja töö teema, oli minuga väga kannatlik ja alati valmis vastama mu küsimustele ning andma nõu, ja professor Arvo Järvetit, kes lasi kasutada oma andmekogu ja andis töö koostamisel nõu. Lisaks täna kõiki oma sõpru, kes mind töö valmimisel toetasid, eriti neid, kes nõustasid mind QGIS-i kasutamisel. Täna väga oma ema, kes samuti toetas mind sellel teel – luges tööd, andis nõu ja avaldas arvamust.

Kasutatud kirjandus

Apsīte, E., Elferts, D., Zubaničs, A., Latkovska, I. (2014). *Long-term changes in hydrological regime of the lakes in Latvia*. *Hydrology Research*, 45(3), 308-321. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.435>

Benson, B.J., Magnuson, J.J., Jensen, O.P., Card, V.M., Hodgkins, G., Korhonen, J., Livingstone, D.M., Stewart, K.M., Weyhenmeyer, G.A., Granin, N.G. (2012). *Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005)*. *Climatic change*, 112(2), 299–323. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>

Blank, K., Haberman, J., Haldna, M., Laugaste, R. (2009). *Effect of winter conditions on spring nutrient concentrations and plankton in a large shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia)*. *Aquatic Ecology*, 43(3), 745-753. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9283-2>

Caissie D. (2006). *The thermal regime of rivers: a review*. *Freshwater Biology* 51, 1389-1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>

Chojnowski, S. (1972). *Preliminary characteristics of thermal phenomena in the Konin Lakes*. *Prace Panstwowego Institute of Hydrology and Meteorology*, 107, 99–117.

Dabrowski, M., Marszelewski, W., and Skowron, R. (2004). *The trends and dependencies between air and water temperatures in lakes in northern Poland in 1961–2000*, *Hydrology Earth System Sciences*, 8, 79–87, <https://doi.org/10.5194/hess-8-79-2004>, 2004.

Deutscher Wetterdienst (2022a). *Deutscher Klimaatlas | Erläuterungen zu den Zeitreihendiagrammen (Trends)*. Kasutatud: 20.05.2022, https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/erlaeuterungen/trends/trends_node.html

Deutscher Wetterdienst (2022b). *Klima und Umwelt | Klimawandel – ein Überblick*. Kasutatud: 20.05.2022, https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html

Dobiesz, N. E., Lester, N. P. (2009). *Changes in mid-summer water temperature and clarity across the Great Lakes between 1968 and 2002*. *Journal of Great Lakes Research*, 35(3), 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.05.002>

Eesti Entsüklopeedia (2003). *Üldentsüklopeedia* | *Vihterpalu jõgi*. Kasutatud 24.05.2022, http://entsyklopeedia.ee/artikkel/vihterpalu_j%C3%B5gi2

Eipre, T., Rodina, N., Subbotina, V. (1962). *Hüdroloogilisi andmeid jõgede, järvede ja mere režiimist*. Eesti NSV agrokliimaatiline teatmik, 72-77. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.

Fang, X., Stefan, H. G. (1994). *Temperature and dissolved oxygen simulations for a lake with ice cover*. St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory. <https://hdl.handle.net/11299/109042>.

Ficke, A. D., Myrick, C. A., Hansen, L. J. (2007). *Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17(4), 581-613. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9059-5>

Haberman, J., Haldna, M., Laugaste, R., Blank, K. (2010). *Recent changes in large and shallow lake Peipsi (Estonia/Russia): causes and consequences*. *Polish Journal of Ecology*, 58(4), 645-662.

Hunziker, S., Wüest, A. (2011). *Anthropogene Temperaturveränderungen in Flüssen und Seen – eine Literaturanalyse*. Klimbo Teilprojekt 2.a Literaturstudie zu Auswirkungen, Risikopotenzial und Toleranzbereichen von Wärmenutzungen. Eawag, Kastanienbaum.

Hutorowicz, A. (2020). *Baseline Water Temperature: Estimation of the Annual Cycle of Surface Water Temperature in Lakes in North-Central Poland over the 1951–1968 Period*. *Water*, 12(12), 3574. <https://doi.org/10.3390/w12123574>

Iital, A., Stålnacke, P., Deelstra, J., Loigu, E., Pihlak, M. (2005). *Effects of large-scale changes in emissions on nutrient concentrations in Estonian rivers in the Lake Peipsi drainage basin*. *Journal of Hydrology*, 304(1–4), 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.07.034>

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Working Groups I, II, III, Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC Working Group II, Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers.

Jaagus, J. (1999). *Kliimaatiliste aastaaegade saabumise ja kestuse territoriaalne varieeruvus Eestis*. Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat, 5-26. Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia Underi ja Tuglase Kirjanduskeskus.

Jaagus, J. (2001). *Kliimakalender*. Eesti looduse kalender (Toimetanud: Ahas, R.), 90, 9-25. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastuse trükikoda. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Jaagus, J. (2013). *Kliimaatilised aastaajad*. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval, 387-406.

Jaagus, J., Ahas, R., Aasa, A., (2002). *Eesti asub kliimamuutuste keskpunktis*. Eesti loodus, 11 (2002). Kasutatud: 20.05.2022, <http://www.eestiloodus.ee/index.php?artikkel=199>

Jaagus, J., Sepp, M., Tamm, T., Järvet, A., Möisja, K. (2017). *Trends and regime shifts in climatic conditions and riverrunoff in Estonia during 1951–2015*. Earth System Dynamics, lk 963-976. doi:10.5194/esd-8-963-2017

Jones, M. L., Shuter, B. J., Zhao, Y., Stockwell, J. D. (2006). *Forecasting effects of climate change on Great Lakes fisheries: models that link habitat supply to population dynamics can help*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63(2), 457-468. <https://doi.org/10.1139/f05-239>

Järvet, A. (2001). *Veekogude kliimaatilised aastaajad*. Eesti looduse kalender (Toimetanud: Aasa, A.), 90, 48-81. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastuse trükikoda.

Järvet, A. (2003). *Võrtsjärve temperatuurirežiim. Uurimusi Eesti kliimast* (Toimetanud: Jaagus, J.), 256-267. Tartu: Tartu Ülikooli geograafia instituut.

Järvet, A., Karukäpp, R., Arold, I. (2004). *Location and physico-geographical conditions of the catchment area*. Lake Võrtsjärv (Toimetanud: Haberman J., Pihu E., Raukas A.) 11–26. Tallinn: Estonian Encyclopaedia Publishers.

Kangur, K., Ginter, K., Kangur, P., Kangur, A., Nõges, P., Laas, A. (2016). *Changes in water temperature and chemistry preceding a massive kill of bottom-dwelling fish: an analysis of high-frequency buoy data of shallow Lake Võrtsjärv (Estonia)*. Inland Waters, 6, 535-542. <https://doi.org/10.1080/IW-6.4.869>

Kelly, C. A., Chynoweth, D. P. (1981). *The contributions of temperature and of the input of organic matter in controlling rates of sediment methanogenesis I*. Limnology and Oceanography, 26(5), 891-897. <https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.5.0891>

Keskkonnaagentuur (2022c). *Ilm ja kliima*. Kasutatud: 14.04.2022, <https://keskkonnaagentuur.ee/>

Keskonnaagentuur (2022a). *Ilm | Vaatlusvõrk*. Kasutatud: 14.04.2022, <https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/#hydro>

Keskonnaagentuur (2022b). *Ilm | Vihterpalu hüdromeetriaajaam*. Kasutatud 10.04.2022, <https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/vihterpalu-hudromeetriaajaam/>

Korhonen, J. (2005). *Ice conditions in lakes and rivers in Finland*. Finnish Environment 751. Finnish Environment Institute, Helsinki.

Korhonen, J. (2006). *Long-term changes in lake ice cover in Finland*. Nordic Hydrology, 37(4-5), 347-363. <https://doi.org/10.2166/nh.2006.019>

Korte, T., Sommerhäuser M. (2014). *Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensgemeinschaften in großen Flüssen*. Dynaklim-Publikation, 13.

Leppäranta, M. (2014). *Interpretation of statistics of lake ice time series for climate variability*. Hydrology Research 45(4-5), 673–683. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.246>

Leppäranta, M. (2015). *Freezing of Lakes and the Evolution of their Ice Cover*. Springer, Berlin. DOI: 10.1007/978-3-642-29081-7

Laas, A., Nõges, P., Kõiv, T., Nõges, T. (2012). *High-frequency metabolism study in a large and shallow temperate lake reveals seasonal switching between net autotrophy and net heterotrophy*. Hydrobiologia 694, 57–74. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1131-z>

Maanvere, E. (1962). *Eesti NSV agrokliimaatilisi iseärasusi*. Eesti NSV agrokliimaatilise teatmik, 17-30. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.

Macan, T.T. (1958). *The temperature of a small stony stream*. Hydrobiologia 12, 89–106. <https://doi.org/10.1007/BF00034143>

Magnuson, J. J., Webster, K. E., Assel, R. A., Bowser, C. J., Dillon, P. J., Eaton, J. G., Quinn, F. H. (1997). *Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield Region*. Hydrological processes, 11(8), 825-871. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19970630\)11:8<825::AID-HYP509>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19970630)11:8<825::AID-HYP509>3.0.CO;2-G)

McCormick, M. J., Fahnenstiel, G. L. (1999). *Recent climatic trends in nearshore water temperatures in the St. Lawrence Great Lakes*. *Limnology and Oceanography*, 44(3), 530-540. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3.0530>

Mundahl, ND. (1990). *Heat death of fish in Shrinking Stream Pools*. *Am Midl Nat.* 123, 40–46. DOI:10.2307/2425758

Orendt, C., Schmitt, C., Van Liefferinge, C., Wolfram, G., De Deckere, E. (2010). *Include or exclude? A review on the role and suitability of aquatic invertebrate neozoa as indicators in biological assessment with special respect to fresh and brackish European waters*. *Biological Invasions* 12(1), 265-283. DOI:10.1007/s10530-009-9448-x

O'Reilly, C.M., Rowley, R.J., Schneider, P., Lenters, J.D., McIntyre, P.B., Kraemer, B.M. (2015). *Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe*. *Geophysical Research Letters*, 42, 1–9. <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>

Przybylak, R. (2011). *Change in Poland climate over the last Millennium*. *Czasopismo Geograficzne*, 82, 23–48.

Raik, A. (1963). *Kliimaatilised aastaajad Eestis*. TRÜ toimetised, Geograafiaalaseid töid, 3, 33-44.

Schneider, P., Löser, R., Gottschalk, N., Spänhoff, B. (2011). *Auswertung und Darstellung der Zusammenhänge zwischen Klima- und Wassertemperaturdaten*. *Klimawandel und Wasserwirtschaft*, 40.

Skowron, R. (2017). *Water temperature in investigations of Polish lakes*. *Limnological Review*, 17, 31–46. DOI:10.1515/limre-2017-0004

Smith, K., Lavis, M. E. (1975). *Environmental influences on the temperature of a small upland stream*. *Oikos*, 228-236. <https://doi.org/10.2307/3543713>

Tammeorg, O., Horppila, J., Laugaste, R., Haldna M., Niemisto, J. (2015). *Importance of diffusion and resuspension for phosphorus cycling during the growing season in large, shallow Lake Peipsi*. *Hydrobiologia* 760, 133–144 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2319-9>

The BACC II Author Team (2015) *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*

Tittizer, T. (2001). *Neozoen in mitteleuropäischen Gewässern*. Gebietsfremde Arten, die Ökologie und der Naturschutz, 22, 59-74.

Trumpickas, J., Shuter, B. J., Minns, C. K. (2009). *Forecasting impacts of climate change on Great Lakes surface water temperatures*. Journal of Great Lakes Research, 35(3), 454-463.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.04.005>

Wójcik, R., Mietus, M. (2014). *Some features of long-term variability in air temperature in Poland (1951–2010)*. Przegląd Geograficzny, 86, 339–364.

Lisad

Lisa 1. Näide korrelatsioonitabelist, mille abil täideti lünki jõgede andmeridades

	Põltsamaa, Pajusi	Vihterpalu, Vihterpalu	Emajõgi, Tõlliste	Valgejõgi, Vanaküla	Pärnu, Oore	Navesti, Aesoo	Kasari, Kasari	Halliste, Riisa	Emajõgi, Tartu
Põltsamaa, Pajusi		0.609	0.663	0.746	0.823	0.701	0.771	0.793	0.769
Vihterpalu, Vihterpalu			0.664	0.712	0.664	0.634	0.709	0.690	0.664
Väike-Emajõgi, Tõlliste				0.614	0.768	0.590	0.684	0.677	0.763
Valgejõgi, Vanaküla					0.757	0.590	0.686	0.646	0.712
Pärnu, Oore						0.660	0.876	0.852	0.893
Navesti, Aesoo							0.686	0.793	0.715
Kasari, Kasari								0.885	0.845
Halliste, Riisa									0.902
Emajõgi, Tartu									

Lisa 2. Näide määratud kliimatiliste aastaegade algustest, sinisega on kuupäevad, mis määrati korrelatsiooni tabelit kasutades.

	Põltsamaa, Pajusi	Vihterpalu, Vihterpalu	Väike-Emajõgi, Tõlliste	Valgejõgi, Vanaküla	Pärnu, Oore	Navesti, Aesoo	Kasari, Kasari	Halliste, Riisa	Emajõgi, Tartu
1946	04-Apr	13-Apr	03-Apr	16-Apr	03-Apr	11-Apr	03-Apr	04-Mar	19-Mar
1947	10-Apr	14-Apr	02-Apr	17-Apr	09-Apr	10-Apr	08-Apr	13-Apr	01-Apr
1948	28-Mar	02-Apr	01-Apr	6-Apr	02-Apr	01-Apr	01-Apr	01-Apr	20-Mar
1949	23-Mar	03-Apr	28-Mar	3-Apr	04-Apr	04-Apr	28-Mar	05-Apr	15-Mar
1950	30-Mar	25-Mar	26-Mar	4-Apr	01-Apr	28-Mar	01-Apr	01-Apr	18-Mar
1951	12-Apr	13-Apr	08-Apr	14-Apr	09-Apr	11-Apr	08-Apr	10-Apr	28-Mar
1952	11-Apr	11-Apr	09-Apr	13-Apr	11-Apr	13-Apr	14-Apr	14-Apr	08-Apr
1953	30-Mar	30-Mar	30-Mar	5-Apr	02-Apr	02-Apr	03-Apr	31-Mar	03-Apr
1954	07-Apr	02-Apr	04-Apr	14-Apr	30-Mar	11-Apr	07-Apr	08-Apr	13-Mar
1955	11-Apr	28-Apr	15-Apr	28-Apr	15-Apr	28-Apr	26-Apr	01-Apr	28-Mar

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Agnes Rosenberg,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Pikaajalised muutused Eesti siseveekogude kliimaatiliste aastaegade saabumisajast ja kestuses“, mille juhendaja on Jaak Jaagus, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Agnes Rosenberg

30.05.2022