

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

Bakalauresuetöö geograafias (12 EAP)

# Kliima soojenemise avaldumine pikaajalistes muutustes taimekasvuks vajalikes soojustingimustes Eestis

**Lauri Leinus**

Juhendaja: prof Jaak Jaagus

Tartu 2022

# Kliima soojenemise avaldumine pikaajalistes muutustes taimekasvuks vajalikes soojustingimustes Eestis

## Annotatsioon

Soojusressursid on taimekasvatuses määrava tähtsusega. Nendega tagatust hinnatakse kasvuperioodi jooksul kogunevate aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summaga. Kuna keskmine õhutemperatuur on maailmas tõusnud, siis on põhjust oletada, et sellest on tingitud muutused ka käesolevas bakalaureusetöös uuritud Eesti õhutemperatuuride summades. Käesolevas bakalaureusetöös on kasutatud ilmajaamade ööpäeva keskmise õhutemperatuuri andmeid perioodil 1951–2020. Trendide leidmisel on kasutatud lineaarse regressiooni meetodit ja Mann-Kendalli testi. Ilmajaamad on grupeeritud ANOVA meetodil. Aktiivsete temperatuuride summad on suurenenud selle perioodi vältel vahemikus 320–550°C ja efektiivsete temperatuuride summad vahemikus 230–420°C. Analüüsi tulemusena selgus, et kõige suuremad efektiivsete ja aktiivsete temperatuuride summad on Pärnu lahe piirkonnas ja Kagu-Eestis. Kõige suurem temperatuuride summa tõus esines Tartu lähiümbruses ja kõige väiksem tõus oli Pärnus. Ilmajaamade temperatuuride summade keskmised erinevad üksteisest eelkõige põhja-lõuna suunaliselt ja on grupeeritavad piirkonniti: Pärnu lahe ilmajaamad, Lõuna-Eesti ilmajaamad, Põhja-Eesti ilmajaamad ja Lääne-Eesti saartel paiknevad ilmajaamad.

Võtmesõnad: kliimamuutused, efektiivsete temperatuuride summad, aktiivsete temperatuuride summad

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

## Expression of global warming in long-term changes in thermal conditions necessary for plant growth in Estonia

### Abstract

Heat resources are vital in crop production. The accumulated temperature sums and growing degree days during the growing season are used to assess whether and to what extent these resources are available. Since the global average air temperature has risen, it can be assumed that this is also the cause of change in accumulated temperature sums and growing degree days in Estonia researched in this bachelor thesis. The daily average data of weather stations in the time series from 1951 to 2020 has been used in this bachelor's thesis. Linear regression analysis method and Mann-Kendall test have been used to find out the trends. Weather stations are grouped by ANOVA method. Accumulated temperature sums have increased during this period in the range of 320 – 550°C and growing degree days in the range of 230–420°C As a result of the analysis, it could be found out that the largest amounts of growing degree days and accumulated temperature sums are in the whereabouts of Pärnu Bay and in the southeast of Estonia. The biggest tangent of temperature sums occurred in the vicinity of Tartu and the smallest increase in Pärnu. The averages of temperature sums of the weather stations differ mainly in the north-south direction and can be grouped by regions: weather stations around Pärnu Bay, weather stations in southern Estonia, weather stations in northern Estonia and weather stations on the islands of western Estonia.

Keywords: climate change, growing degree days, accumulated temperature sums

CERCS kood: P510 – physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

# Sisukord

Sissejuhatus.....	4
Kaasaja kliimamuutused .....	10
Teooria .....	15
Aktiivsed ja efektiivsed temperatuurid .....	15
Temperatuuride mõju taimede kasvule ja arengule.....	18
Efektiivsete temperatuuride summa .....	21
Materjal ja meetodika .....	26
Andmete päritolu, struktuur, kasutatavus jm vajalikud iseloomustused .....	28
Andmetöötluse ja andmeanalüüsivahendeid .....	30
Andmete statistiline kirjeldus ja üldistus .....	31
Tulemused.....	32
Õhutemperatuuride muutuste analüüs .....	32
Uuritavate näitajate keskmised, varieeruvus ja äärmusväärtused .....	34
Trendianalüüsi tulemused .....	38
Jaamade rühmitamine ANOVA meetodil .....	45
Arutelu .....	53
Kokkuvõte.....	58
Summary .....	60
Kasutatud kirjandus .....	62
Lisad.....	73

# Sissejuhatus

Globaalne kliima soojenemine on teaduslikult tõestatud. Kliimamuutused väljenduvad väga selgelt aastakümnete kuni aastatuhandete jooksul. Maailmamere tase tõuseb. Peamiseks kliimamuutuste põhjustajaks on kasvav kasvuhoonegaaside hulk atmosfääris. Kõik viimased kolm aastakümnet on olnud Maal soojemad kui neile eelnenud aastakümned alates 1850. aastast (IPCC, 2013). Seetõttu on vajalik, et poliitikud ja avalikus mõistaksid probleemi tõsidust ning võtaksid vastu otsuseid olukorra lahendamiseks.

Alates 1871. aastast on olemas usaldusväärsed andmed Läänemere regiooni keskmiste õhutemperatuuride kohta ja nendest joonistub selgelt välja õhutemperatuuride kasv. Soojenemine on suurema ulatusega Läänemere piirkonna põhjaosas ja väiksem lõunaosas. 1871. aastast kuni 2011 aastani soojenes Läänemere põhjaosa aastakümne jooksul 0,11 °C ja lõunaosa 0,08 °C (BACC Author Team, 2015).

Kliimamuutustel on otsene või kaudne mõju sellele, kuidas keskkonda hallatakse. Seejuures mõjutavad kliimamuutused põllumajanduslike maade tootlikust – seda peamiselt sademete- ja temperatuuri muutuste kaudu. Kliima soojenemise tõttu suureneb põuaaeg, esineb üleujutusi, tormi ja kahjuritega nakatumisi. Muudatustest tulenevalt paranevad kasvutingimused Läänemere põhjapoolsetel aladel, kuid samas halvenevad need lõunapoolsetel aladel vähenenud sadamete ja tõusvate temperatuuride tõttu (BACC Author Team, 2008).

Ülemaailmne soojenemine viib suurema põllukultuuride hingamiseni ehk CO<sub>2</sub> emiteerimiseni ja suurema evapotranspiratsioonini, suurema kahjuritega nakatumiseni, muutusteni umbrohtude floora juures ja saagikuseni vähenemiseni (Malhi *et al.* 2021).

Praeguse aja ja tuleviku ilmastiku muutlikkus mõjutab märkimisväärselt putukate ja kahjurite bioloogiat ja käitumist. Ülemaailmse soojenemise tõttu võivad mõned teravilja umbrohud hakata vohama, sest enamik umbrohtusid kasvavad temperatuuri kasvu puhul kiiremini kui põllukultuurid (Bajwa, Farooq *et al.* 2020). Kõrgem temperatuur vähendab nii põllukultuuride kasvu ja viljakust, kui ka putukate ellujäämist. Lähemat tähelepanu vajab see, mil määral on Eestis elavad liigid ohustatud ja kuidas saaks neid kaitsta.

Kahjurite rünnakute vastu võitlemisel on oluline osa pestitsiididel, kuid seejuures peab silmas pidama, et viimased jätvad oma jälje nii keskkonnale, kui ka tarbijatele, sest toodang ei ole sel juhul mahe ja või sisaldada tervist ohustavaid mürke. Kuna käesoleval ajal on tarbijad üha teadlikumad, siis tuleb pestitsiidide kasutamise asemel kaaluda alternatiivseid võimalusi.

Põllumajandust ohustavad Ambrose ja Granviki (2020) järgi mitmed tegurid nagu temperatuuride tõus, halvenevad mullanäitajad, sealhulgas fosfori sisalduse muutumine. Seetõttu on viimase aastakümne jooksul põllumajanduspoliitika üha enam keskendunud kliimamuutuste põhjustatud väljakutsete lahendamisele.

Arvutuste kohaselt on vaja 2050. aastal maailma rahvastiku toitmiseks suurendada toidu tootmist 70%. Mitmed hetke- ja tulevikukriisid võivad globaalse rahvastiku toidujulgeoleku ohtu seada. Nendeks on eelkõige ülemaailmsed kliimamuutused ja globaalsed pandeemiad. Kliimamuutuste tõttu langeb globaalne teravilja tootlikkus juba sellel aastakümnel. Ennustuste järgi suureneb kahju läbi aja, saavutades 2080. aastateks taseme 50%. Kliimamuutuste mõju oleks tootlikkusele märkimisväärselt kõrgem, kui tehnoloogilised edusammud ei parandaks tootlikkust olulisel määral. (Aggarwal *et al.* 2019).

Euroopa põllumajandus on viimastel aastakümnetel seisnud vastamisi väljakutsetega, milleks on jätkusuutlikumad põllumajanduslikud süsteemid, suurenenud globaliseerumine ja täiendav nõudlus tarbijatelt (Ambros, Granvik 2020).

Temperatuuri kasv vähendab tootlikkust, samas kui sademete kasv võib kompenseerida tõusnud temperatuuri. Kliimamuutuste mõju põllukultuuride saagikusele sõltub ala suurusest ja niisutussüsteemidest. (Malhi *et al.* 2021)

Temperatuuri kasvutrend pikendab maismaataimede vegetatsiooniperioodi ja toetab liikide levikuala kandumist põhja poole. See tähendab liikide kandumist külmematele aladele, kus nad varasemalt ei saanud kasvada. Sageli hakkavad liigid kasvama põhjapoolsetel aladel algupäraste liikide asemel.

Selleks, et algupärased liigid välja ei sureks, tuleks muuta agrotehnilisi praktikaid, minimaliseerides mulla niiskuse kadu, kasutades selleks teraviljade vaheldumist ja muutes külviaegu, ning kasutades uusi sorte (põuakindlad teraviljad). Äärmiselt vajalik on mulda kaitsta

erosiooni eest (pinnavee äravool ja tulvaveed) ning vähendada negatiivseid mõjusid, mis kaasnevad põlluharimisega (Kundzewicz 2009).

Kliimamuutuste uurimisega tegeleb Maailma Meteoroloogiaorganisatsioon (i.k. *World Meteorological Organization*). Samuti on kliimamuutuste käsitlemisel andnud väga suure panuse Valitsustevaheline Kliimamuutuste Nõukogu (i.k. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC). Uuritud on mõjusid, kohanemismeetmeid ja kuivõrd haavatavad on kliimamuutuste tõttu erinevad maailma piirkonnad. Käesoleva bakalaureusetöö tulemusena ja teiste uurimuste kõrvutamisel (Jaagus *et al.* 2014) selgus, et Eesti keskmine temperatuur tõusis 1951.–2020. aastal suurusjärgus 2°C (olenevalt ilmajaamast). Akumuleerunud temperatuuride summade kasvul on eriti suur mõju taimekasvule. IPCC aruanne annab selles osas väga hea võrdlusmomendi teiste maailma piirkondade trendidega.

Väga oluline allikas on muutuste uurimisel Läänemere piirkonna kliimamuutusi käsitleva teaduskirjanduse kokkuvõtte BACC (i.k. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*). Kuna Eesti paikneb Läänemere valgalal, siis on uurimusraamatul BACC väga oluline roll siinse kliima uurimisel. Selles hinnatakse erinevate maailma piirkondade kliimamuutusi ja jätkusuutlikku arengut. Hästi on teada, kuidas on muutunud süsiniku emissioon. Süsinikdioksiidi kontsentratsiooni kasv põhjustab olulisel määral taimevõra soojenemist ja muudab seega märgatavalt taimede kasvutingimusi. Koostatud on mitmeid raporteid, mis toovad esile võimaliku emissiooni stsenaariumid. Süsihappegaasi emissiooni alase teabega tegeles 1982.–2017. aastal süsihappegaasi informatsiooni analüüsikeskus CDIAC (i.k. *The Carbon Dioxide Information Analysis Center*). See Ameerika Ühendriikide Energeetikaministeeriumi alluvusse kuulunud asutus kogus, hindas ja jagas andmeid kliimamuutuse ja kasvuhoonegaaside kohta (<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/>).

Olulise panuse on andnud ka Riiklik Ookeani- ja Atmosfäärivalitsus (i.k. *National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA). See Ameerika Ühendriikide Kaubandusministeeriumi haldusalasse kuuluv teadusasutus, mille ajalugu ulatub tagasi 1807. aastasse, tegeleb ilma, ookeani- ja atmosfääriringimuste ennustamisega, viib läbi süvavee uurimusi ning korraldab Ameerika Ühendriikide territooriumil mereimetajate ja ohustatud liikide kaitset.

Varasemates teadustöodes on uuritud, kui suure soojenemisega me kokku puutume ja mil määral see on välditav. Laialdaselt on käsitletud riisi ja nisu kasvatuspriirkondi, mis on vahetult seotud

mineviku ja tulevaste kliima muutustega. Ka Eestis on nisu väga oluline põllukultuur, mille kogu saagikus moodustas 2020. aastal teravilja saagist 52%, odral saagikus moodustas sama aasta teraviljasaagist 24%, kaera ja rukki saagid olid juba tunduvalt väiksemad. Siinkohal on oluline, kuidas on muutunud õhutemperatuuride summad, sest iga taim vajab endale omast soojushulka. Eesti alal on muutunud mitmete taimede vajalik soojusrežiim (<https://epkk.ee/teravili/>).

Samuti on uuritud kliima muutuste mõju arengumaade põllumajandusele (Mendelsohn 2009), nii nagu ka kliima muutuste mõju põllukultuuride saagikusele, tootlikkusele ja toidujulgeolekule. Globaalsed trendid annavad hea ülevaate, millistesse maailma piirkondadesse liigub rahvusvahelisest vaatenurgast toidu tootmine. Sellest tulenevalt oskame arvestada, kui palju tuleb toota kodumaist teravilja.

Võrdlevaid uuringuid on tehtud parasvöötme ja troopiliste regioonide kliima muutuste mõju, tagajärgede, väljakutsete ja leevendavate meetmete kohta (Rosenzweig, Liverman 1992). Teadlased tegelevad ka ekstreemsete ilmastikusündmuste mõju hindamisega saagikusele (Powell, Reinhard 2016). 2021. aasta suvi oli Eestis erakordselt soe (Suursaar 2022). Paraku ei mõju ekstreemsed ilmastikusündmused teraviljade kasvule hästi, kuna osa neist on küll soojanõudlikud, kuid ei talu väga kõrgeid temperatuure. Soomes tehtud uurimuse põhjal võis ekstreemselt kuuma suve korral odra saagikus väheneda 70-80%-le (Hakala *et al.* 2012).

Globaalne kliimamuutus muudab ennustatavalt temperatuurimustreid. Ekstreemsete ilmastikunähtuste, näiteks kuumalainete ja kestvate põudade esinemissagedus suureneb. Samas ei ole täit kindlust kohalike muutuste osas. Uurimused on näidanud, et odra saagikus vähenes kõrge temperatuuri tõttu ja kiirema temperatuurisummade kogunemise tõttu. Madalad temperatuurid kevad perioodil suurendasid saaki (Hakala *et al.* 2012).

Väga oluline on kliimamuutuste mõju põllukultuuride füsioloogiale ja kvaliteedile. Olulise panuse annavad uurimused, mis käsitlevad taimede mikroobide tegevust ja ensüüme. Tugev mõju on veel taimede ja nende mikroorganismide vahelisel vastastikusel koosmõjul. Seejuures tuleks erilist tähelepanu pöörata sellele, et mittelineaarsed temperatuurid viitavad põllukultuuride saagikuse vähenemisele (Schlenker, Roberts 2009).

Oluline on teada, kuidas tõusnud temperatuurid mõjutavad suviteraviljade ja mitmeaastaste heintaimede kasvu. Sama kehtib ka põldoa, suhkrupeedi, söödapeedi, kurgi ja tomati kohta

(Põiklik 1964). Läbi on viidud ka uurimistöö, mis selgitas, kuidas on mõjunud erinevate taimede kasvule tõusnud temperatuurid, arvestades taimede kasvuks vajalikke temperatuurivahemikke (Miller *et. al.* 2018).

Eestis vajaks täiendavat uurimist kuumalainete ja kevadiste öökülmade mõju teraviljade kasvule, kuna teravilja kasvufaasid on lükkunud varasemaks (Siebert, Ewert 2012). Teraviljad on juba märgatavalt kevadiste öökülmade esinemise ajal kasvanud ja saavad nii külmakahjustusi. Kasutusele on vaja võtta ka pikema kasvuperioodiga sorte, et kompenseerida kiiremat valmimist. Samas on suviste kuumalainete tõttu mitmete teravilja sortide lävitemperatuur juba ületatud ning seetõttu jääb saak väiksemaks (Hakala *et al.* 2011).

Taimede arenemisfaaside saabumine on kindlas seoses eelkõige efektiivsete temperatuuride summaga. Nii näiteks on efektiivsete temperatuuride summad taliviljade, mitmeaastaste heintaimede, viljapuude ja marjapõõsaste vegetatsiooni algusest kevadel kuni õitsemiseni väga püsivad isegi üsna erinevatel kasvutingimustel (Põiklik 1964). Teraviljade saagikuse tõstmiseks oleks väga kasulik teada, kui palju on vaja efektiivseid temperatuure erinevate teravilja sortide kindlateks kasvufaasideks.

Tuleks ka uurida, kuidas Eestis arvestada temperatuuri muutustest tulenevate muutuvate külviaegadega. Selleks on vajalikud teadmised taimede muutunud vegetatsiooniperioodidest.

Eestis on suured maa-alad taimekasvatuseks ebasoodsad soojusressursside vähesuse tõttu. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks ongi selgitada välja kui võrd suurt mõju avaldavad suurenenud soojusressursid taimekasvule, võrreldes neid varasema soojusrežiimiga. Põllu või tema osade s.o väikese ulatusega maa-ala mikrokliimat võib inimene muuta juba näiteks vastavate külvikordade süsteemi sisseseadmise, põldude niisutamise, mulla omaduste muutmise jm teel.

Käesolev bakalaureusetöö selgitab välja, kuidas on Eestis muutunud aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa seoses Maa kliima üldise soojenemisega, millises ulatuses on muutunud taimede vegetatsiooniperiood seoses kliima soojenemisega ja kas Eesti kliima muutused joonistuvad välja ruumiliselt ühtmoodi või erinevalt

Uurimistöö autor otsib vastust järgmistele hüpoteesidele: esiteks, Eestis on aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa oluliselt suurenenud ning see mõjutab taimede kasvu; teiseks, Eestis on taimede vegetatsiooniperiood pikenenud ehk taimekasvatuse perspektiivis muutunud

positiivses suunas; kolmandaks, Eestis joonistuvad aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summade keskmiste erinevused välja põhja-lõuna suunaliselt.

Kuna Eesti kohta viimasel ajal selliseid uurimusi tehtud ei ole, siis antud uurimistöö eesmärgiks ongi vähendada lünki selle valdkonna teadmistes ja leida seoseid efektiivsete ja aktiivsete temperatuuride ning taimekasvu vahel.

# Kaasaja kliimamuutused

Tõenäoliselt jääb inimese põhjustatud keskmise õhutemperatuuri tõus perioodi 1850 – 1900 ja perioodi 2010 – 2019 võrdluses vahemikku 0,8–1,3°C. Inimtegevus on väga suure tõenäosusega peamiseks jääliustike sulamise põhjuseks. 1901.–2018. aastal tõusis globaalne keskmine meretase 0,20 meetrit. Alates 1970. aastast on globaalne keskmine õhutemperatuur tõusnud kiiremini kui mistahes muul 50 aasta pikkusel perioodil viimase 2000 aasta jooksul. Alates 1900. aastast on globaalne keskmine meretase tõusnud kiiremini kui mistahes muul sajandil viimase 3000 aasta jooksul. Alates 1950. aastatest on kuumalained muutunud enamikes maismaa regioonides sagedasemaks. Täheldatud on, et külmalained on muutunud harvemaks ja need ei ole enam nii karmid. Alates 1980. aastatest on mereliste kuumalainete esinemise sagedus ligikaudu kahekordistunud. Põllumajanduslik põud põhjustab üleliigse evapotranspiratsiooni ja see on kasvuhooajal takistuseks põllukultuuride tootlikkusele (IPCC, 2021).

Kui kliima soojeneb kõrgemate ülemaailmse soojenemise tasemete järgi, siis põllumajandusse puutuvate ekstreemsete kuumalainete lävi ületatakse prognooside kohaselt üha sagedamini. Mitmete Aafrika, Lõuna-Ameerika ja Euroopa piirkondade puhul prognoositakse põllumajanduslike ja ökoloogiliste põudade sageduse ja tõsiduse suurenemist. Samuti prognoositakse nende suurenemist Kesk- ja Põhja-Ameerikas ning Kariibi mere piirkonnas. Osades Aafrika, Austraasia, Euroopa ja Põhja-Ameerika piirkondades prognoositakse hüdroloogiliste põudade esinemissageduse suurenemist ja seega on need regioonid mõjutatud meteoroloogiliste põudade esinemissageduse suurenemisest. Vaid vähestes piirkondades täheldatakse põudade vähenemist. (IPCC, 2021)

Merelised kuumalained on muutunud sagedasemaks. Seega saab suure kindlusega väita, et hapniku tase on alates 20. sajandi keskpaigast mitmetes piirkondades vähenenud. Prognooside kohaselt tõuseb globaalne meretase 2050. aastaks senisele lisaks 0,18 meetrit (SSP1–1.9) kuni 0,23 meetrit (SSP5-8.5). 2100. aastaks prognoositakse meretaseme tõusu 0,38 meetrit (SSP1-1.9) kuni 0,77 meetrit (SSP5–8.5) (IPCC, 2021). Ennustuste kohaselt suurenevad veeringluse muutlikkus ja sellega kaasnevad ekstreemumid kiiremini kui enamiku maailma piirkondade keskmised muutused ja seda kõigi emissiooni stsenaariumite kohaselt.

Globaalne veeringlus on intensiivistunud alates 1980. aastatest. Suurenenud on atmosfääri niiskusvoog ja võimendunud mustrid, mis vastavad sademete ja aurumise omavahelisele erinevusele. Suuremastaapsed raiemahud vähendavad evapotranspiratsiooni ja sademeid ning suurendavad raadatud regioonides pinnase äravoolu. Urbaniseerumine suurendab kohalikke sademeid ja äravoolu intensiivsust. Tulevikus suurenevad prognooside kohaselt soojenemise tõttu keskmised ja maksimaalsed sademete hulgad, mis tulenevad troopilistest ja ekstrapoolilistest tsüklonitest, ning suureneb karmide konvektiivsete tormide esinemissagedus. Ekstreemsed sademed suurenevad prognooside kohaselt peamistes mägistes regioonides, mis viib potentsiaalselt kaskaadina üleujutusteni, maaliheteni ja järvede äärsete alade üleujutusteni. Enamik troopilisi metsi peavad jääma kestma mitmete tulevaste soojenemise trendide kiuste, mis on eriti suuremastaapsed, kui võtta arvesse ajaloolist muutlikkust. Tulekahjusid põhjustavad ilmaolud muutuvad sagedasemaks.

Väga tõenäoline on, et Hadley tsirkulatsioon ja lõunapoolkera keskmiste laiuste läänetuuled kanduvad pooluse suunas, samas kui prognooside kohaselt on stratosfääri osoonil ja kasvuhoonegaaside kontsentratsioonil vastupidine mõju Hadley tsirkulatsiooni ulatusele ja lõunapoolkera tormide teekonnale (IPCC, 2013).

Põhja-Ameerikas, Ida-Kanadas ja Kanada Arktikas on pinnapealse osooni tase suurenenud, kuid see ei ole muutunud Kesk- ja Lääne-Kanadas. Trendide raportid viitavad üldjuhul Põhja-Ameerika ja Euroopa linnade aladel ja maapiirkondades lenduvatele orgaanilistele ühenditele, mis ei ole metaan (IPCC, 2013).

IPCC kliimaraportid AR5 ja AR6 hindavad erinevate valitsuste tasandil leevendamise meetmeid ja samuti erinevate leevendamise poliitikate tagajärgi. Seejuures on leevendamine sekkumine, et vähendada kasvuhoonegaaside allikaid või suurendada nende kinnipüüdjate osakaalu. Jätkusuutlik areng loob võimaluse hinnata kliima poliitikaid ja toob esile kliimamuutustele tähelepanu osutamise tähtsuse. Rahvusvahelisel koostööl on märkimisväärne roll teadmiste ja keskkonnasõbralike tehnoloogiate tekkimisele ning edasikandumisele. Mitmed kliimapoliitikad hõlmavad väärtuste hindamist ja eetilisi kaalutlusi. Teada on, et emissioonid kasvavad suureneva globaalse rahvastiku ja majandustegevuse tõttu (IPCC, 2013). Teadlased on koostanud mitmeid stsenaariume, mis erinevad omaduste ja tagajärgede poolest, ning mis vastavad erinevatele leevendamise tasemetele. Hoidmaks temperatuuri 2°C võrra allpool võrreldes tööstusrevolutsiooni

eelse ajaga, läheb vaja suure mastaabiga energiasüsteemide ja maakasutuse muutmist (IPCC, 2013).

Leevendamisega kaasnevate kõigi majanduslike kulude hinnad varieeruvad suurel määral ja seda mõjutavad kasutatavad mudelid. Selgelt on formuleeritud oletused kliimamuutuste ja nende tagajärgede osas. Käitumisel, elustiilil ja kultuuril on märkimisväärne mõju energia kasutusele ja sellest lähtuvale emissioonile (IPCC, 2013). Põllumajandus, metsandus ja muu maakasutus on tähtsad vajalike toiduainete tagamiseks ja jätkusuutlikuks arenguks.

1930. aastatel toimus kliima soojenemine Läänemere regioonis. Sellele järgnes kuni 1960. aastateni jahenemine. Pärast seda on kliima soojenenud kuni praeguse ajani. Vähenenud on külmade ööde osakaal, samas kui soojade päevade osakaal on kasvanud. Suurimad muutused langevad talvisele ajale. Pilvisuse vähenemist ja päikesepaiste suurenemist täheldatakse eriti regiooni lõunaosas, samas oli vastupidine trend Eestis kuni 1990. aastateni. Pärast seda on kiirgushulgad hakanud tõusma. Lumikate on muutunud õhemaks Läänemere piirkonna edelaosas ja selle paksus suureneb kirdeosas. Regionaalne kliima soojeneb Läänemere piirkonnas  $0,9^{\circ}\text{C}$  võrra kiiremini, võrreldes globaalse kliima soojenemisega. Regiooni põhjaosas soojenevad eelkõige talved, samas kui lõunapool ei ole soojenemise aastane tsükkel nii selgelt välja joonistunud. Läänemere piirkonnas käib soojenemine üldjuhul käsikäes suurenenud sademetega, kuid lõunapoolsemas osas see suvel nii ei ole (BACC Author Team, 2008).

Varasemate uurimuste kohaselt tõuseb temperatuur regiooni kõigis osades (kooskõlas globaalsete kliimamudelitega) ja kõigil aastaegadel. Talvine temperatuur tõuseb ennustuste kohaselt  $4 - 6^{\circ}\text{C}$  ja suvine  $3 - 5^{\circ}\text{C}$  võrra. Samas väheneb ööpäevane temperatuuri amplituud, mis kõige tugevamini väljendub sügisel ja talvekuudel. Sellised muutused viivad taimede pikenenud kasvuajani, mis võib pikeneda 21. sajandi lõpuks regiooni põhjaosas 20 – 50 päeva ning lõunasosas 30 – 90 päeva. Samuti näitavad hüdroloogilised uurimused, et aasta keskmine jõevool suureneb põhjapoolsematel ja väheneb lõunapoolsetel valgaladel (BACC Author Team, 2008).

Satelliidi vaatlustest tuleb ilmsiks aga vegetatsiooni ja taimkatte elujõulisuse kasv suurematel põhjalaiustel, sest kasvuhooaeg on muutunud soojemaks ning pikemaks (BACC Author Team, 2008). Sama kasvutrendi näitavad ka puude aastaringide andmed. Tulevikus peavad parasvöötme ökosüsteemid rinda pistma kasvuhooajal ebasoodsa veebilansiga. Modelleerivad uurimused viitavad üldjuhul järgmise 50–100 aasta jooksul suuremale ökosüsteemi produktsioonile ja

süsiniku säilitamise võimekusele. Simulatsioonide kohaselt tuleb välja soojemate muldade mineraliseerumise protsess. Samuti võivad soojema kliima tõttu Kesk-Euroopa ja Lõuna-Euroopa kahjurputukad ja seened levida Läänemere regiooni.

Üldise tendentsi kohaselt algavad kliimaatilised kevadise poolaasta aastaajad (hilistalv, varakevad, kevad ja suvi) varem, samas kui kliimaatilised sügisese poolaasta aastaajad (sügis, hilissügis, varatalv ja talv) algavad hiljem. Seejuures on sügisese sademed peaaegu kogu Läänemere valgala regioonis suurenenud. Seda ei saa öelda Saksamaa ja Poola kohta, kus on sademed vähenenud. Lõuna-Norras on pikaajaline sademete suurenemine olnud üksnes sügisel, samas kui riigi põhjaosas on sademed suurenenud kevadel, samuti suvel ja/või talvel. Eesti keskmised sademed on väiksel määral suurenenud 1866.–1995. aastal. Sademed on suurenenud sügisel ja talvel ning nende suurenemist ei ole esinenud kevadel ja suvel. Läänemere valgala piirkonna lõunasoos on toimunud märkimisväärne soojade päevade arvu suurenemine kevadtalvisel perioodil, kusjuures analüüsitud piirkonna idaosas täheldatakse suvel ja sügisel vähenevat trendi (BACC Author Team, 2008).

Uuringute kohaselt on Eestis lumikatte kestus vähenenud intensiivsemalt Lääne- ja Kesk-Eestis. Mõnedes piirkondades on vähenemise tempo üks päev aasta kohta (Jaagus *et al.* 2017, Tarand *et al.* 2013). Sealjuures on see trend väiksem Kirde-Eestis (Tooming ja Kadaja 2006 *cit.* BACC Author Team 2008). Sarnaselt jää tingimustele, panid mitmed autorid tähele tugevat seost merepinna anomaaliate, Põhja-Atlandi ostsillatsiooni (NAO) indeksi ja Arktika ostsillatsiooni (AO) indeksi vahel (e.g. Tinz 1996; Janssen 2002).

Täheldatud on, et õhurõhu anomaalne seisund takistab Taani väinade kaudu soolase vee sissevoolu (Schrum 2001). Sellest asjaolust tulenevalt hinnatakse Läänemere kaguosa kogu meretaseme tõusuks 1,7 mm aastas, samas kui veetase langeb Botnia lahe loodeosas 9,4 mm aastas.

Läänemerel moodustub esimene merejää tavaliselt Botnia lahe kõige põhjapoolsematel madalatel rannikualadel novembris. Maksimaalne jääkate moodustub veebruaris või märtsis, kuid vahel juba ka jaanuaris. Jää katab Botnia lahte tüüpiliselt kuni maikuu keskpaigani.

Atmosfääri tsirkulatsioon Euroopa kohal varieerub aastast aastasse, mis viib temperatuuri, sademete, tuulisuse ja muu pinnalähedase kliima varieeruvuseni. Suuremalt jaolt on muutlikkus

seotud Põhja-Atlandi ostsillatsiooniga (NAO) ja seda eriti talvel (NAO; Hurrell ja van Loon 1997 *cit.* BACC Author Team, 2008; Hurrell *et al.* 2003 *cit.* BACC Author Team, 2008).

Kliima uurimises kasutatakse stsenaariume alates IPCC aruandluse algusest 1980. aastate lõpus. Stsenaariumid jaotuvad alajaotusteks, milles käsitletakse emissiooni stsenaariumite kohaselt kiirguslikult aktiivseid aineid. Nendeks on kasvuhoonegaasid nagu süsihappegaas, metaan ja aerosoolid. Vastavasisulised stsenaariumid sõltuvad eeldatavast rahvastiku kasvust, energiakasutuse efektiivsusest ja tehnoloogilistest edusammudest (BACC Author Team, 2008). Arvutatakse muutlikkuse ulatust ja ruumilisi mustreid. Nendes stsenaariumites ei arvestata aga sageli kliima faktoritega nagu päikesekiirgus, vulkaanipursked või maakasutus (BACC Author Team, 2008). Tuleks eristada kahte tüüpi stsenaariume: emissiooni stsenaariume ja kliima muutumise stsenaariume.

Mudelite abil proovitakse üldjuhul kindlaks teha inimtegevuse mõju. Mitmed projektid (nt PRUDENCE, i.k. *Prediction of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects*) kasutavad regionaalseid kliimamudeleid (RCM), et arvutada Kesk- ja Põhja-Euroopa regionaalse kliima muutuse stsenaariume (Christensen *et al.* 2002 *cit.* BACC Author Team 2008). Suuremastaapsed arvutimudelid genereerivad pikaajalisi stsenaariume. Ennustuste kohaselt suurenevad sademed talvel ja vähenevad suvel ja seda eelkõige lõunapoolsemates piirkondades (Christensen & Christensen 2003 *cit.* BACC Author Team, 2008).

Enamik prognoose viitavad põllumajandusest tulenevatele pikaajaliselt langevatele aastastele CO<sub>2</sub> emissioonidele. Põllumajanduse puhul soodustavad madalad süsiniku hinnad põllumajandusliku maa viljelemist, samas kui kõrged süsiniku hinnad soodustavad orgaaniliste muldade taastamist. Meetmed kliimamuutuste leevendamiseks on vajalikud globaalsel tasemel.

# Teooria

## Aktiivsed ja efektiivsed temperatuurid

Aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride mõjusid taimekasvatusele Eestis ei ole viimastel aastakümnetel hinnatud. Ilmunud on küll projekti „Kliimamuutuste mõju põllukultuuridele“ lõpparuande lisa<sup>1</sup>, kuid selle dokumendi kõige uuemad aegrea andmed on 2013. aasta kohta. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on vähendada lünki, mis on tekkinud viimaste aastakümnetega. Seetõttu on aluseks võetud pikem aegrida (1951–2020), et uurida, kuidas on viimastel aastatel taimekasvatuseks olulised temperatuurimustrid muutunud.

Aktiivsete õhutemperatuuride summa on üks olulisemaid näitajaid, millega saab iseloomustada taime soojusega kindlustatust (Põiklik 1964; „Eesti NSV agrokliimaatiline teatmik“, 1962; Kivi 1976). Aktiivseks temperatuuriks nimetatakse taime kasvule olulist temperatuuri, mis on üle 10°C. Tavaliselt leitakse püsivalt üle 10°C jäävate päevade alguskuupäev ning samamoodi ka kuupäev, mil temperatuur langeb püsivalt allapoole 10°C. Nende kahe kuupäeva vahele jäävad temperatuurid summeeritakse. Kui vahele jäävad ka külmemad päevad, siis nende temperatuuri ei liideta. Seda summat nimetataksegi aktiivsete temperatuuride summaks. Aktiivsete temperatuuride summad suurenevad Eestis põhjast lõunasse. Teisalt mõjutab aktiivsete temperatuuride summat mere lähedus ja kõrgus merepinnast. Keskmiste temperatuuride summad erinevad piirkonniti 300°C ulatuses. Aktiivsete temperatuuride summad erinevad märgatavalt aastate kaupa. Perioodide pikkused, mille kestel on õhutemperatuur püsivalt üle 10°C, erinevad suurel määral ja erinevused võivad ulatuda kuni kahe kuuni, sõltuvalt vastava aasta ilmaoludest (Hou *et al* 2014).

Teine väga oluline taimekasvu mõjutav näitaja on efektiivne temperatuur (Põiklik 1964; „Eesti NSV agrokliimaatiline teatmik“, 1962; Kivi 1976; Castillo *et al.* 2016), milleks nimetatakse ööpäeva keskmist temperatuuri, millest on lahutatud bioloogiline nulltemperatuur (lävitemperatuur). Kõige enam kasutatakse lävitemperatuuridest 5°C, 10°C ja 15°C. Neist kõige sagedasemat kasutust leiab lävitemperatuur 5°C. See on ühtlasi traditsiooniliselt kasvatavate kultuuride bioloogiliseks miinimumtemperatuuriks. Samas kasutatakse soojalembeliste kultuuride puhul lävitemperatuure 10°C ja 15°C. Viinamarja kasvatuse puhul kasutatakse enamasti lävitemperatuurina 10°C, kuid harva ka 5°C (Verdugo-Vásquez *et al.* 2017; Alonso *et al.* 2021), ja tsitruseliste puhul 13°C (Hardy *et al.* 2007). Meie kliimas koguneb selliseid efektiivseid

temperatuure vähe. Seega ei ole ka lootust, et tulevikus saaks Eestis isegi suure kliima soojenemise puhul hakata kasvatama tsitruselisi. Samas on teatud külmakindlaid viinamarjasorte juba Eestis võimalik kasvatada.

Efektiivset üle 5°C temperatuuri nimetatakse ka taimedele kasulikuks temperatuuriks või füsioloogiliselt aktiivseks temperatuuriks (Saue *et al.* 2015; Castillo *et al.* 2016). Efektiivsete temperatuuride summa puhul leitakse perioodi algus, mil temperatuur ületab 5°C ning ka selle perioodi lõpp, mil temperatuur langeb allapoole 5°C. Temperatuuridest, mis jäävad sinna vahemikku, lahutatakse bioloogiline miinimumtemperatuur ning seejärel saadud temperatuurid summeeritakse. Kui vahele jäävad ka külmemad päevad, siis nende temperatuuri ei liideta. Summeeritakse temperatuurid alates kevadisest vegetatsioon algusest kuni sügisese vegetatsiooni lõpuni. Tuleb kindlasti arvesse võtta, et mere äärsedel aladel on olulised erinevused kevade ja sügise vahel. Eesti lõuna ja kagu osas on varajane ja soe kevad, Lääne-Eestis on seevastu sügiseti soojem.

Efektiivsete temperatuuride summades võib erinevusi olla kuni 700°C, aktiivsete temperatuuride summades 1000°C (Saue *et al.* 2015). Üle 10°C ja 15°C temperatuure koguneb meil keskmiselt vastavalt 600–800°C ja 150–250°C. Suurenenud on ka taimedele kättesaadava soojuse hulk (ca 300°C). Suuremad muutused on toimunud Lõuna- ja Edela-Eestis, väiksemad Põhja-Eestis. Suurenenud on ka taimedele kättesaadava soojuse hulk (ca 300°C, tabel 5).

Ekstreemselt kõrged temperatuurid muutuvad sagedasemaks. Samas muutuvad ekstreemselt madalad temperatuurid harvemaks (IPCC, 2013). Teisalt sagenevad põuad ja kuumalained, mis kestavad pikema perioodi vältel. Ekstreemseid kõrgemaid temperatuure võis täheldada Eestis 2021. aasta suvel, mis oli üks soojemaid viimase 70 aasta kohta. Kuumalainete tõttu võib hävida suur hulk saagist, kuna meil kasvavad taimed ei talu nii kõrgeid temperatuuride (EMHI koduleht, Rohegeeniuse leht, Suursaar 2022).

Järjest enam esineb Kesk-Euroopas metsatulekahjusid, rekordilisi kuumalaineid ja üleujutusi ning kahjuks näitavad need viimastel aastatel üksnes sagenemise märke (Hopke 2020).

Eestis on temperatuur määratud peamiselt tsirkulatsioonimustrist (Tarand 2013). Valitsevaks on peamiselt Siberi kõrgrõhkkonnad ja Atlandi tsüklonid. Kõige suurem temperatuuri tõus on Eestis

olnud kevadkuudel. Neile järgnevad talvekuud. Ka talvise temperatuuri tõustes peaks meil jääma domineerima tsüklonaalne ilm.

Eesti jaoks on prognoositavad keskmised muutused põllumajanduse seisukohast enamjaolt positiivsed. Vegetatsiooniperiood pikeneb ja soojusressursid suurenevad. Vegetatsiooniperiood on pikenenud eelkõige kevadel. See muudab võimalikuks põllukultuuride varasema külvi. Meie aladel saab laiendada püsirohumaid ja taliviljade kasvatust. Need kultuurid pääsevad tänu varasemale arengule kõrgete temperatuuride negatiivsest mõjust.

Eriti kahjulikuks osutub pikema perioodi kestel esinev kõrge temperatuur. See võib põhjustada taimede arengu liigset kiirenemist ja seda eriti loomise või õitsemise ajal. Soojenemise käigus muutuvad ka talikultuuride talvitumise tingimused. Soojematel talvedel on väiksem ära külmumise tõenäosus.

Ühe täiendava tegurina tuleb soojenemise tõttu arvestada taimekahjurite ja -haiguste levikuga (Skendžić *et al.* 2021). Meie aladele võivad levida soojematele tingimustele kohastunud kahjurid. Samas elavad pehmemate talvede puhul paremini talve üle meil üldtuntud kahjurid.

Eestis on ilmamuutustel samuti oma mõju suviteraviljade saagikusele nii nagu seda on täheldatud ka teiste riikide kohta käivates uuringutes. Kliima soojenemisel väheneb tõenäosus hiliseks maapinna sulamiseks ja/või tahtemiseks. Sellest tegurist põhjustatud saagi vähenemist esineb harvemini. Selgelt on määratletav põua mõju saagikusele pärast külvi. Liigniiskuse mõju on meil aga seni vähe uuritud. Kliima soojenemisel öökülmade tõenäosus väheneb ja kõrge temperatuuri mõju enne loomist suureneb. Sellest tulenevalt suureneb tõenäosus, et tera täitumise perioodil võivad esineda kõrgemad temperatuurid.

Saab teha järeldusi, et eelnev kultuur koristatakse varem ja talivilja külv jääb hilisemaks. Kuna öökülmade esinemise tõenäosus väheneb, suureneb tõenäosus tugevateks sadudeks loomise ja terade täitumise ajal. Suurema tõenäosusega tuleb ette üleujutusi ja kahjustusi muutlike talvetingimuste tõttu (sula ja külma vaheldumine), millest tulenevalt on siis ka tõenäosus taimehaigusteks ja kahjustusteks suurem.

Soojemast kliimast tingitult pikeneb vegetatsiooniperiood (Linderholm 2006; Oteros *et al.* 2012). Isegi mõõduka soojenemise stsenaariumi kohaselt pikeneb sajandi keskpaigaks vegetatsiooniperiood 17–20 päeva võrra, kuid tugevama soojenemise stsenaariumi kohaselt

pikeneb kasvuperiood lausa kuu võrra. Senini on vegetatsiooniperiood pikenenud eelkõige kevade arvelt. Temperatuuride jätkuva tõusu korral pikeneb see ka sügise arvelt. Seetõttu on näiteks Eesti saartele ning läänerannikule oodata eeldavalt talvesid, kus temperatuur püsib aastaringselt üle bioloogilise nulltemperatuuri.

Mõõduka soojenemise korral on soojalembeliste kultuuride, näiteks maisi, tomati ja kurgi valmimiseks piisavalt soojust igal teisel aastal, Kagu-Eestis isegi igal aastal (Saue *et al.* 2015). Kasvatamise hindamisel tuleb arvestada konkreetse sordi omadusi. Hilisele kartulisordile osutub mõõdukas kliima soojenemine kasulikuks (Saue *et al.* 2011). Suurem soojenemine hakkab agrokliimaatilisi ressursse kahandama. Eesti puhul tuleb arvestada ka valguse intensiivsuse ja pikkade päevadega, mis võivad osutada paljudele sortidele mitesobivaks (Parthasarathi *et al.* 2013). Võimalikud pikaajalised kohanemisstrateegiad on tootmise mitmekesistamine ning erinevate kultuuride ning sortide kasutuselevõtt. Ilmaolude muutumisest lähtuvalt tuleb Eestis kindlasti panustada sordiaretusse (Kask *et al.*, 2010).

## Temperatuuride mõju taimede kasvule ja arengule

Agrometeoroloogia seisukohast on põhilised meteoroloogilised elemendid õhu- ja mullatemperatuur, sademed, tuul, päikesepaiste kestus jt. Käesolevas bakalaureusetöös on pearõhk asetatud Eesti erinevate piirkondade temperatuuri muutuste mõjude hindamisele taimekasvatases.

Kliima ülemineku tõttu mereliselt kontinentaalsemaks ja aluspinna suuremastaabiliste erinevuste tõttu esineb Eestis olulisi erinevusi kõigis tähtsamates agrokliima näitajates. Eestis tuleb teada kohaliku kliima erinevusi ja agrotehniliste võtete rakendamisel tuleb lähtuda konkreetsetest mullastiku tüübist ja kliimaatilistest erinevustest (Põiklik 1964).

Nii nagu globaalsel soojenemisel on oma osa üleilmsetes teraviljade kasvu muutustes on sarnane mõju täheldatav ka Eestis (Ingver *et al.* 2010). Kliima muutused mõjutavad ka siin teraviljade arengu eri faase ja neid muutusi saab enda kasuks pöörata ka siin sordiaretusega ja uute kultuuride kasvatamisega. Euroopas tervikuna on keskmised külviajad suviteraviljade puhul muutnud 1–3 nädalat varasemaks, kuigi piirkonniti on siin erinevusi. Muutused on olnud kõige suuremad maisi ja väiksemad talinisu puhul ning need on suuremad Euroopa lääne ja põhjaosas (Olesen *et al.* 2012).

Prognoositud kliimamuutuste korral kasvab maisi kasvatamine, samas kui kaera kasvatus pindalalt Läänemere ümbruses ei suurene. Nisu puhul viitavad prognoositavad muutused aga suurenenud saagikusele põhjapoolsetel aladel ja väiksemale saagikusele lõunapoolsetel aladel. Tulevikumudeleid saab parandada süstemaatilise analüüsi ja mitmete muutujate kaasamisega (Elsgaard *et al.* 2012).

Teravilja tootmine on juba oma olemuselt tundlik kliima muutustele, sest temperatuur määrab ära taimede arengu. Soojemad temperatuurid muudavad lühemaks teraviljade arenguetapid, ja sellest lähtuvalt toimub õitsemine varem, nii nagu ka küpsemine. Soojem temperatuur taime lehtede vahel põhjustabki kiiremat arengut, kuid kuumad suved vähendavad siiski tõenäoliselt saagikust. Temperatuuri mõju optimaalses punktis saab vahetult määrata ja ette ennustada. Suureneva atmosfääri CO<sub>2</sub> sisalduse tõttu nihkub taime õitsemisaeg paari päeva varasemaks (Craufurd, Wheeler 2009).

Seega on eeltoodule toetudes selge, et temperatuuri tõustes intensiivistub taime elutegevus, temperatuuri langedes see aga aeglustub. Intensiivse elutegevuse ja kasvu ajal on taim kõige vähem kaitstud ebasoodsate väliskeskkonna tegurite vastu. Suviteravilju omavahel võrreldes reageerib kõige rohkem külviaja hilinemisele suvinisu, mida tuleb seepärast külvata kõige varem, sellele järgneb tundlikkuse poolest kaer ja kõige vähem reageerib külviaja algusele oder (Põiklik 1964; Olesen *et al.* 2012).

Kõrge temperatuur on üldiselt ebasoodne taime juurestiku heaks väljaarenemiseks. Soojusrežiimi osas on ka viljapuudele ja marjapõõsastele oluline vegetatsiooniperioodil saadav soojuse hulk, öökülmade esinemine ning tugevus õitsemise ajal ja talvised madalad ning kevadtalvised vahelduvad temperatuurid. (Põiklik 1964).

Õiealgmete tekkimine algab pärast intensiivse kasvuperioodi lõppu, põhiliselt kujunevad viljad juulikuus. Optimaalne temperatuur õiealgmete tekkimiseks on 15–16 °C. Oluline on, et sel perioodil oleks rohkem päikese otsekiirgust. Päikesepaisteline sügis soodustab õiealgmete edasist väljakujunemist. Samuti soodustab see rohket varuainete kogunemist, mis aitab kindlustada head puude talvitumist ja on vajalik ka kevadisel kasvuperioodil enne uute lehtede moodustumist (Põiklik 1964).

Kevadel soojenevad veekogud nende suurema soojusmahtuvuse tõttu kauem, võrreldes nende lähedal paiknevate maismaa aladega. Nii on temperatuur veekogusid ümbritsevatel aladel kõrgem kui veekogude endi temperatuur. Samas jahtuvad veekogud sügisel aeglasemalt kui maismaa. Seega hoiavad veekogud neid ümbritsevate alade temperatuuri kõrgemana. Sellest tulenevalt on öökülmadest vaba aeg veekogude lähedal 2–3 nädalat pikem kui sisemaal. Nõnda on võimalik veekogude lähedal kasvatada soojalembesi ja hilisema valmimisega kultuure (Põiklik 1964). Lõunanõlvakutel ja tuulte eest varjatud kohtadel soojeneb muld varem, öökülmade oht on samuti tunduvalt väiksem ja temperatuuride summa suurem. Mikrokliima ärakasutamine võimaldab pikendada kasvuperioodi üldiselt umbes 10–20 päeva võrra ja tõsta seega aktiivsete temperatuuride summat 100–300 °C ulatuses.

Eestis võivad üksikutel aastatel, kui esineb väga hiline ja tugev kevadine või varajane sügisene öökülm, kahjustused olla väga suured. Varajased sügisesed öökülmad lõpetavad enneaegselt kultuuride kasvu, vähendavad saaki ja selle kvaliteeti. Näiteks sisaldab kartul sel juhul vähem tärklist, mais vähem kuivaineid ja põllukultuuride suhkrusisaldus jääb väiksemaks.

Suvi algab öökülmade lõpuga, mil muld on juba soojenenud 13–15 °C –ni (Põiklik 1964) ja siis võib külvata või istuda avamaale soojalembesi kultuure: kurki, kõrvitsat. Tärkavad mais ja kartul. Umbes nädal-poolteist pärast suve algust hakkavad looma paljud kõrrelised heintaimed, liblikõielistel heintel algab õisikute moodustumine või õitsemine (varajane ristik). Keskmiselt algab see periood Eesti mandriosas juuni lõpupoole ja kestab augusti keskpaigani. Sel ajal toimub kultuuride intensiivne kasv ja massiline valmimine.

Esimesed külvatavad kultuurid on suviteraviljad – suvinisu, oder, kaer. Neile järgnevad suhkrupeet ja põlduba, mida võib külvata siis, kui muld on soojenenud 6–7°C-ni. Siis algab kartulipanek, milleks muld peab olema soojenenud 8–9°C. Järgnevad mais, mille külviks sobiv mullatemperatuur on 10–12 °C ning kõige lõpuks kurgid, kõrvits, mis nõuavad külviks või väljaistutamiseks 13–15 °C mullatemperatuuri (Põiklik 1964).

Õitsemise kontrollimine on taimede saagikuse puhul kesksel kohal ja seda eriti teraviljade puhul. Viimasel ajal on suudetud eraldada esimesed õitsemise aega mõjutavad nisu ja odra geenid (Cockram *et al.* 2007).

Mida pikem ja kõrgema keskmise temperatuuriga on olnud öökülmaeelne periood ja mida hilisem ning tugevam on öökülm, seda ohtlikum see on. Kuna kultuuride vastupanuvõime madalale temperatuurile on suurel määral seotud nende arengufaasidega, siis on vaja teada kultuuride kriitilisi temperatuure taimede erinevais arengufaasides. Korduvalt esinevad öökülmad ja madal temperatuur halvendavad tunduvalt paljude kultuuride kasvutingimusi, taimed nõrgenevad, hakkavad põdema ja annavad väiksema ning hilisema saagi. Öökülmad vigastavad või hävitavad otseselt põllumajanduskultuure või rikuvad nende saaki osaliselt või täielikult (Martino, Abbate 2019). Temperatuurilt ühesugune või isegi nõrgem, kuid pikema perioodiga öökülm kahjustab kultuure tavaliselt rohkem kui lühiajalisem ja tugevam öökülm. Kõigi talvituvate kultuuride kohta on vaja teada temperatuuri piire, mille juures nad võivad saada kahjustusi. Need piirid olenevad suurel määral eelnevast taimede karastusest ja talvekindluse muutumisest talve vältel (Põiklik 1964).

Nii nagu kuumadel suvedel on märkimisväärne roll taime arengule ja saagikusele ei ole vähem tähtis roll talvistel temperatuuridel taliviljadele, sest suures ulatuses kõikuvad temperatuurid võivad esile kutsuda talvekahjustusi. Need võivad olla järgmised: taimede ärakülmumine madala temperatuuri mõjul, ärahaudumine paksu lumikatte all, äravettimine taimede jäämisel vee alla või mulla liigniiskuse mõjul, taimede üleskerkimine vahelduva temperatuuri tagajärjel (külmakergitus) või mulla künnijärgse vajumise tõttu ja kahjustused jääkoorikust (Põiklik 1964).

Meie talvituvatest põllukultuuridest on kõige külmakindlam talirukis. Talinisu on vähem külmakindel. Talioder on veelgi vähem külmakindel. Kui tugevaid püsivaid külmi esineb harva ja lumikate on küllalt paks, siis talvituvad taliviljad siin tavaliselt 0 °C lähedasel temperatuuril (Põiklik 1964).

## Efektiivsete temperatuuride summa

Kuna temperatuurid võivad aastast-aastasse suures mahus kõikuda, siis on raske hinnata taimekasvu kalendripäevade järgi. Selle asemel võetakse aluseks efektiivsed temperatuuride hinnang (i.k. *growing degree days*), mis põhineb tegelikel temperatuuridel. Nii saab hinnata, millal kindel taime kasvufaas esineb (Miller *et al.* 2018).

Taimed vajavad oma arengus ühest elutsükli faasist teiseni kindlat kogust soojust. Põllumajandustootjad kipuvad kasutama kalendriaastat, et ennustada taimede arengut, kuid see ei

ole väga kindel meetod, sest näiteks külm maikuu võib suurel määral edasi lükata taime neljanda lehe staadiumisse jõudmist. See mõjutab omakorda optimaalset umbrohutõrjet. Mitmed uurimused on näidanud, et kogunenud soojuste hindamine ajas annab parema ülevaate kui päevade loendamine (Miller *et al.* 2018, Aslam *et al.* 2017).

Igal organismi arengufaasil on oma soojusvajadus. Taimede arengut saame hinnata akumulunud temperatuuride summaga. Need põhinevad tavaliselt kindlatel sündmustel nagu istutuskuupäev või esimene kahjurite ilmumine. Kui näiteks võrrelda kasvufaase, kasutades kalendripäevi ja efektiivseid temperatuure, siis nisu puhul on viienda lehe staadium 21 päeva pärast idanemist või siis, kui efektiivsete temperatuuride summa on pärast idanemist 350 kraadi. Kalendrit kasutades on vea suuruseks pluss või miinus üheksa kalendripäeva. Kasutades 350 kraadi efektiivsete temperatuuride hinnangut, on võimaliku vea suurus kaks kuni kolm kalendripäeva. Suurem mõõtmistäpsus on oluline eriti umbrohutõrje jaoks herbitsiidide kasutamisel. Need on kõige efektiivsemad pärast viienda lehe staadiumit (Miller *et al.* 2018).

Täpne efektiivsete temperatuuride arvutus on tähtis põllukultuuride simulatsioonimudelites. Traditsioonilised efektiivsete temperatuuride arvutuse meetodid eeldavad lineaarset kasvu muutust sõltuvalt temperatuurist ja ei suuda täpselt hinnata taimekasvu hilisemaks lükkumist või arengut optimaalsest temperatuurist kõrgema temperatuuri juures. Uuemad meetodid ennustavad arengufaase ette palju täpsemalt ja vead on väiksemad. Uued meetodid annavad seega palju stabiilsemaid tulemusi ja on traditsioonilistest meetoditest täpsemad (Zhou *et al.* 2017).

Arengu kiiruse ja temperatuuri vaheline seos on efektiivsete temperatuuride arvutamisel võtmetähtsusega. Lineaarset meetodit, mis eeldab, et arengu kiirus on lineaarselt võrdeline temperatuuriga üle kindla väärtuse, kasutatakse kõige sagedamini. See meetod on tavapäraselt täpne keskmiste temperatuuri arväärtuse korral. Samas võib lineaarse seose eeldus viia vigadeni, kui temperatuurid kalduvad ekstreemsete väärtusteni. Lineaarne seos õhutemperatuuri ja taimekasvu vahel on ebasobiv viis pikaajaliste ja kogu taime elutsükli kajastavate uurimuste puhul. Seetõttu on arendatud ka mitmeid mittelineaarseid meetodeid (Zhou *et al.* 2017). Näiteks on kasutuses bilineaarne lähenemisviis, mille puhul kirjeldatakse ekstreemselt madalate ja kõrgete temperatuuride mõju erinevate lineaarsete võrdustega. Eksponentsiaalsed võrrandid on tavaliselt efektiivsed madalatest kuni keskmiste temperatuuride puhul, aga ei ole efektiivsed kõrgete temperatuuride mõju kirjeldamiseks. Astmevõrrand on lihtne mudel, mis võimaldab modelleerida

väiksemat arengu kiirust kõrgemate temperatuuride korral. Kasutusel on ka beetafunktsioonid, millel on kolm parameetrit, et hinnata temperatuuri mõju, ja need on osutunud edukaks erinevate põllukultuuride arengu simuleerimisel nagu maisi, nisu, odra, sorgo ja oa puhul (Zhou *et al.* 2017).

Erinevatele uuringutele toetudes ennustatakse ekstreemsete ilmastikunähtuste nagu kuumalained ja pikk põuaaeg esinemise sagenemist. Samas on palju ebakindlust kohalike muutuste osas. Erinevate põllukultuuride sortide mitmekesisus on muutnud need vastupanuvõimelisemaks ilmastiku muutustele. Seetõttu peabki olema kultuuride osas piisav mitmekesisus. Põhjalikumalt on uuritud odra vastupidavust erinevatele ilmastikutingimustele ja ka tema sortide mitmekesisust.

Nende uurimuste tulemuste põhjal leiti, et odra saagikus kahanes põua tõttu, põhjustatuna kõrgest temperatuurist õite ilmumise ajal ja kiirenenud temperatuurisummade kogunemise tõttu (Hakala *et al.* 2011). Varased hooajalised madalad temperatuurid suurendasid saagikust, kuid külmal perioodil, mis jäi neli nädalat enne külvamist, ei olnud mingisugust mõju. Temperatuuride summa ja kriitilised temperatuurid on võtmemuutujad, mis mõjutavad võimalikku põllumajanduslikku saagikust.

Oder kannatab maksimaalset temperatuuri 50°C, mais 38°C, hirss 40°C, kaer 31–37°C, riis 35°C, sorgo 40°C ja nisu 35°C. Seega on kaera puhul Eesti tingimustes viimastel suvedel ületatud maksimaalne kasvutemperatuur. Teiste teraviljade maksimaalne talutav temperatuur on pisut kõrgem. Samuti võib ka Eestis suvel päikese käes kuumalainete ajal tõusta temperatuur ohtlikult kõrgeks. Täheldatud on, et tavalisest pikema optimaalse vegetatsiooniperioodiga kaasneb kõrgem maksimaalne terade tootlikkus (Hakala *et al.* 2011).

Odra varajase kasvu ajal on saagikus kõrgem kui keskmine temperatuur on madal. Kui temperatuurid tõusevad väga kõrgele tasemele esimesel ja teisel nädalal pärast õite ilmumist, siis selle mõju sõltub kõrge temperatuuri kestusest. Kui kõrgem temperatuur kestab kauem, siis on sellel halb mõju odrale. Kui temperatuur tõuseb 28°C või isegi kõrgemale kuue päeva jooksul, siis saagikuse vähenemine on mõnedel juhtudel märgatav, sest saagikus võib väheneda koguni 70–80%-le keskmisest (Hakala *et al.* 2011).

Soomes on peamiseks madala saagikuse põhjuseks lühike ja intensiivne kasvuhooaeg ning varajane ja hiline külm (Hakala *et al.* 2011). See tähendab, et väheldane kogunenud temperatuuride summa on oluline võtmetegur. Kuna Lõuna-Soome vegetatsiooniperiood on Eesti omale

võrdlemisi sarnane, siis võimaldab see ka Eesti kohta teha järeldusi. Ennustuste järgi parandavad kliimamuutused üldjuhul põhjala kasvuhooaja tingimusi ning ootuslikult muutub kasvuhooaeg pikemaks ja kogunenud temperatuuride summa suuremaks.

Kasvuhooaja suurenenud temperatuurid ning kuumalainete jt äärmuslike ilmastikusündmuste esinemise sagenemine võib saagikust vähendada, kuna taimede kasv kiireneb (Hakala *et al.* 2011). Varajasel kasvuhooajal esinevad öökülmad, kõrged temperatuurid varajaste kasvufaaside ajal ja kiirenenud areng võivad põhjustada märkimisväärse saagikuse languse. Samuti lühendavad kõrgemad temperatuurid terade täitumise aega. Saagikus väheneb märkimisväärselt temperatuuri tõusu tõttu kolmandal ja neljandal nädalal pärast külvamist. Väga kõrged temperatuurid perioodil 1–2 nädalat pärast õite ilmumist kahandasid samuti saagikust.

Seega võib õhutemperatuuri tõus viia taimekasvu märkimisväärsete muutusteni. Poolas läbi viidud uurimus kinnitas samuti suurenenud soojusressursse, mis on pikenenud vegetatsiooniperioodi tagajärjeks. Sellegipoolest jääb kevadkülmade sagedus ja intensiivsus – eriti õitsemise või küpsemise faasis – üheks peamiseks ohuks saagile nii Poola ida- kui ka lääneosas. Mitmed uurimused on näidanud, et vegetatsiooniperiood on pikenenud umbes viis päeva 1°C aastase temperatuuri keskmise kasvu korral ja kui kevadine keskmine temperatuur tõusis 1°C, siis vegetatsiooniperiood pikenes 12 päeva võrra (Wypych *et al.* 2017).

Fenoloogiline uurimus kinnitas selgelt kasvuhooaja pikenedmist 20. sajandi teises pooles umbes kahe nädala võrra (Siebert, Ewert 2012). Vastav muutus on eriti kiirenenud viimase kolme aastakümne vältel. Kasvuhooaja lõppemise langemine hilisemale kuupäevale on märksa tähtsam kui varasem alguskuupäev kevadel. Kõige olulisem tegur on temperatuuri tõus kasvuhooajal. See viib soojusressursside suurenemiseni, kiirendades järgmisi kasvufaase: varajane pungade moodustumine, lehte minemine ja õitsemine kevadel, viljade valmimine suvel ning hilisem lehtede langemine sügisel.

Kasvuhooaega puudutavalt on näha positiivset temperatuuride tõusu trendi, mis küündib Läänemere rannikul nelja päevani kümne aasta kohta. Koguneva soojuse suurenemine viimaste kevadkülmade ajal, samuti ka külmade sageduse muutlikus pärast seda, kui taimed jõuavad tundlikesse kasvufaasidesse, võib koguni suurendada külmakahjustuste ohtu.

Kõrgemate temperatuuride korral on putukate esimene ilmumise kuupäev ja maksimumpunkt hilisemad. Sellisel looduse käigul on mõju looduslikele ökosüsteemidele ja inimühiskonnale, kuna suureneb kahjurite populatsioon ning nende leviku ulatus. Põllumajanduslik tootlikus võimaldab pikema vegetatsiooniperioodi ja suurema efektiivsete temperatuuride summa korral rahuldada kasvavat põllukultuuride vajadust. Samas kasvab ka surve putukate arvukusele, veevajadusele ja põuarisk.

Eelpool öeldu põhjal saab järeldada, et täiustades teraviljade tootmist agronoomilise majandamise teel, aretades kliima mõjuga kohandatud genotüüpe ja suurendades geneetilist bioloogilist mitmekesisust on võimalik tagada parem saagikus ja leevendada kahjurite mõju (Fatima *et al.* 2020). Samas tuleb ka arvestada äärmuslike ilmastikutingimustega nagu kuumalained, tormid, põud, soolsus ja üleujutused, nii nagu ka kasvuhoonegaaside õhku paiskamine läbi erinevate inimtegevuste mõjutab põllumajanduslikku tegevust nii Läänemere ääres kui ka globaalselt.

Muutused väetiste kasutamise efektiivsuses, orgaaniliste väetiste kasutamine, niisutusvee optimeerimine, taimearetus ja geneetilised modifikatsioonid ning laiem valik põllukultuure on head strateegiad kliima muutustega tegelemiseks, sest uurimused prognoosivad, et 2,0°C keskmise temperatuuri tõus põhjustab teravilja tootlikkuse vähenemise 20–40%.

# Materjal ja metoodika

Käesoleva bakalaureusetöös on kasutatud ööpäeva keskmise õhutemperatuuri andmed 20st meteoroloogiajaamast, mis paiknevad Eesti erinevates osades (tabel 1, joonis 1).

Tabel 1. Ilmajaamade koordinaadid

Ilmajaam	Laiuskraad	Pikkuskraad
Pakri	N 59°23'22''	E 24°02'24''
Kuusiku	N 58°58'23''	E 24°44'02''
Kunda	N 59°31'17''	E 26°32'29''
Tartu	N 58°15'51''	E 26°27'41''
Viljandi	N 58°22'40''	E 25°36'01''
Vilsandi	N 58°22'58''	E 21°48'51''
Pärnu	N 58°23'4,44''	E 24°29'6,71''
Valga	N 57°47'24''	E 26°02'16''
Virtsu	N 58°34'22''	E 23°30'49''
Sõrve	N 57°54'49''	E 22°03'29''
Tallinn	N 59°23'53''	E 24°36'10''
Väike-Maarja	N 59°08'29''	E 26°13'51''
Nigula	N 58°57'04''	E 23°48'56''
Jõhvi	N 59°19'44''	E 27°23'54''
Jõgeva	N 58°44'59''	E 26°24'54''
Ristna	N 58°55'15''	E 22°03'59''
Kihnu	N 58°05'55''	E 23°58'13''
Narva	N 59°23'22''	E 28°06'33''
Türi	N 58°48'31''	E 25°24'33''
Võru	N 57°50'47''	E 27°01'10''

# Meteoroloogiliste ilmajaamade asupaigad



Joonis 1. Meteoroloogiajaamade paiknemine üle Eesti.

Taimede kasv toimub kui ööpäevane temperatuur ületab  $+5^{\circ}\text{C}$  (veebileht <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/wcc/home/climateSupport/wetlandsClimateTables/growingSeasonDatesLength/>). Põllumajanduses on taimekasvuperioodiks ehk vegetatsiooniperioodiks vahemik, mis algab kultuuri kasvu algusega, ja lõpeb selle põllult koristamisega. Vegetatsiooniperioodi piiritletakse temperatuuri osas globaalset mitmeti, kuid Eesti puhul mõistame selle all eelnevalt mainitud temperatuuri. Vegetatsiooniperioodi kestus sõltub suuresti laiuskraadist. Eestis on vegetatsiooniperioodi kestuseks 175-195 päeva (Eesti Taimekasvatuse Instituudi (ETKI) koduleht, <https://etki.ee/artikkel/kasvuperioodi-lopp/>). Kõige enam kestab

vegetatsiooniperiood Lõuna-Eestis ja saartel (üle 185 päeva) ja kõige lühem on see Kirde-Eestis ja Pandivere kõrgustikus (alla 180 päeva).

Suurimad efektiivsete temperatuuride summad on Kagu-Eestis (näiteks Võru ilmajaamas) ja Pärnu lahe piirkonnas (näiteks Pärnu ilmajaamas). Väiksemad efektiivsete temperatuurid on Hiiu maal (Ristna ilmajaam) ja Kirde-Eestis (Väike-Maarja ilmajaamas, Jõhvi ilmajaamas; ETKI koduleht).

Eestis rannikualadel ja saartel on ilmad pehmemad kui sisemaal. Sellist ilma muutlikust põhjustab Läänemeri. Talvel on mere mõjust tingituna rannikualad soojemad ja suvel sisemaa soojem. Kevadel soojeneb sisemaa merest tunduvalt kiiremini ja sügisel jahtub see kiiremini. Jaanuari keskmine õhutemperatuur on Kesk- ja Ida-Eestis  $-6...-7^{\circ}\text{C}$  ja Lääne-Eestis  $-2..-4^{\circ}\text{C}$  (Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) koduleht; ETKI koduleht). Suvel on territoriaalsed temperatuurierinevused väiksemad. Kõige soojemaks kuuks on ühtlasi juuli, mil temperatuur on üle  $+18^{\circ}\text{C}$ .

Kõrgeim temperatuur on Eestis mõõdetud Võrus, mil temperatuurinäit oli  $35,6^{\circ}\text{C}$  (11. augustil 1992). Külmarekordiks on Jõgevas registreeritud temperatuur  $-43,5^{\circ}\text{C}$  (17. jaanuaril 1940). Madalaim aasta keskmine temperatuur pärineb samuti Jõgevalt. Kõrgeim keskmine temperatuur on registreeritud Vilsandil. Kõrgeim kuu keskmine õhutemperatuur pärineb Narva-Jõesuust (EMHI koduleht). Kõigi nende asupaikade kohta on olemas ka ilmajaamade andmed.

## Andmete päritolu, struktuur, kasutatavus jm vajalikud iseloomustused

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatud andmed pärinevad Riigi Ilmateenistuse andmebaasist. Iga üksiku kuupäeva kohta aastatel 1951–2020 on olemas ööpäevase keskmise temperatuuri andmed. Neid saab kasutada, leidmaks püsivaid üleminekuid temperatuurist  $+5^{\circ}\text{C}$  ja  $+10^{\circ}\text{C}$ . Sooja perioodi algus on leitud, nii et soojale perioodile järgneva külma perioodi alla piirväärtuse temperatuuri hälvete summa ei ole suurem kui eelneva sooja perioodi üle piirväärtuse temperatuuri hälvete summa. Külma perioodi algus sügisel on määratud samal meetodil. Kui külmale perioodile järgneb soe periood ning selle üksikute päevade üle piirväärtuse temperatuuri hälvete summa ei ole suurem kui sellele eelnenud külma perioodi alla piirväärtuse hälvete summa, siis loetakse külma perioodi alguskuupäev alla piirväärtuse püsiva langemise kuupäevaks.

Andmed on analüüsitud MS EXCEL-is. Aktiivsete temperatuuride leidmisel on kasutatud funktsiooni SUMIF, mille sisenditeks on sooja perioodi (üle  $+5^{\circ}\text{C}$  või üle  $+10^{\circ}\text{C}$ ) päevade

vahemik ning tingimuseks on seatud  $\geq 5$  (efektiivsete temperatuuride leidmisel) või  $\geq 10$  (aktiivsete temperatuuride leidmisel). Efektiivsete temperatuuride summeerimisel lahutatakse kõigist väärtustest bioloogiline miinimumtemperatuur  $5^{\circ}\text{C}$ . Kasutatud on funktsiooni COUNT, et arvutada välja vegetatsiooniperioodi pikkused.

Trendi analüüs on viidud läbi kahel meetodil: Mann-Kendalli test ja lineaarne regressioonanalüüs. Neist esimese juures on kasutatud Soome Meteoroloogia Instituudi poolt välja töötatud MS EXCEL-i makrot, mis võimaldab leida soovivate aastate vahemikus efektiivsete ja aktiivsete temperatuuride trendi. Sisendiks on aktiivsed või efektiivsed temperatuurid. Makro leiab järgmised vajalikud näitajad: testi statistik  $Z$ , statistiline olulisus, trendijoone aastane tõus  $Q$ , tõusu puhul 99% tõenäosuse maksimaalne väärtus, 99% tõenäosuse minimaalne väärtus, 95% tõenäosuse maksimaalne väärtus ja 95% tõenäosuse minimaalne väärtus.

MS EXCEL-is võrreldi ilmajaamade aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride keskmiste erinevusi, kasutades ühefaktorist ANOVA (*Anova: Single Factor*). Uuriti temperatuuri sõltuvust ajast. Analüüsi käigus rühmitati omavahel erinevad ilmajaamad nende keskmiste aktiivsete ja efektiivsete temperatuurisummade järgi. Kontrolliti nullhüpoteesile ja alternatiivhüpoteesile vastavust.

Nullhüpoteesiks oli järgnev: vaadeldavate ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmised ei erine üksteisest statistiliselt oluliselt.

Alternatiivhüpotees oli järgnev: vaadeldavate ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmised erinevad üksteisest statistiliselt oluliselt.

Analüüsiga testiti, kas ilmajaamade keskmised aktiivsed ja efektiivsed temperatuurid jäävad samasse suurusjärku või mitte.

Kaartide koostamisel kasutati tarkvara ArcMap 10.6.1. Enne vastavas tarkvaras töö alustamist koostati MS EXCEL-is aktiivsete temperatuuride summade, aktiivsete temperatuuride summade standardhälvete, efektiivsete temperatuuride summade ja efektiivsete temperatuuride summade standardhälvetega andmetabelid. ArcMapis lisati vastavad andmetabelid maakondade kaardikihile, mis hangiti Maa-ameti kodulehelt.

Kõik töödeldavad andmed pärinevad Riigi Ilmateenistusel. Kaardi kujul andmete esitamiseks on ilmajaamade asupaikade kaardi puhul lähtunud meetermööduistikus ristkoordinaatidest. Aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa kaardi puhul on andmete puhul arvutatud keskmised aktiivsete ja efektiivsete temperatuuri summade arvvaartused iga maakonna jaoks. Seda juhul kui ühe maakonna kohta on mitu ilmajaama. Samuti on leitud aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa standardhälvete keskmised standardhälve keskmise summa valemi järgi. Viimased tulemused tulid töös kõik enam-vähem võrdsed tavalise aritmeetilise keskmise standardhälve vaartustega. Kõik andmed on kaartide puhul leitud maakondade lõikes ja nii on ka andmed kaardile kantud. Andmed on analüüsitud ja töödeldud MS EXCEL-is.

## Andmetööluse ja andmeanalüüsivahendeid

Käesolevas bakalaureusetöös kasutati veebist (<https://www.statology.org/averaging-standard-deviations/>) leitavat standardhälbe sumeerimise meetodit, kuna standardhälvete puhul ei saa statistiliselt leida lihtsalt nende aritmeetilist keskmist.

$$\text{Keskmine S.D.} = \sqrt{\frac{((n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2 + \dots + (n_k-1)s_k^2)}{(n_1+n_2 + \dots + n_k - k)}}$$

kus:

- **n<sub>k</sub>**: valimi suurus k<sup>th</sup> grupi puhul
- **s<sub>k</sub>**: k<sup>th</sup> grupi standardhälve
- **k**: kõigi gruppide arv

Pärnumaa keskmise leidmiseks leiti näiteks selle valemiga Pärnu, Virtsu ja Kihnu ilmajaama keskmine. Seda oli vaja kaartide koostamisel maakondlike andmetega. Vastav meetod oli sobiv ka seetõttu, et ei põhjustanud tulemustes moonutusi.

Trendianalüüsiks on kasutatud Soome Meteoroloogia Insituudi 2002. aastal välja töötatud makrot, mille nimi on MAKESENS 1.0. Tarkvara versioon on 1.0 ja tegemist on vabavaraga. Makro teeb Mann-Kendalli testi ja annab Theil–Sen tõusu hinnangu ja see on välja töötatud aastaste trendide kindlaks tegemiseks. Kasutatud statistiliseks meetodiks on Mann-Kendalli mitteparameetriline test, tegemaks kindlaks, kas esineb monotoonselt kasvavat või kahanevat trendi ja mitteparameetriline Theil-Sen meetod, hindamaks lineaarse trendi tõusu. See koosneb kolmest EXCEL-i töölehest: Annual data, Trend Statistics ja Figure. Töölehele Trend Statistics kuvatakse arvutused. Viimaks saab vaadata EXCEL-i töölehel Figure algandmeid ja statistikat.

## Andmete statistiline kirjeldus ja üldistus

Mann-Kendalli testiga leitud statistilise olulisuse Test-Z väärtused on kõik üle vajaliku väärtuse 1,96, nii et saame lugeda kõigi aastate trendid statistiliselt oluliseks. Seega on kõigi ilmajaamade  $p < 0,05$ . Sama kehtib ka lineaarse regressiooni meetodil tehtud trendianalüüsi kohta. Kõigi ilmajaamade puhul on nii aktiivsete temperatuuride kui ka efektiivsete temperatuuride summa  $p < 0,05$ .

# Tulemused

## Õhutemperatuuride muutuste analüüs

Perioodil 2000–2020 on täheldatavad tavapärasest soojemad talved, mil taimekasvuks soodsate temperatuuride lõppkuupäevad on koguni detsembri alguses. Temperatuur ei ole püsivalt enne novembri lõppu või detsembrit allapoole  $+5^{\circ}\text{C}$  langenud. Seda on võimalik täheldada peaaesjalikult saartel.

Mann-Kendalli meetodil leiti erinevate ilmajaamade aasta keskmise õhutemperatuuri trendi statistiline olulisus. Samuti leiti EXCELi makro Makesens 1.0 abil Seni tõusu hinnang. Kõige suurem Sen'i tõusu hinnang on Tartu-Tõravere ilmajaama puhul (tabel 2). Vastava näitaja arvvääratus on 0,0404. Tallinna ilmajaama puhul on temperatuuri trendi tõus 0,0326. Erinevused trendi näitajates seostuvad eelkõige mõõtmismetoodilistes erinevustes. Tartu puhul on põhjuseks see, et aegreala varasemal perioodil asus ilmajaam Ülenurme lennuväljal ja alates 1997. aastast Tõraveres. Kuna Tõravere ilmajaam asub suhteliselt kõrges kohas, siis on seal öine jahtumine väiksem ja keskmine temperatuur on kõrgem kui Ülenurmes. Samas läheb Soome lahe ääres kevadel hiljem soojaks ja sügisel külmaks.

Sarnane temperatuuride tõusutrend joonistub välja Põhja-Eestis üksteise suhtes põhja-lõuna suunaliselt enam-vähem samal laiuskraadil paiknevate ilmajaamade puhul – nii on Kunda ja Pakri ilmajaamal sisuliselt võrdne temperatuuride muutus. Samas on näiteks Pärnu lahe piirkonnas paiknevate ilmajaamade temperatuuride muutus kõigil ilmajaamadel võrdlemisi erinev. Pärnu ja Kihnu ilmajaama erinevus on põhjustatud sellest, et Kihnu on väike saar ja see on ümbritsetud igalt poolt Liivi lahega, samas kui Pärnu on sadamalinn. Pärnu andmed on mittehomoogeensed jaama asukoha muutuse tõttu. Varasemal perioodil asus Pärnu ilmajaam rannas, hiljem aga kesklinnas ja seejärel Sauga lennuväljal. Kuna jaam liikus rohkem sisemaale, kus kliima on natuke külmem, on seal soojenemistendents natuke väiksem. Virtsu temperatuuride muutus jääb Kihnu ja Pärnu vahepeale. Võrreldes Pärnuga on suurem temperatuuri muutus Virtsus põhjustatud selle paiknemisest vahetult Suure väina ääres.

Samas on ka Sõrve rannikujaama temperatuuride summa muutus tunduvalt suurem kui Pärnu ja Tallinna temperatuuride summade muutus (tabel 2). Sõrve rannikujaama temperatuuride summa

muutus jääb samasse suurusjärku kui Vilsandi oma. See tuleneb otseselt mõlema sarnasest laiuskraadist ja meretuultele avatusest.

Kuna Narva paikneb vahetult Narva lahe lähedal, kuid ikkagi sisemaal, siis Narva keskmiste õhutemperatuuride summa muutus on kõrgem kui Soome lahe ääres paiknevatel linnadel (vt tabel 2). Vastavad väärtused on siiski võrdlemisi sarnased. Väikesed erinevused nende vahel on tingitud eelkõige mõõtmise ja meetodilistest probleemidest erinevates jaamades, mis on üldiselt juhuslikku laadi.

Kuna Ristna paikneb Kalana lahe ääres ja on põhiliselt merele avatud edelast, siis on Ristna mere mõjule avatud. Meri tasandab väga olulisel määral aasta keskmist temperatuuri. Nii on Ristna temperatuuri tõus arvvaärtuselt võrreldav Tallinna ja Pärnu omaga. Tabelis 2 on esitatud kõigi 20 ilmajaama temperatuuride tõusud.

Tabel 2. Aasta keskmiste õhutemperatuuride tõusud ja temperatuuride tõus ajaperioodil 1951-2020 erinevate ilmajaamade lõikes. Testi statistic Z näitab, et kõikides jaamades oli trend väga kõrgel olulisuse tasemel.

	Seni tõusu hinnang	Temp. Tõus °C	Mann-Kendalli trendi test Z
Tartu-Tõravere	0,0404	2,8	5,93
Tallinn	0,0326	2,3	5,29
Kunda	0,0369	2,6	5,56
Kuusiku	0,0341	2,4	5,37
Pakri	0,0362	2,5	5,83
Pärnu	0,0320	2,2	5,06
Sõrve	0,0365	2,6	5,76
Valga	0,0335	2,3	5,44
Viljandi	0,0344	2,4	5,64
Vilsandi	0,0362	2,5	5,68
Virtsu	0,0349	2,4	5,26
Kihnu	0,0362	2,5	5,37
Narva	0,0390	2,7	5,93
Ristna	0,0317	2,2	5,29
Türi	0,0363	2,5	5,68
Võru	0,0380	2,7	5,94

## Uuritavate näitajate keskmised, varieeruvus ja äärmusväärtused

Efektiivsete temperatuuride summa territoriaalne jaotus on sarnane aktiivsete temperatuuride summa omaga. Kõige suuremad aktiivsete temperatuuride summad on Pärnu lahe piirkonnas ja Kagu-Eestis (tabel 3, Lisa1, Lisa2). Pärnus on aktiivsete temperatuuride aastate keskmine summa 2062°C. Virtsus on see näitaja 2032°C ja Kihnus 2090°C (tabel 3). Võrus on aktiivsete temperatuuride summa 2034°C. Kõige väiksem aktiivsete temperatuuride summa on Kirde-Eestis. Väike-Maarjas on vastav näitaja 1784°C ja Jõhvis 1804°C. Narva aktiivsete temperatuuride summa on viimase kahe jaamaga võrreldes kõrgem. Samas suurusjärgus aktiivsete temperatuuride summa on Tallinnas.

Samasse aktiivsete temperatuuride summa vahemikku jäävad ka Kunda ja Jõhvi. Kunda paikneb Soome lahe ääres ja Jõhvi selle vahetus läheduses. Kunda aktiivsete temperatuuride summa on 1821°C ja Jõhvi oma 1804°C. Kindlasti tuleb arvestada seda, et Virumaal ulatub mere mõju palju vähem sisemaale kui Lääne-Eestis. Seda põhjustab kõrge pankrannik, mis eraldab mereäärse panga pealsest alast.

Kindel aktiivsete temperatuuride summa muster joonistubki välja paiknemisel mere ääres ligilähedaselt samal laiuskraadil. Temperatuurid jaotavad selgelt ka lõuna-põhja suunaliselt. Nii on näiteks Tallinnaga võrreldes sarnane aktiivsete temperatuuride summa Pakris. Samas tuleb arvestada, kuidas on antud ala meretuultele avatud. Kui liikuda põhjarannikult lõuna suunas, siis saame omavahel võrrelda Nigula ja Kuusiku ilmajaamu. Nigula paikneb merele võrdlemisi lähedal, Kuusiku on sisemaal. Nii on Nigula aktiivsete temperatuuride summa ka kõrgem. Türi paikneb Kuusikust lõuna suunas. Türi ilmajaama aktiivsete temperatuuride summa on ka Kuusiku ilmajaama omast kõrgem.

Eelnevast kõrgemaks jääb aktiivsete temperatuuride summa Lääne-Eesti saartel (tabel 3). Nii on Saaremaal paikneva Sõrve ilmajaama ja Vilsandi ilmajaam aktiivsed temperatuurid vastavalt 1953°C ja 1966°C. Nähtub, et aktiivsete temperatuuride summa on Saaremaal võrreldes Põhja-Eestiga 100°C võrra kõrgem.

Omavahel grupeeruvad ka Tartu, Viljandi, Võru ja Valga ilmajaam. Tartu, Viljandi ja Valga ilmajaama puhul jääb aktiivsete temperatuuride summa pisut alla 2000°C. Võru ilmajaama aktiivsete temperatuuride summa on üle 2000°C.

Kõige suurem aktiivsete temperatuuride summa standardhälve on Vilsandi, Narva, Kunda ja Türi ilmajaama puhul (tabel 3). Kõige väiksem on aktiivsete temperatuuride summa standardhälve Pärnus, Valgas, Tallinnas ja Pakris (tabel 3).

Efektiivsete temperatuuride summa territoriaalne jaotus on sarnane aktiivsete temperatuuride summa omaga (tabel 3, Lisa3, Lisa4). Kõige suuremad efektiivsete temperatuuride väärtused on Pärnu lahe piirkonnas ja Kagu-Eestis (tabel 3). Võrus on vastav näitaja 1569°C. Siin vajab mainimist, et madala mere tõttu soojeneb suve jooksul merevesi olulisel määral ja soojendab omakorda ka rannikut. Eelkõige on seal ööd soojemad kui sisemaal. Kõige väiksem efektiivsete temperatuuride summa on Kirde-Eestis. Väike-Maarjas on efektiivsete temperatuuride summa 1371°C ja Jõhvis 1386°C. Võrdlemisi madal on efektiivsete temperatuuride summa ka Narvas. See näitaja on Narva puhul 1456°C. Oluliseks aspektiks on see, et aastatel 2000–2010 asus Narva ilmajaam Narva-Jõesuus vahetult mere mõju all. Sealt siis ka kõrgemad temperatuurid, kui neid oleks mõõdetud Narvas.

Võrdlemisi madalad efektiivsete temperatuuride summad on Eesti põhjarannikul (tabel 3). Efektiivsete temperatuuride summa on Pakri poolsaarel 1426°C ja Kundas 1403°C. Samamoodi jääb madalaks efektiivsete temperatuuride summa ka Tallinnas, kus see on 1433°C. Põhjaranniku ilmajaamade efektiivsete temperatuuride summad jäävad kõik enam-vähem samasse suurusjärku.

Kui liikuda põhjarannikult lõuna suunas, siis saame omavahel võrrelda Nigula ja Kuusiku ilmajaama. Sama seos, mis esineb aktiivsete temperatuuride summa puhul, esineb ka efektiivsete temperatuuride summa puhul. Nimelt on Kuusiku efektiivsete temperatuuride summa oluliselt Nigula omast oluliselt madalam. Efektiivsete temperatuuride summa on Kuusikul 1403°C ja Nigulas 1462°C.

Kõrgem efektiivsete temperatuuride summa on Saaremaal (tabel 3). Sõrve ilmajaama vastav näitaja on 1501°C ja vahetus Saaremaa läheduses paiknevas Vilsandi ilmajaamas on see näitaja 1528°C. Hiiumaal Ristnas paikneva ilmajaama efektiivsete temperatuuride summa jääb umbes samasse suurusjärku kui Nigula vastav summa ja on võrreldav ka Narvaga. Sarnane on efektiivsete temperatuuride summa ka Türil. Siin joonistub sarnane efektiivsete temperatuuride summa välja lõuna-põhja suunaliselt.

Nii aktiivsete kui ka efektiivsete temperatuuride summad käituvad sarnaselt ehk soojad ja külmad kohad on samades asupaikades. Efektiivsete temperatuuride summa puhul grupeeruvad Tartu ja Viljandi ning Valga ja Võru. Viljandi ja Tartu ilmajaamal on väga sarnane efektiivsete temperatuuride summa – vastavalt 1496°C ja 1505°C. Valga efektiivsete temperatuuride summa on 1528°C ja Võru ilmajaama vastav näitaja on 1569°C. Siin nähtub selgelt, et kõige kõrgemad efektiivsete temperatuuride väärtused ongi Kagu-Eestis ja Pärnu lahe piirkonnas.

Kõige suurem efektiivsete temperatuuride summa standardhälve on Vilsandi, Sõrve, Ristna ja Kihnu rannikujaamade puhul (vt tabel 3), kus aastate vaheline varieeruvus on suurem kui sisemaal. Kõige väiksem on efektiivsete temperatuuride summa standardhälve Kuusikul, Pärnus, Valgas ja Türil (tabel 3). Jõgeva väiksem efektiivsete temperatuuride standardhälve on põhjustatud sellest, et aegrida on väiksem. Vastava ilmajaama puhul on efektiivsete temperatuuride summa järgi olnud kõige soojema suvega aasta 2018 ja kõige külmem aasta 1993.

Tabel 3. Aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa keskmised, maksimaalsed ja minimaalsed väärtused koos temperatuuride summa keskmise standardhällbega.

Ilmajaa m	Aktiivsete > 10°C temperatuuride summa				Efektiivsete >5°C temperatuuride summa			
	Keskmin e	St.dev	Max	Min	Keskmin e	St.de v	Max	Min
Pakri	1859	231	2469	1350	1426	161	1818	1078
Kuusiku	1813	245	2352	1223	1403	151	1853	1124
Kunda	1821	252	2495	1315	1400	164	1850	1088
Tartu	1956	248	2462	1390	1505	168	1972	1174
Viljandi	1942	238	2425	1368	1496	159	1938	1203
Vilsandi	1966	260	2643	1285	1528	181	1967	1133
Pärnu	2062	221	2485	1543	1575	154	1928	1282
Valga	1989	230	2466	1408	1528	155	1941	1202
Virtsu	2032	235	2675	1489	1564	168	2040	1210
Sõrve	1953	248	2624	1412	1501	179	1988	1145
Tallinn	1864	232	2389	1384	1433	155	1914	1123
Väike- Maarja	1784	246	2315	1177	1371	160	1801	1050
Nigula	1894	235	2401	1361	1462	158	1929	1135
Jõhvi	1804	247	2300	1139	1386	158	1782	1077
Jõgeva	1998	189	2394	1666	1515	146	1869	1229
Ristna	1884	246	2536	1256	1462	173	1912	1087

Kihnu	2090	244	2754	1516	1604	173	2066	1262
Narva	1881	255	2409	1259	1456	170	1841	1106
Türi	1873	252	2404	1185	1441	157	1899	1149
Võru	2034	248	2507	1529	1569	171	2014	1220

Kõige lühem vegetatsiooniperiood (kasvuperiood) joonistub väga sarnaselt välja efektiivsete temperatuuride summa jaotusega. Nii on kõige lühem vegetatsiooniperiood Kirde-Eestis. Väike-Maarjas on vegetatsiooniperioodi pikkuseks 178 päeva, Jõhvis 181 päeva ja Narvas 182 päeva. Eesti linnade võrdluses on lühike vegetatsiooniperiood ka Kuusikul ja Kundas.

Kõige pikem vegetatsiooniperiood on Lääne-Eesti saartel (tabel 4). Vegetatsiooniperioodid jäävad aegreas 1951–2020 vahemikku 194–201 päeva. Vilsandil on vegetatsiooniperiood kõige pikem, sellele järgneb Ristna ja Sõrve. Samuti on pikk vegetatsiooniperiood ka Kihnul (tabel 4).

Suurema praktilise tähtsusega on vegetatsiooniperioodid Eesti sisemaal. Vegetatsiooniperioodi keskmised aegreas 1951–2020 on vahemikus 186–190 päeva. (tabel 4). Kindlalt joonistub siin välja, et Võrus koguneb Mandri-Eesti linnadest kõige rohkem soojust. Oluline on tähele panna ka, et Tartu ja Viljandi vegetatsiooniperioodid on sisuliselt võrdsed. Üllataval kombel on Pärnu vegetatsiooniperiood 190 päeva, kuigi seal koguneb aasta jooksul Eesti mandriosas efektiivseid temperatuure kõige rohkem. Siinkohal tuleb väga selgelt välja, miks on vaja teada efektiivsete temperatuuride summat. Vegetatsiooniperiood ainuüksi ei anna väga head ettekujutust sellest, kus on kõige soodsamad taimekasvu tingimused.

Kui vaadelda maksimaalseid vegetatsiooniperioode aegreas 1951–2020, siis joonistub selgelt välja, et kõige pikemad on vegetatsiooniperioodid Lääne-Eesti saartel, kuigi näiteks Ristna ilmajaamas ei kogune siiski efektiivseid temperatuure nii palju kui näiteks Vilsandil, Sõrves ja Eesti mandriosas paiknevas Virtsus (tabel 4). Selgelt tuleb välja üksnes Kirde-Eesti lühem vegetatsiooniperiood, kusjuures Väike-Maarjas on olnud kõige pikemaks vegetatsiooniperioodiks 213 päeva (1984. aastal) nii nagu ka Jõhvis (1984. aastal). Analüüsist selgus, et maksimaalne vegetatsiooniperiood on Pärnus ja Võrus kaks kuni kolm nädalat pikem. Pärnu maksimaalne vegetatsiooniperiood on 235 päeva (2020) ja Võrus 227 päeva (2005). Nagu selgus käesoleva uurimistöö alguses toodud teoreetilise kirjanduse ülevaatest, ei saa me üldjoontes päevi loendades anda nii head hinnangut, kui efektiivsete temperatuuride summade arvutuse puhul.

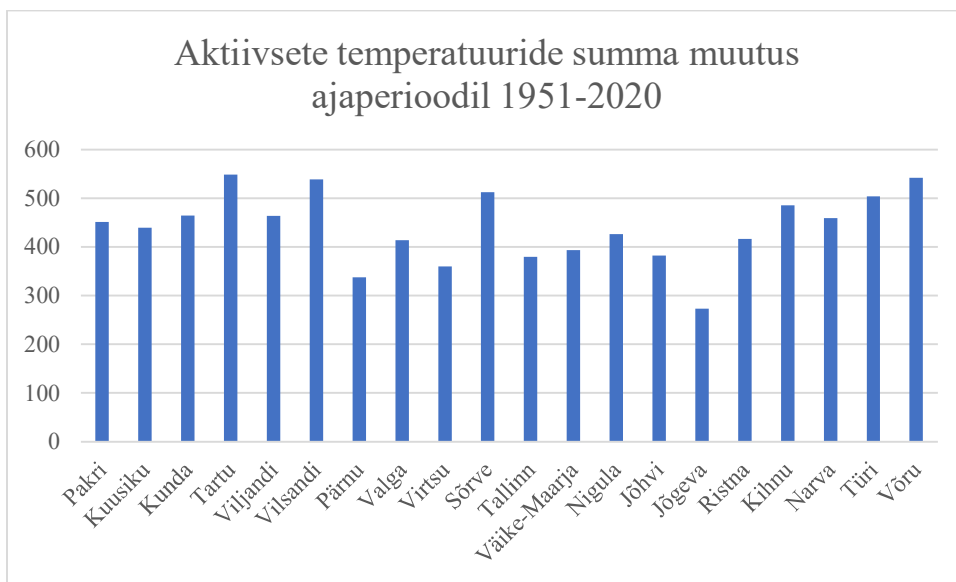
Tabel 4. Kasvuperioodide keskmised, maksimaalsed ja minimaalsed pikkused koos standardhälbe. NB! Selle näitaja standardhälve on rannikul suurem kui sisemaal ning seega varieerub see seal palju enam.

Ilmajaam	Keskmine kasvuperiood (1951–2020)	Maksimaalne kasvuperiood (1951–2020)	Minimaalne kasvuperiood (1951–2020)	Standardhälve (1951–2020)
Pakri	189	224	161	16
Kuusiku	184	218	145	16
Kunda	186	217	161	15
Tartu	189	227	145	16
Viljandi	188	219	162	15
Vilsandi	201	263	163	20
Pärnu	190	235	162	16
Valga	189	221	146	15
Virtsu	185	248	162	20
Sõrve	194	252	160	19
Tallinn	189	231	160	17
Väike-Maarja	178	213	131	15
Nigula	190	231	162	17
Jõhvi	181	213	133	15
Jõgeva	187	214	166	14
Ristna	196	251	162	20
Kihnu	198	251	157	19
Narva	182	216	145	15
Türi	186	219	145	15
Võru	190	227	145	17

## Trendianalüüsi tulemused

Enamjaolt on lineaarse regressiooni trendianalüüsi puhul p-väärtused mitu suurusjärku allpool väärtusest 0,05. Kuna trendianalüüs eeldab, et kõikide jaamade jaoks on uurimisperiod sama ehk 1951.–2020. aasta, siis on ilmajaamad, mille andmed on oluliselt lühemas aegreas, välja jäetud. Sen'i hinnanguga saadud tõusude väärtused on kõigi ilmajaamade puhul samas suurusjärgus nendega, mis on leitud lineaarse regressiooni hinnangul. Nii andis analüüs sisuliselt sama tulemuse kahte erinevat tõusu leidmise meetodit kasutades.

Aktiivsete temperatuuride summa on kasvanud keskmiselt 5–8 kraadi võrra aasta kohta ehk 400–550 kraadi kogu perioodi kohta (tabel 5, joonis 2). Ajaperioodil 1951–2020 on kõige suurem aktiivsete temperatuuride summa muutus lineaarse regressiooni meetodil olnud Tartus, mille järgnevad Võru, Vilsandi ja Türi. Tartus on aktiivsete temperatuuride summa muutus olnud ajaperioodil 1951–2020 kokku 555°C, Võrus 539°, Vilsandil 528°C ja Türil 506°C. Tuleb arvesse võtta, et selline temperatuurisummade muutus põhjustab olulisi muutusi taimekasvu juures. Suurem soojenemine on toimunud Kagu-Eestis ja Lääne-Eesti saartel. Üheks erandiks on Nigula ilmajaam oma suure temperatuuride tõusu poolest. Samas on Nigula ilmajaama aegrida lühem, mistõttu tema trendid ei ole võrreldavad teiste ilmajaamadega. Järgnevalt on aktiivsete temperatuuride summa muutus esitatud tulpdiagrammina.



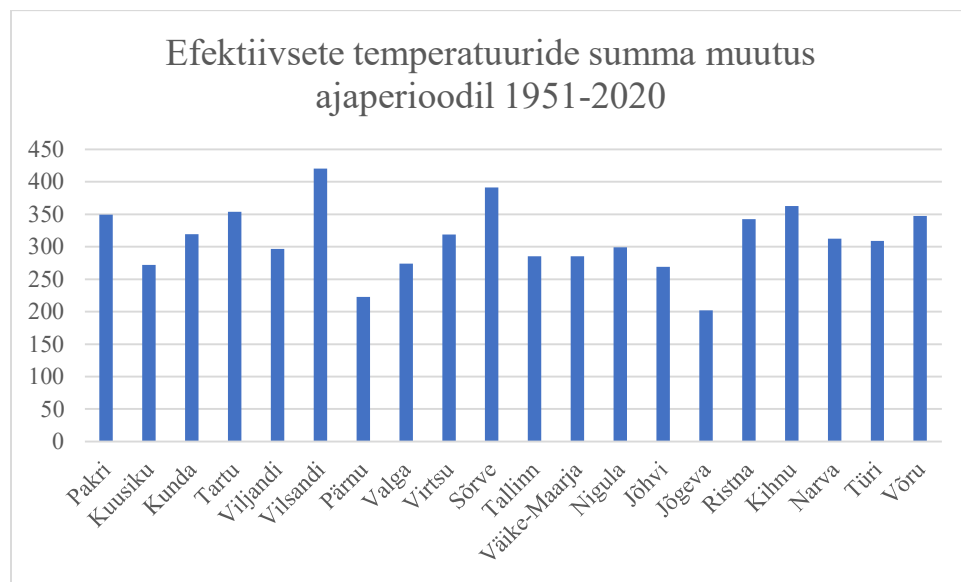
Joonis 2. Aktiivsete temperatuuride summa muutus ajaperioodil 1951–2020

Kõige väiksem aktiivsete temperatuuride summa muutus on Pärnu ilmajaama puhul (tabel 5). Selle põhjuseks on Pärnu ilmajaama asupaiga muutus läbi aja (vt ka „Materjal ja meetodika“). Jõgeva ilmajaama andmed ei ole teiste ilmajaamadega võrreldavad, sest analüüsiks olid kasutada ainult 29 aasta andmed perioodil 1992–2020. Väike temperatuuri summa muutus on Tallinna, Virtsu ja Ristna ilmajaama puhul. Tallinna väike temperatuuride summa muutus on põhjustatud mere tasandavast mõjust ja Tallinna asendist Tallinna lahe suhtes. Tallinna puhul muutub temperatuur analoogiliselt Pärnuga. Kuna Virtsu paikneb Suure väina ääres, siis see asjaolu tingib Virtsu temperatuuri tasandumise.

Sarnaselt lineaarse regressiooni meetodil leituga näitab Mann-Kendalli test, et ajaperioodil 1951–2020 toimus kõige suurem aktiivsete temperatuuride summa muutus Tartus, mille järgnevad Võru, Vilsandi ja Sõrve (tabel 5). Tartus on aktiivsete temperatuuride summa muutus olnud ajaperioodil 1951–2020 kokku 549°C, Võrus 542°C ja Vilsandil 539°C (Sõrves on 68 aasta jooksul muutunud aktiivsete temperatuuride summa 512°C). Suurem soojenemine on toimunud Kagu-Eestis ja Lääne-Eesti saartel.

Kõige väiksem aktiivsete temperatuuride summa muutus Mann-Kendalli testiga on Pärnu ilmajaama puhul (tabel 5). Väike temperatuuride summa muutus leidis aset ka Virtsu, Tallinna, Valga ja Ristna ilmajaamades. Ajaperioodil 1951–2020 tõusis Virtsu ilmajaama aktiivsete temperatuuride summa 360°C võrra. Sama Tallinna ilmajaama näitaja tõusis samal perioodil 380°C, Valga ilmajaama oma 414°C ja Ristna ilmajaama oma 416°C (tabel 5).

Lineaarse regressiooni meetodil saadud suurim efektiivsete temperatuuride summa muutus on olnud Vilsandil, millele järgnevad Sõrve, Võru ja Kihnu (tabel 5, joonis 3). Efektiivsete temperatuuride summa muutused on kõige suuremad Saaremaal ja Lääne-Eesti väikesaartel nagu Vilsandi ja Kihnu. Järgevalt on efektiivsete temperatuuride summa muutus esitatud tulpdiagrammina.



Joonis 3. Efektiivsete temperatuuride muutus ajaperioodil 1951–2020

Kõige väiksem efektiivsete temperatuuride summa muutus on olnud Pärnus, Valgas, Kuusikul, Tallinnas, Narvas ja Jõhvis (tabel 5). Efektiivsete temperatuuride summa on ajaperioodil 1951–2020 suurenenud Pärnus 227°C, Valgas 272°C, Kuusikul 276°C, Tallinnas 296°C ja Narvas 300°C (Pärnu ilmajaama puhul oli analüüsiks olemas 67 aasta andmed). Efektiivsete temperatuuride summa muutus on väiksem Kirde-Eestis ja Pärnu lahe ümbruses. Kindlalt lõuna-põhja suunalist mustrit välja ei joonistu. Kõige rohkem jääb mõjutama temperatuuri piirkondlik üldine soojuse nappus.

Mann-Kendalli testiga tehtud analüüsi põhjal toimus perioodil 1951–2020 kõige suurem efektiivsete temperatuuride summa muutus Vilsandil (tabel 5). Sellele järgnevad Sõrve, Kihnu ja Tartu ilmajaam. Efektiivsete temperatuuride summade muutuse puhul ei joonistu välja kindalt piirkondlikku loogikat. Ajaperioodil 1951–2020 suurenes efektiivsete temperatuuride summa Vilsandil 420°C, Sõrves 391°C, Kihnus 362°C ja Tartus 354°C. (Sõrve ilmajaama puhul on 68 aasta andmed.)

Kõige väiksem efektiivsete temperatuuride summa muutus on olnud Pärnus, Kuusikul, Valgas ja Tallinnas (tabel 5). Ajaperioodil 1951–2020 oli temperatuurisumma muutus Pärnus (Pärnu ilmajaama puhul on 67 aasta andmed) 223°, Kuusikul 272°C, Valgas 274°C ja Tallinnas 286°C.

Tabel 5. Aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa muutus lineaarse regressiooni ja Theil-Sen'i meetodil. Kõik trendid on statistiliselt olulised  $p < 0,01$  tasemel.

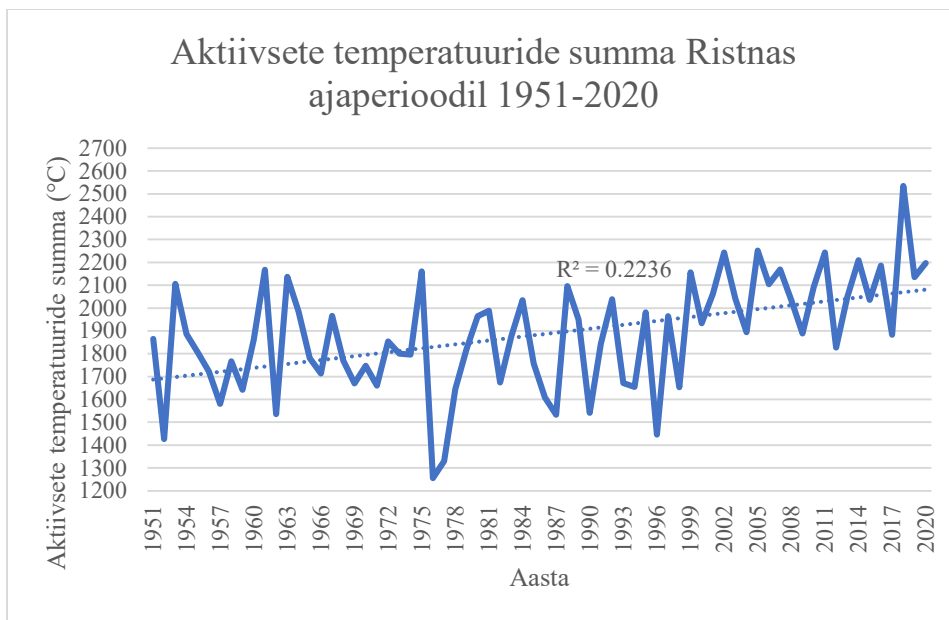
Ilmajaam	n	Aktiivsete temperatuuride summa muutus lineaarse regressiooni meetodil	Aktiivsete temperatuuride summa muutus Theil-Sen'i meetodil	Efektiivsete temperatuuride summa muutus lineaarse regressiooni meetodil	Efektiivsete temperatuuride summa muutus Theil-Sen'i meetodil
Pakri	70	467	451	345	349
Kuusiku	70	451	439	276	272
Kunda	70	458	464	319	319
Tartu	70	555	549	348	354
Viljandi	70	479	464	304	297
Vilsandi	70	528	539	423	420
Valga	70	423	414	272	274
Tallinn	70	389	380	296	286
Ristna	70	400	416	342	342
Kihnu	70	480	485	371	362

Narva	70	457	459	300	312
Türi	70	506	504	318	309
Võru	70	539	542	350	347
Sõrve	68	497	512	407	391
Pärnu	67	319	337	227	223
Virtsu	67	380	360	314	319
Jõhvi	61	394	382	262	269
Väike- Maarja	58	408	393	282	285
Nigula	57	443	426	318	299
Jõgeva	29	278	273	185	202

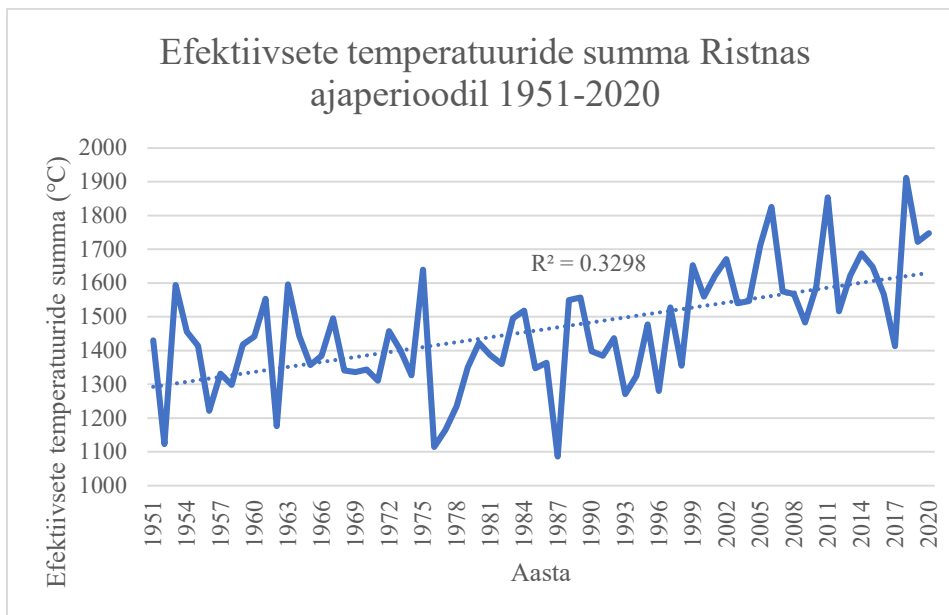
Ristna ilmajaama puhul on väga selgelt näha keskmist efektiivsete ja aktiivsete temperatuuride tõusu (vt jooniseid 4, 5, 6 ja 7). Oluline on Ristna ilmajaam selle poolest, et seal võib tulevikus ennustada vegetatsiooniperioodi, mis kestab sisuliselt terve aasta. Theil-Sen'i tõusu hinnangul on keskmised aktiivsed temperatuurid ühe aasta lõikes ajaperioodil 1951–2020 tõusnud Ristnas 5,9°C ja keskmised efektiivsed temperatuurid 4,9°C. Üheaastase tõusuna ei tundu muutus olema väga märgatav, arvestades mõlema summa arvvaartust, kuid ajaperioodi 1951–2020 jooksul koguneb Ristnas aktiivseid temperatuure juurde 416°C ja efektiivseid temperatuure 342°C. See muutus on juba väga tähelepanuväärne.

Lineaarse regressiooni meetodil aegrea 1951–2020 ühe aasta kohta leitud aktiivsete temperatuuride summa tõus Ristna ilmajaamas 5,7°C ja efektiivsete temperatuuride summa tõus 4,9°C (vt jooniseid 4, 5, 6 ja 7). Siit nähtub, et efektiivsete temperatuuride tõusud on mõlema meetodi puhul arvuliselt sisuliselt samad. Aktiivsete temperatuuride tõus erineb nende kahe meetodi puhul 0,2°C. Sarnane pilt joonistub välja ka kõigi teiste ilmajaamade puhul. Ajaperioodi 1951–2020 jooksul on Ristnas aktiivsete temperatuuride summa suurenenud 400°C ja efektiivseid temperatuuride summa 342°C.

Joonisel 4 ja joonisel 5 on toodud Ristna ilmajaama aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride joondiagrammid koos lineaarse regressiooni trendijoonega. Joonisel 4 on joondiagrammil kujutatud sõltuva muutuja aktiivsete temperatuuride summa sõltuvust sõltumatust muutujast aastast. Joonisel 5 on joondiagrammil kujutatud sõltuva muutuja efektiivsete temperatuuride summa sõltuvust sõltumatust muutujast aastast.

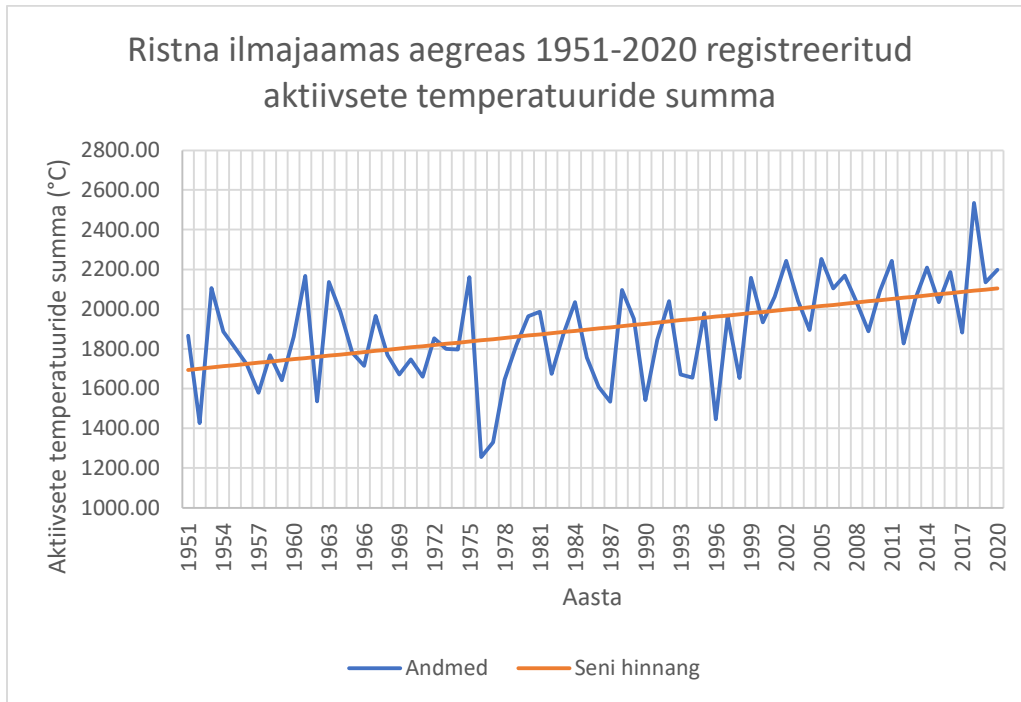


Joonis 4. Ristna ilmajaama aktiivsete temperatuuride summa aegreas 1951–2020

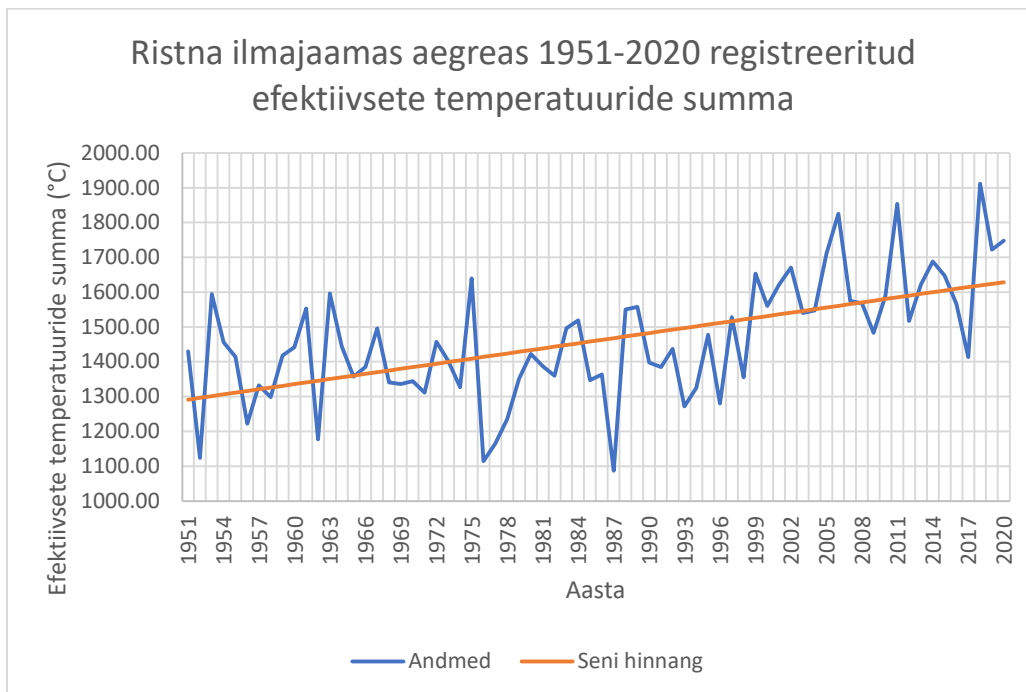


Joonis 5. Ristna ilmajaama efektiivsete temperatuuride summa aegreas 1951–2020

Järgmisel kahel joonisel on esitatud Ristna ilmajaama aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride joondiagrammid Theil-Seni hinnanguga.



Joonis 6. Ristna ilmajaama aktiivsete temperatuuride summa aegreas 1951–2020



Joonis 7. Ristna ilmajaama efektiivsete temperatuuride summa aegreas 1951–2020

## Jaamade rühmitamine ANOVA meetodil

Käesoleva uurimistöö autor teostas ka MS EXCEL-is erinevate ilmajaamade ühefaktorise ANOVA (*Anova: Single Factor*). Uuriti temperatuuri muutuste kui sõltuva muutuja sõltuvust sõltuvast muutajast aastast. Analüüsi eesmärgiks oli ilmajaamu omavahel rühmitada selle alusel, milline on nende keskmiste temperatuuride erinevus ja kas need erinevad statistiliselt olulisel määral või kehtib nullhüpotees, mille kohaselt kõigi ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summa keskmised ei ole üksteisest statistiliselt erinevad. Ilmajaamade paari kaupa võrdlustes tuli välja, et nende ilmajaamade keskmised temperatuurid, mis paiknevad lähestikku, on sarnased ehk nende temperatuuride vahel ei ole statistiliselt olulist erinevust. Ühefaktorilise ANOVA-ga leitud p-väärtus osutus kõigi lähedal paiknevate ilmajaamade puhul suuremaks kui 0,05. Kui aga ilmajaamade omavaheline põhja-lõuna suunaline vahemaa suurenes, osutus ilmajaamade vaheline temperatuuri erinevus statistiliselt oluliseks ehk ilmajaamade keskmiste temperatuuride erinevused osutusid piisavaks suureks, et neid pidada statistiliselt oluliseks.

Esmalt analüüsis käesoleva bakalaureusetöö autor põhja-lõuna suunalisi aktiivsete temperatuuride summade keskmiste erinevusi ja nende statistilist olulisust. Omavahel erinevad statistiliselt olulisel määral Valga ja Narva ilmajaama aktiivsete temperatuuride summade keskmised (tabel 6). Samuti on statistiliselt olulisel määral erinevad Sõrve ja Tallinna ilmajaam. Täiendavalt on üheks ilmajaamade paariks, mis erinevad statistiliselt olulisel määral, Viljandi ja Kuusiku ning Viljandi ja Jõhvi ilmajaam. Väga lähedale statistilise olulisuse piirile jäävad omavahelises võrdluses Tartu ja Türi ilmajaam (p-väärtus 0,0538) ning Tallinna ja Viljandi ilmajaam (p-väärtus 0,0507).

Aktiivsete temperatuuride summa puhul on Tallinna ja Tartu ühefaktorilise ANOVA p-väärtuseks 0,025 ehk see on allpool statistilise olulisuse piiri ja seetõttu on võimalik ümber lükata nullhüpotees, mille kohaselt on ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summa keskmised väärtused omavahel sarnased. Samas ei ole Tartu ja Narva aktiivsete temperatuuride summa keskmiste erinevus statistiliselt oluline, kuigi Narva asub umbes samal laiuskraadil kui Tallinn (tabel 6). Samuti ei ole statistiliselt oluline temperatuuride summade keskmiste võrdluses erinevus näiteks Tartu ja Vilsandi vahel, sest Tartu ja Vilsandi asuvad enam-vähem samal laiuskraadil. Omavahel on sarnased ka Võru ja Vilsandi ilmajaama aktiivsete temperatuuride summade keskmised, Tallinna ja Sõrve ilmajaama keskmised ning Vilsandi ja Nigula ilmajaama keskmised.

Kui aga võrrelda omavahel põhja-lõuna suunaliselt ligikaudu 100 km kaugusel paiknevaid ilmajaamu, siis võib ka seal esineda statistiliselt olulisi tulemusi. Näiteks Viljandi ja Kuusiku, Tartu ja Türi, Viljandi ja Jõhvi, Kuusiku ja Tartu ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmised erinevad omavahel statistiliselt olulisel määral (tabel 6). Tallinn ja Viljandi võrdluses saame p-väärtuseks 0,0507, mis on õige pisut väärtusest 0,05 suurem. Üllataval kombel saame Kuusiku ja Türi ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmiste analüüsimisel ühefaktorilise ANOVA-ga p-väärtuse 0,1520. Võiks ju eeldada, et lähestikku paiknevate ilmajaamade temperatuuride summade keskmised on omavahel täiesti samas suurusjärgus, kuid ühefaktoriline ANOVA annab vastuseks p-väärtuse, mis jääb statistilise olulisuse piirile võrdlemisi lähedale. Võib teha järelduse, et Eesti põhja-lõuna suunalistes äärmuspunkti paiknevate ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summa keskmised erinevad omavahel statistiliselt olulisel määral, samas kui lääne-ida suunaline muutus ei ole täheldatav. Viimane tõsiasi on mõistetav, sest Eesti pinnareljeef on kõikjal Eestis sisuliselt sama kõrgusega, kuigi Haanja kõrgustiku puhul tuleb reljeefi mõjuga juba arvestada. Külmal poolaastal on suurimad erinevused Eestis just ida-läänesuunaliselt ehk sõltuvad kaugusest merest. Suvel on põhja-lõuna suunas erinevused suuremad. Andmetöötluse tulemustest tuleb välja, et mere ääres umbes samal laiuskraadil paiknevate ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmised on omavahel rohkem sarnased kui sisemaal ja mere ääres paiknevate ilmajaamade keskmised (võttes võrdluseks mere ja sisemaal paiknevad ilmajaamad). Ilmajaamade p-väärtused võetakse kokku tabelis 6.

Tabel 6. Aktiivsete temperatuuride summa F-jaotuse F-väärtused, kriitilised F-väärtused ja p-väärtus

Võrreldavad ilmajaamad	F	F crit	p-väärtus
Tallinn-Tartu	5,14	3,91	0,0250
Tartu-Narva	3,05	3,91	0,0831
Tartu-Vilsandi	0,06	3,91	0,8063
Võru-Vilsandi	2,45	3,91	0,1195
Valga-Narva	6,89	3,91	0,0097
Sõrve-Tallinn	4,73	3,91	0,0313
Viljandi-Kuusiku	10,01	3,91	0,0019

Türi-Tartu	3,78	3,91	0,0538
Viljandi-Nigula	1,29	3,91	0,2573
Viljandi-Jõhvi	19,54	3,91	0,0014
Tallinn-Viljandi	3,89	3,91	0,0507
Tartu-Kuusiku	11,75	3,91	0,0008

Kolme ja enama ilmajaama aktiivsete temperatuuride summade keskmiste erinevusi võrreldes, siis tuleb esile, et ilmajaamad peavad olema välja valitud selliselt, et nende temperatuuride summade keskmised ei erineks statistiliselt (tabel 7, lisa 5). Näiteks ilmneb Väike-Maarja, Jõhvi ja Narva võrdluses, et aktiivsete temperatuuride summade keskmised ei erine statistiliselt olulisel määral. Seega võime väita, et Väike-Maarja, Jõhvi ja Narva temperatuuride keskmised jäävad sarnasesse vahemikku. Nähtub ka, et Põhja-Eestis lähestikku paiknevate ilmajaamade ühefaktorilise ANOVA p-väärtus on suurem statistilise olulisuse piirist ehk aktiivsete temperatuuride summa on neil ilmajaamadel samas suurusjärgus. Sarnasel viisil jõudis käesoleva bakalaureusetöö autor tulemusele, et Valga, Võru, Tartu ja Viljandi aktiivsete temperatuuride summade keskmised ei erine üksteistest statistiliselt olulisel määral. Seega võib väita, et Lõuna-Eestis paiknevate ilmajaamade ühefaktorilise ANOVA p-väärtus ei ole statistiliselt olulisest piirist väiksem ehk aktiivsete temperatuuride summad jäävad samasse suurusjärku. Samamoodi saame omavahel ühte alarühma grupeerida järgmised ilmajaamad: Pärnu, Virtsu ja Kihnu; Vilsandi, Sõrve ja Ristna. Kui samamoodi grupeerida Pakri, Tallinna, Kunda, Jõhvi ja Narva ilmajaamade andmed, siis saame tulemuse, mis võimaldab väita, et Põhja-Eestis paiknevate ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summade keskmised ei erine üksteisest statistiliselt olulisel määral (Lisa 5).

Tabel 7. Aktiivsete temperatuuride summa F-jaotuse F-väärtused, kriitilised F-väärtused ja p-väärtus

Võrreldavad ilmajaamad	F	F crit	p-väärtus
Tallinn, Pakri, Kunda, Jõhvi ja Narva	1,15	2,40	0,3342
Pakri, Tallinn, Nigula	0,41	3,04	0,6658
Pakri, Tallinn, Kunda	0,69	3,04	0,5044
Väike-Maarja, Jõhvi, Narva	2,78	3,04	0,0649
Väike-Maarja, Jõhvi, Narva, Kunda	1,85	2,64	0,1381
Tartu, Viljandi, Võru, Valga	2,00	2,64	0,1145
Kuusiku, Türi, Nigula	1,94	3,04	0,1464
Kuusiku, Türi, Jõgeva	6,15	3,05	0,0027
Kuusiku, Türi, Väike-Maarja	2,21	3,04	0,1119
Viljandi, Türi, Tartu, Jõgeva	2,39	2,64	0,0695
Vilsandi, Sõrve, Ristna	2,13	3,04	0,1213
Pärnu, Virtsu, Kihnu	1,06	3,04	0,3496

Käesoleva bakalaureusetöö autor analüüsis ühefaktorilise ANOVA-ga ka efektiivsete temperatuuride summade keskmisi. Kui aktiivsete temperatuuride puhul ei erinenud keskmised Väike-Maarja, Jõhvi ja Narva puhul statistiliselt olulisel määral, siis efektiivsete temperatuuride summade keskmised erinesid statistiliselt olulisel määral (tabel 8). Tulemus on võrdlemisi lähedane statistilise olulisuse piirile 0,05. Kuid siiski ei saa väita, et efektiivsete temperatuuride summade keskmised oleksid omavahel täiesti samas suurusjärgus. Kui võrrelda omavahel Lõuna-Eestis paiknevate linnade Tartu, Viljandi, Valga ja Võru ilmajaamade efektiivsete temperatuuride

summade keskmiste ühefaktorilise ANOVA p-väärtust, siis tuleb välja, et efektiivsete temperatuuride puhul jääb väärtus napilt statistilise olulisuse piiridesse. Samas kui võrrelda omavahel Valgat, Võrut ja Tartut, siis on tulemus statistiliselt mitteoluline. Sarnaselt aktiivsete temperatuuride summade võrdlusega, tuleb efektiivsete temperatuuride summade võrdlusest välja, et Kuusiku ja Türi ilmajaamade efektiivsete temperatuuride summade keskmised on omavahel küllaltki erinevad.

Omavahel on sarnased Virtsu, Pärnu ja Kihnu efektiivsete temperatuuride summade keskmised (tabel 8). Seega on Pärnu lahe piirkonna ilmajaamade andmed omavahel sarnased, nii nagu ka Vilsandi, Sõrve ja Ristna keskmised. Kindlasti on siin oluline tähele panna, et p-väärtus 0,0871 Vilsandi, Sõrve ja Ristna puhul jääb väga lähedale statistilise olulisuse piirile. Omavahel on sarnase efektiivsete temperatuuride summade keskmisega ka Tallinna, Pakri, Kunda, Jõhvi ja Narva ilmajaam.

Siit võib teha järelduse, et põhja-lõuna suunaliselt samal laiuskraadil paiknevad ilmajaamad omavad sarnaseid efektiivsete temperatuuride summade keskmisi väärtusi. Teiseks oluliseks temperatuuri tasandavaks teguriks on paiknemine mere ääres. Nii on p-väärtuste kohaselt statistiliselt mitteolulised järgmiste ilmajaamade andmed: Tallinn, Pakri, Kunda, Jõhvi ja Narva; Pärnu, Virtsu ja Vilsandi; Tartu ja Narva (tabel 9). Ühefaktorilisest ANOVA-st selgub ka, et Viljandi ja Jõhvi keskmised on väga erinevad. Omavahel erinevad statistiliselt olulisel määral ka Tallinna ja Viljandi, Tartu ja Kuusiku ilmajaama andmed. Eelnevast nähtub, et efektiivsete temperatuuride summade keskmiste võrdlemisel piisab statistiliselt oluliseks tulemuse saamiseks suurest põhja-lõuna suunalisest vahemaast. Vaadeldes ilmajaamade andmeid ida-lääne suunaliselt, siis Võru ja Vilsandi, Tartu ja Vilsandi efektiivsete temperatuuride summade keskmised ei erine samuti teineteisest statistiliselt olulisel määral. Mis puutub Valga ja Narva, Sõrve ja Tallinna, Viljandi ja Kuusiku, Tartu ja Türi ilmajaamadesse, siis ühefaktorilise ANOVA käigus selgus, et nende ilmajaamade paaride efektiivsete temperatuuride summade keskmised erinevad üksteisest statistiliselt olulisel määral. See tähendab, et efektiivsete temperatuuride summade keskmised on nende ilmajaamade puhul erinevad.

Seega saab ühefaktorilise ANOVA analüüsi põhjal väita, et ilmajaamade puhul on erinevused peaaesjalikult põhja-lõuna suunalised ning mere ääres ja sisemaal paiknevate ilmajaamade vahel.

Omavahel on sarnased (tabel 9) järgmiste ilmajaamade andmed: Jõhvi, Narva ja Kunda; Tallinn ja Pakri; Pärnu, Virtsu ja Kihnu; Ristna, Sõrve ja Vilsandi.

Sarnasusi võib esineda lähestikku paiknevate ilmajaamade puhul, nii ei erine näiteks Tartu, Võru ja Valga ilmajaam teineteisest olulisel määral efektiivsete temperatuuride summade keskmiste võrdlusel (tabel 9). Statistiliselt sarnased on ka näiteks Põhja-Eestis paiknevad Tallinn, Pakri Kunda, Jõhvi ja Narva ilmajaamad. Kui neile andmetele lisada veel näiteks mere ääres paiknev Virtsu ilmajaam, siis saame tulemuse, mis on juba statistiliselt oluline ehk need viis ilmajaama erinevad efektiivsete temperatuuride summade keskmiste osas. See kinnitab veelkordselt, et põhjalõuna suunalist aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summade keskmiste erinevust.

Eesti mandriosas on omavahel grupeeritavad veel efektiivsete temperatuuride summade keskmiste poolest järgmiste ilmajaamade andmed: Kuusiku ja Türi; Tartu ja Viljandi; Nigula, Kuusiku ja Türi; Viljandi, Türi, Tartu ja Jõgeva. Seega on ilmajaamad, mis paiknevad ligikaudu samal laiuskraadil, temperatuuride summade keskmiste poolest võrreldavad. Kui vahemaa ei ole ilmajaamade vahel suur, näiteks Tallinna ja Kuusiku või Kunda ja Väike-Maarja võrdluse korral, siis ei ole tulemus ka statistiliselt oluline.

Statistiliselt sarnaseks osutusid Põhja-Eestis paiknevad ilmajaamad, Lõuna-Eesti ilmajaamad, Pärnu lahe piirkonna ilmajaamad ja Lääne-Eesti saartel paiknevad ilmajaamad. Omavahel statistiliselt erinevateks (kehtib alternatiivhüpotees) osutusid Tartu ja Tallinna ilmajaam ning ka näiteks Valga ja Tallinna ilmajaam (lisa 5).

Tabel 8. Efektiivsete temperatuuride summa F-jaotuse F-väärtused, kriitilised F-väärtused ja p-väärtus

Võrreldavad ilmajaamad	F	F crit	p-väärtus
Tallinn-Tartu	6,89	3,91	0,0097
Tartu-Narva	3,01	3,91	0,0845
Tartu-Vilsandi	0,63	3,91	0,4305
Võru-Vilsandi	1,86	3,91	0,1750
Valga-Narva	6,83	3,91	0,0099
Sõrve-Tallinn	5,62	3,91	0,0192
Viljandi-Kuusiku	12,70	3,91	0,0005
Türi-Tartu	5,40	3,91	0,0216
Viljandi-Nigula	1,43	3,91	0,2336
Viljandi-Jõhvi	15,52	3,91	0,0001
Tallinn-Viljandi	5,53	3,91	0,0202
Tartu-Kuusiku	14,46	3,91	0,0002

Tabel 9. Efektiivsete temperatuuride summa F-jaotuse F-väärtused, kriitilised F-väärtused ja p-väärtus

Võrreldavad ilmajaamad	F	F crit	p-väärtus
Tallinn, Pakri, Kunda, Jõhvi ja Narva	1,89	2,40	0,1112
Tallinn, Kunda, Jõhvi	1,53	3,04	0,2184
Pakri, Tallinn, Nigula	0,89	3,04	0,4122
Pakri, Tallinn, Kunda	0,82	3,04	0,4421
Väike-Maarja, Jõhvi, Narva, Kunda	3,35	2,64	0,0196

Valga, Võru, Tartu, Viljandi	2,80	2,64	0,0404
Valga, Võru, Tartu	2,71	3,04	0,0687
Kuusiku, Türi, Nigula	2,43	3,04	0,0905
Kuusiku, Türi, Jõgeva	5,63	3,05	0,0043
Kuusiku, Türi, Väike-Maarja	3,28	3,04	0,0398
Viljandi, Türi, Tartu, Jõgeva	2,58	2,64	0,0540
Jõgeva, Tartu, Viljandi	0,16	3,05	0,8486
Pärnu, Virtsu, Kihnu	1,03	3,04	0,3595
Vilsandi, Sõrve, Ristna	2,47	3,04	0,0871
Ristna, Vilsandi, Sõrve	1,07	3,04	0,3451

# Arutelu

Varajane oder ja kaer ning varajane kartul nõuavad aktiivsete temperatuuri summat, mis jääb suurusjärku 1200°C. Sellest lähtuvalt ei ole kliima muutustest meil oluliselt mõjutatud varajase odra, kaera ja kartuli kasvatust, sest nende kultuuride puhul on kõigil aastatel analüüsitava perioodil tagatud vajalik aktiivsete temperatuuride summa, kuna vaadeldava perioodi alguses olid aktiivsed temperatuurid märgatavalt üle 1200°C.

Erandlikult kõrgete aktiivsete temperatuuride poolest paistis silma 2020. aasta, kui aktiivsete temperatuuride summad olid kõigi ilmajaamade puhul üle 2000°C, seejuures oli näiteks Vilsandil aktiivne temperatuur üle 2300°C ja Pärnus oli see lausa 2400°C. Eriliselt kõrge aktiivsete temperatuuride summa oli Pärnus 2011. aastal, kui see ületas samuti 2400°C. Kõrget aktiivsete temperatuuride summat võis samal aastal täheldada ka Valgas. Virtsus on küündinud aktiivsete temperatuuride summa päris mitmel viimasel aastal samuti üle 2400°C, nii nagu ka Sõrves. Tallinnas on olnud sama näitaja samuti tunduvalt kõrgem kui varasematel aastatel (võrdluses aegreaga 1951-2020). Ainsana on vastav näitaja olnud ainult natuke üle 2000°C Väike-Maarjas ja Jõhvis. Väga kõrgele küündisid aktiivsete temperatuuride summad ka väga soojal 2018. aastal Ristnas ja Kihnus, kuid samal ajal olid need madalamad Türil. Selliste aktiivsete temperatuuride summade juures on võimalik kasvatada sisuliselt enamikke teraviljasorte. Pigem mõjuvad halvasti saagile suvised kuumalained.

Varajane nisu ja keskvalmiv oder nõuavad aktiivsete temperatuuride summat, mis jääb üle 1300°C. Kuna Eestis on olnud selline aktiivsete temperatuuride tagatus juba enne käesolevas bakalaureusetöös käsitletud vaatlusperioodi, siis varajase nisu ja keskvalmiva odra kasvatuse võimalikkust ei ole aastatel 1951–2020 toimunud aktiivsete temperatuuride summade muutused oluliselt mõjutanud.

Hiline oder, keskvalmiv nisu ja kaer vajavad aktiivsete temperatuuride summat, mis on kõrgem kui 1400°C. Vaadeldes ajaperioodi 1951–2020 Eestis tervikuna, jääb silma, et 1952., 1962. ja 1977. aastal olid aktiivsete temperatuuride summad lähedased 1400°C-le — seega olid need aastad tavapärasest külmemad. Erandlikuna paistab silma ka 1987. aasta, mil aktiivsete temperatuuride summa oli Tallinnas madalam kui 1400°C ja 1990. aasta, kui aktiivsete temperatuuride summa oli Tallinnas napilt üle 1400°C. Siit nähtub, et üle 1400°C aktiivsete temperatuuridega tagatus ei ole

näiteks Tallinnas olnud alati kindel kõigil aegrea aastatel. Samas on viimastel aastakümnetel olnud aktiivsete temperatuuride summad märgatavalt üle selle piiri ja on vähe tõenäoline, et temperatuuride summade tõus oluliselt väheneks, arvestades globaalset trendi. IPCC kliimaraportite AR5 ja AR6 kohaselt tõusevad keskmised päevased temperatuurid selle sajandi keskpaigaks veelgi. Sellega tuleb kindlasti arvestada taimekasvatuse juures. Probleemseks võivad osutuda suvised kuumalained ja suured temperatuuride kõikumised taimede vegetatsiooniperioodi välisel ajal. Talvel, külmal ajal, võivad taimede juured katkeda, kuna temperatuur kõigub nullkraadi ümbruses, mille tulemusena pinnas soojeneb osaliselt üles ja seejärel jääb taas täielikult. Külmaahjustuste vältimiseks saab kasutusele võtta antud oludesse sobivaid sorte.

Keskvalmiv oder ja kartul vajavad aktiivseid temperatuure, mis jäävad kõrgemale kui 1500°C. Vaadeldava perioodi jooksul ei ole alati olnud sellise temperatuuriga tagatus kindel. Kunda ilmajaama näitel oli 1956. aastal aktiivsete temperatuuride summa 1501°C, 1962. aastal 1315°C, 1977. aastal 1360°C ja 1987. aastal 1323°C. Teistel aegrea aastatel oli aktiivsete temperatuuride summa vajalikule lähedane või tunduvalt kõrgem. Analoogilisi temperatuurimustreid võib täheldada samadel aastatel ka teiste ilmajaamade puhul. Võib järeldada, et keskvalmiva odra ja keskvalmiva kartuli kasvatuseks on aktiivsete temperatuuride summa muutunud soodsamaks. Kui Eestis sai eelmise sajandi keskpaigas 100% tagatusega kasvatada ainult varajast kartulit, siis praegusel ajal saab kasvatada väga hästi ka keskvalmivat kartulit.

Hiline nisu ja päevalill nõuavad aktiivsete temperatuuride summat, mis on suurusjärgus 1600°C. Käesoleva bakalaureusetöö käigus analüüsiti hilise nisu kasvatuse aktiivsete temperatuuride tagatust. Analüüsist selgus, et näiteks Kunda ilmajaamas kogunes vajalikust aktiivsete temperatuuride summa piirist soojust vähem aastatel 1969, 1976, 1977, 1978, 1982, 1987, 1990, 1993, 1996 ja 2008. Hilise nisu ja päevalille kasvatuseks olid sobilikud aastad 1965 ja 1968. Siit saab teha järelduse, et aegreas 1951–2020 esineb rohkelt aastaid, mil aktiivsete temperatuuride summa ei ületanud 1600°C ja ei sobi eelnimetatud kultuuride kasvatamiseks. Aegreas 1951–2020 oli vastava ilmajaama keskmine aktiivsete temperatuuride summa 1821°C ja aktiivsete temperatuuride summa standardhälve 252°C. Teiste ilmajaamade aktiivsete temperatuuride summa on Kundaga analoogne. Samas on viimasel kahel aastakümnel vastav näitaja olnud oluliselt üle 1600°C, mis loob eeldused hilise nisu ja päevalille kasvatamiseks. Seega oli eelmise sajandi keskpaigas ja selle viimasel veerandil nende kultuuride kasvatamine problemaatiline.

Tomat, hiline kartul ja mais (piimküpsus) nõuavad aktiivsete temperatuuride summat, mis oleks suurusjärgus 1800°C. Ainult Väike-Maarjas ja Jõhvis on olnud sellest piirist keskmiselt külmem. Eelmisel aastakümnel oli selliste aktiivsete temperatuuride summadega tagatus Võrus 0,98, Jõgeval 0,94 ja Jõhvis 0,8. Tuginedes vastava ajaperioodi andmetele saab väita, et kõigil aastatel ei ole tomatit võimalik kõikjal Eestis avamaa tingimustes kasvatada. Kuna tomat on eelkõige Eestis viimastel aastatel kasvuhoonetaim, siis on kliima soojenemise otsene mõju tomati kasvatusel võrdlemisi väike. Viimastel aastakümnetel on Eestis võimalik kasvatada ka hilist kartulit, mis on aktiivsete temperatuuride summa suhtes väga tundlik. Samuti võib järjest enam Eestis näha maisipõlde, kuna sellele kultuurile on Eesti kliimatingimused muutunud palju soodsamaks, kui need olid aastakümneid tagasi. 1800°C käib just maisi piimküpsuse faasi saabumise kohta. Tartu puhul oli aastatel 1951, 1952, 1956, 1958, 1959, 1961, 1962, 1964, 1965, 1968, 1969, 1973, 1974, 1976, 1977, 1978, 1980, 1982, 1987, 1990, 1996 aktiivsete temperatuuride summa antud piirist madalam ja see ei võimaldanud maisi täisküpsuse saabumist. Väga selgepiirilisel on aktiivsete temperatuuride summa muutunud viimastel aastakümnetel suuremaks. 1996. aasta oli viimane aasta, kui keskmine aktiivsete temperatuuride summa oli Tartus madalam kui 1800°C. Samasugust trendi võib täheldada ka ülejäänud Eestis.

Mais (täisküpsus) ja suhkrupeet nõuavad aktiivsete temperatuuride summat, mis jääb suurusjärku 2100°C. Kunda ilmajaama näitel oli ajaperioodil 1951–2020 esimest korda sellele lähedane aktiivsete temperatuuride summa 1975. aastal, mil aktiivsete temperatuuride summa oli Kundas 2025°C. Vastavale summale oli lähedane temperatuur ka 1983., 1988. ja 1989 aastal. Esimesena ületas aktiivsete temperatuuride summa väärtust 2100°C 1999. aastal, mil selle väärtuseks oli 2140°C. Ajaperioodil 2000–2020 oli aktiivsete temperatuuride summa üle 2100°C aastatel 2002, 2005, 2010, 2011, 2013, 2016, 2018 ja 2020. Aktiivsete temperatuuride summa üle 2100°C oleks justkui uueks normiks. Selle põhjal võib järeldada, et Eestis on olnud võimalik viimastel aastatel kasvatada maisi kuni täisküpsuse saabumiseni. Mais on väga soojalembene (soodsaim kasvutemperatuur jääb vahemikku 25–30°C) ja valgusnõudlik lühipäevataim. Meie laiuskraadi iseloomustavad suvise kasvuperioodi pikk päev ja suvised ööpäevased keskmised temperatuurid, mis on juulikuus umbes 18°C.

Samuti on võimalik aktiivsete temperatuuride summa kohaselt viimastel aastatel Eestis kasvatada suhkrupeeti (*B. vulgaris ssp. esculenta var. altissima*). Suhkrupeedi seeme hakkab idanema küll

juba 5–6°C, kuid optimaalne idanemistemperatuur on 20–25°C. Paraku esineb meie tingimustes pärast esimesi soojemaid kevadilmu ka öökülmadega perioode, mille tõttu saab suhkrupeet külmakahjustusi, ja peedile sobilikule tasemele küündivad temperatuurid tavapäraselt meil üksnes juulikuus. Kuigi suvel võib Eestis esineda pikemaid soojaperioode, mis oleks peedi kasvuks sobilikud, nõuab peet juurviljade moodustamiseks sellest kõrgemaid temperatuure. Antud temperatuurivahemikust madalamal temperatuuril peet ei moodusta üldse juurvilja. Ajaperioodi 1951–2020 on suurusjärku 2100°C jääv aktiivsete temperatuuride summa ainukese registreeritud Kihnu ilmajaamas, aga seal ei sobi mullastik selle kultuuri kasvatamiseks.

Kliimamuutuse tulemusena pikeneb Eestis vegetatsiooniperiood – kevad saabub ligikaudu kaks nädalat varem, samas kui sügis tuleb enam-vähem samal ajal. Soojal ning kuival 2018. aastal valmis kartul Eestis tavapärasest kaks nädalat varem (veebileht kliimamuutused.ee). Varajase küpsusega käis kaasas 25-50% väiksem saagikus. Sarnaseid muutusi täheldab ka Saksamaal läbi viidud uuring (Siebert, Ewert 2012), mis viitab sellele, et 1959. aastast alates on esinenud taimekasvu faaside varasem esinemine ja need on lühenenud. Maisi piimküpsuse faas esineb 17 päeva varem ja 14 päeva võrra on vähenenud aeg külvist kuni piimküpsuseni.

Temperatuur on peamine taime arengufaaside kiiruse määrajaks. Kõrgem temperatuur lühendab arengufaase ja seeläbi tõenäoliselt vähendab kindla sordi tootlikkust (Craufurd *et al.* 2009). Viimastel aastakümnetel on täheldatud varasemat õitsemist ja küpsemist. Seda seostatakse sageli kevadiste soojade temperatuuridega.

Paljud tänased sordid ei kannata liigset kuumu. Temperatuuridel 25–35°C valmivad väiksemad terad, kuna terade täitumise aeg on väiksem ja fotosüntees aeglustub üle 30°C juures (Hussain *et al.* 2018). Sobilike istutamisaegade täpne välja selgitamine ja sobilike sortide välja valimine aitab suurendada põllukultuuride saagikust ka Eestis.

Kõige märgatavam taimekasvu faaside varasemaks lükkumine on täheldatav nisu ja kaera puhul. Mitmed autorid on leidnud, et õitsemise aeg on varasemaks lükkunud (Oteros *et al.* 2015). Äärmuslikud temperatuurid, külm ja suur kuumus, põhjustavad steriilsust ja terade arvu vähenemist ning ka väiksema terade täitumise perioodi.

Samuti väheneb Eestis saagikus taimahaiguste ja kahjurite ulatusliku levimise tõttu. Kasvavad temperatuurid on seotud mitmete kahjurite lühema arenguperioodiga, suurema generatsioonide arvuga ja kiirema reproduktsiooni määraga (Aslam *et al.* 2017).

Umbrohutel on suurem võime kohanduda keskkonnatingimustega kui põllukultuuridel. Neil on kliimamuutuste tingimustes suurem geneetiline mitmekesisus ja ka suurem elujõulisus võrreldes põllukultuuridega (Korres *et al.* 2016).

Suurenenud teadlikkus tagab vastupidavuse ilmastikutingimustele läbi uuringute, sordiaretuse programmide ja regulatsioonide. Samas prognoositakse nisu saagikuse langust ja saagikuse muutlikkust isegi mõõduka soojenemise stsenaariumi kohaselt (Trnka *et al.* 2014).

Eelnevast võib järeldada, et globaalne kliimasoojenemine on mõjutanud ka Eesti kliimat. Nende mõjude vähendamiseks oleks põllumajandustootjatel soovitatav tegeleda kuumalainetele ja kevadistele öökülmadele paremini vastupidavate sortide aretamisega, tõkestada taimahaiguste ja kahjurite levikut ning võtta kasutusele pikema kasvuperioodiga põllukultuuride sordid.

# Kokkuvõte

Kui Euroopa lõunapoolsetel aladel on kliimamuutuste tõttu paljudele põllumajanduslikele kultuuridele negatiivne mõju, siis Euroopa põhjapoolsetel aladel parenevad mitmete kultuuride kasvutingimused olulisel määral. Pikem taimede kasvuperiood ning tõusvad aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summad soodustavad liikide põhja poole levimist.

Kliima soojenemise tõttu väheneb teravilja tootlikkus seetõttu, et võivad puhkeda teravilja haigused, putukarünnakud ja hakata levima umbrohud. Analüüsi põhjal selgus, et kõrgemate õhutemperatuuride tõttu on paljude põllukultuuride kasv pärsitud, sest suviste kuumalainete ajal on paljude kultuuride maksimaalsed kasvutemperatuurid ületatud. Eriti kahjulikuks osutub pikema perioodi jooksul esinev kõrge temperatuur. Sordiaretuse seisukohalt on oluline arvestada temperatuuride muutusi, sest need mõjutavad otseselt taimede arengut.

Kliima soojenemisel öökülmade tõenäosus väheneb ja suureneb tõenäosus, et tera täitumise perioodil esinevad kõrgemad temperatuurid. Seetõttu eelnev kultuur koristatakse varem ja talivilja külv jääb hilisemaks.

Kliimamuutus Eestis muudab temperatuurimustreid. See tähendab, et madalad temperatuurid varasel aastaajal suurendavad saaki. Temperatuuride summa ja kriitilised temperatuurid on võtmemuutujad, mis mõjutavad võimalikku põllumajanduslikku saagikust.

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatud Mann-Kendalli test ja lineaarse regressiooni meetod andsid mõlemad sarnased tulemused ilmajaamade lõikes. Sarnastele tulemustele jõuti nii aktiivsete kui ka efektiivsete temperatuuride summade arvutuste puhul.

Selgelt joonistus välja, et Kirde-Eestis on olnud ajaperioodil 1951–2020 aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summa kõige väiksem ning kõige suurem Kagu-Eestis, Pärnu lahe piirkonnas ja Lääne-Eesti saartel (Sõrves, Vilsandil ja Kihnul). Aktiivsete temperatuuride summad on muutunud kõige rohkem Tartus, Võrus ja Vilsandil ning efektiivsete temperatuuride summad Vilsandil, Sõrves ja Kihnul. Kõige väiksem aktiivsete temperatuuride summa muutus on olnud Pärnus, Virtsus ja Tallinnas ning kõige väiksem efektiivsete temperatuuride summa muutus on olnud Pärnus, Jõhvis ja Valgas. Kõige pikema kasvuperioodiga on Lääne-Eesti saared.

Ühefaktorilise ANOVA-ga tuleb ilmsiks selge tendents, et sarnaste keskmiste aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summadega on Põhja-Eesti, Lõuna-Eesti, Kesk-Eesti, Pärnu lahe

piirkond ja Lääne-Eesti saared (Lisa 5). Vahetus läheduses paiknevate ilmajaamade ühefaktorilise ANOVA analüüsiga leitud p-väärtus osutus suuremaks kui 0,05. Kui ilmajaamade omavaheline põhja-lõuna suunaline vahemaa suurenes, osutus ilmajaamade aktiivsete ja efektiivsete temperatuuride summade keskmiste erinevus statistiliselt oluliseks.

Varajase odra nisu, ja kartuli kasvatuseks on ajaperioodil 1951–2020 olnud Eestis vajalike aktiivsete temperatuuride summaga tagatus olemas, samas kui keskvalmiva odra ja keskvalmiva kartuli jaoks ei ole kõigil aastatel aktiivsete temperatuuridega tagatust olnud. Ka hilise odra, keskvalmiva nisu ja kaera jaoks on Eestis aktiivsete temperatuuride summaga tagatus olemas, kuna viimastel aastakümnetel on olnud aktiivsete temperatuuride summa alati üle 1600°C. Ainukesed erandid on hiliste sortide kasvatamisel Väike-Maarja ja Jõhvi piirkond, kus temperatuur on olnud selleks liiga madal. Silma paistsid üksikud aastad ajaperioodil 1951–2020, mil aktiivsete temperatuuride summa oli väga madal ja taimekasvuks ebasoodne. Viimastel aastakümnetel on olnud aktiivsete temperatuuride summa üle taimekasvuks vajaliku temperatuuride summa piiri ning probleemiks on hoopis talviste temperatuuride kõikumine nullkraadi ümber. Taimede juured võivad sellistes tingimustes katkeda, kuna pinnas soojeneb osaliselt üles ja seejärel jääb. Kahjuks esineb meie tingimustes pärast esimesi soojemaid kevadilmu sageli ka öökülmadega perioode, mistõttu ei ole meie kliima sobilik soojanõudlike kultuuride kasvatamiseks, vaatamata sellele, et vajalike aktiivsete temperatuuride summadega tagatus on olemas.

# Expression of global warming in long-term changes in thermal conditions necessary for plant growth in Estonia

Lauri Leinus

## Summary

While many crops in the southern region of Europe are being adversely affected by climate change, the conditions for the growth of many crops in the northern of Europe are improving significantly. Longer plant growing season and rising amounts of accumulated temperatures and growing degree days temperatures make species to spread northwards.

Global warming is reducing the productivity of cereals, which can lead to the outbreak of cereal diseases, insect attacks and the spread of weeds. The analysis has shown that the growth of many crops has been inhibited by higher air temperatures, as the maximum growth temperatures of many crops have been exceeded during the summer heatwaves. High temperatures over a long period of time are particularly harmful. From the point of view of plant breeding, it is important to consider changes in temperature, as they directly affect the development of plants.

As the climate warms, the likelihood of night frosts decreases and the probability of higher temperatures during the grain filling period increases. Therefore, the previous crop is harvested earlier and the sowing of winter crops is delayed.

Climate change in Estonia is changing temperature patterns. This means that low temperatures in the early part of the year increase yields. The accumulated temperatures and critical temperatures are key variables that affect potential agricultural yields.

The Mann-Kendall test and the linear regression method used in this bachelor's thesis both gave similar results for all weather stations. Similar results were obtained for both accumulated temperature and growing degree days calculations.

It was clear that accumulated temperatures and growing degree days in North-Eastern Estonia in the period from 1951 to 2020 was the lowest and highest in South-Eastern Estonia, in Pärnu Bay and on the islands of Western Estonia (Sõrve, Vilsandi and Kihnu). Accumulated temperatures

have changed the most in Tartu, Võru and Vilsandi, and the growing degree days in Vilsandi, Sõrve and Kihnu. The smallest change in accumulated temperatures has been in Pärnu, Virtsu and Tallinn, and the smallest change in growing degree days has been in Pärnu, Jõhvi and Valga. The islands of Western Estonia have the longest growing season.

A one-way ANOVA reveals a clear tendency for North Estonia, South Estonia, Central Estonia, the Pärnu Bay region and the islands of Western Estonia to have similar amounts of average accumulated temperatures and growing degree days. A one-way ANOVA of the nearby weather stations showed a p-value greater than 0.05. As the north-south distance between the weather stations increased, the difference between the averages of accumulated temperatures and growing degree days of the weather stations turned out to be statistically significant.

In the period from 1951 to 2020, accumulated temperatures were high enough required for the cultivation of early barley wheat and potatoes in Estonia, accumulated temperatures were not high enough for medium barley and potatoes in all years. The accumulated temperatures necessary for the cultivation of late barley, medium wheat and oats were also high enough in Estonia, as accumulated temperatures have always been above 1600°C in recent decades. The only exceptions for the cultivation of late varieties are Väike-Maarja and Jõhvi, where the temperature has been too low. A few years stood out in the period from 1951 to 2020, when accumulated temperatures were very low and unfavourable for plant growth. In recent decades, accumulated temperatures have exceeded the sum of the temperatures required for plant growth, and the problem is the fluctuation of winter temperatures around zero degrees. The roots of plants can break under these conditions, as the soil partially warms up and then freezes. Unfortunately, after the first warmest spring weather, our conditions often include periods of night frosts, which makes our climate unsuitable for growing heat-demanding crops, despite the fact that the necessary amounts of accumulated temperatures are guaranteed.

# Kasutatud kirjandus

- Abbas, G., Ahmad, S., Hussain, M., Fatima, Z., Hussain, S., Iqbal, P., ... & Farooq, M. (2020). Sowing ate and hybrid choice matters production of maize–maize system. *Int. J. Plant Prod.* 14, 583–595. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00104-6>
- Aggarwala, P., Vyasa, S, Thorntona, P., Campbella, B. M. & Kropffe, M. (2019). Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. *Global Food Security*, Volume 23, , 41-48. ISSN 2211-9124, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.002>.
- Ahmad, M. J., Iqbal, M. A., & Choi, K. S. (2020). Climate-driven constraints in sustaining future wheat yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, Volume 231, 105991, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105991>.
- Ambros, P.; Granvik, M. (2020). Trends in Agricultural Land in EU Countries of the Baltic Sea Region from the Perspective of Resilience and Food Security. *Sustainability*, 12, 5851. <https://doi.org/10.3390/su12145851>
- Anwar, M. R., Liu, D. L., Macadam, I., & Kelly, G. (2013). Adapting agriculture to climate change: a review. *Theor Appl Climatol* **113**, 225–245. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0780-1>
- Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblus-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa,

I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, 2021: Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Aslam, M. A., Ahmed, M., Stöckle, C. O., Higgins, S. S., Hassan, F. U., & Hayat, R. (2017). Can Growing Degree Days and Photoperiod Predict Spring Wheat Phenology? *Frontiers in Environmental Science*, Volume 5, <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2017.00057>, DOI=10.3389/fenvs.2017.00057, ISSN=2296-665X.

Bajwa, A. A., Farooq, M., Al-Sadi, A. M., Nawaz, A., Jabran, K., & Siddique, K. H. (2020). Impact of climate change on biology and management of wheat pests, *Crop Protection*, Volume 137, 105304, ISSN 0261-2194, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105304>.

Betts, R. A., Alfieri, L., Bradshaw, C., Caesar, J., Feyen, L., Friedlingstein, P., ... & Wyser, K. (2018). Changes in climate extremes, fresh water availability and vulnerability to food insecurity projected at 1.5°C and 2 °C global warming with a higher-resolution global climate model. *Phil. Trans. R. Soc. A* 376: 20160452. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0452>

Blecharczyk A, Sawinska Z, Małecka I, Sparks TH & Tryjanowski P (2016). The phenology of winter rye in Poland: an analysis of long-term experimental data. *Int J Biometeorol*; 60(9):1341-6. doi: 10.1007/s00484-015-1127-2. PMID: 26732577; PMCID: PMC4999460.

BACC Author Team (2008). *Assessment of climate change for the Baltic Sea basin*. Springer Science & Business Media.

BACC II Author Team (2015). *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies*. Springer-Verlag.

Chawade, A., Armoniené, R., Berg, G., Brazauskas, G., Frostgård, G., Geleta, M., ... & Weih, M. (2018). A transnational and holistic breeding approach is needed for sustainable wheat production in the Baltic Sea region. *Physiol Plant*;164(4):442-451. doi: 10.1111/ppl.12726. PMID: 29536550.

Cockram, J., Jones, H., Leigh, F. J., O'Sullivan, D., Powell, W., Laurie, D. A., & Greenland, A. J. (2007). Control of flowering time in temperate cereals: genes, domestication, and sustainable productivity. *J Exp Bot*; 58(6):1231-44. doi: 10.1093/jxb/erm042. PMID: 17420173.

Craufurd P.Q, Wheeler T.R. (2009). Climate change and the flowering time of annual crops, *Journal of Experimental Botany*, Volume 60, Issue 9, , Pages 2529–2539. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp196>

Christensen, J. H., Carter, T. R., & Giorgi, F. (2002). PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 83(13), 147-147. <https://doi.org/10.1029/2002EO000094>

Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2003). Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421(6925), 805-806. <https://doi.org/10.1038/421805a>

„Eesti NSV agrokliimaatiline teadmik“, Hüdrometeoroloogia Teenistuse Peavalitsus NSVL Ministrite Nõukogu juures, Eesti NSV Hüdrometeoroloogia Teenistuse Valitsuse Tallinna Hüdrometeoroloogia Observatoorium, Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1962.

Elsgaard, L., Børgesen, C. D., Olesen, J. E., Siebert, S., Ewert, F., Peltonen-Sainio, P., ... & Skjelvåg, A. O. (2012). Shifts in comparative advantages for maize, oat and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*; 29(10):1514-26. doi: 10.1080/19440049.2012.700953. Epub 2012 Jul 24. PMID: 22827234.

EMHI koduleht, <https://www.ilmateenistus.ee>

Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. J., & Leemans, R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107, 101–116.

ETKI koduleht, <https://etki.ee/>

Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S., ... & Hussain, S. (2020). The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Sci Rep* **10**, 18013. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74740-3>

Garcia-Mozo, H. & Mestre, A. & Galán, Carmen (2010). Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology - AGR FOREST METEOROL.* **150**. 575-580. doi: 10.1016/j.agrformet.2010.01.023.

Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S. J., Rötter, R., Salo, T., & Kahiluoto, H. (2012). Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *The Journal of Agricultural Science*, *150*(2), 145-160. doi:10.1017/S0021859611000694

Hardy, S., & Khurshid, T. (2007). Calculating heat units for citrus. *Primefacts, NSW department of primary industries, Primefact*, 749(3).

Hatfield, J.L., Dold, C. (2018). Climate change impacts on corn phenology and productivity. In: Amanullah, Fahad, S., editors. *Corn Production and Human Health in Changing Climate*. London, UK: Intechopen. p. 95-114. <http://doi.org/10.5772/intechopen.76933>.

Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development, *Weather and Climate Extremes*. Volume 10, Part A, Pages 4-10, ISSN 2212-0947, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>.

Hopke, J. E. (2020). Connecting Extreme Heat Events to Climate Change: Media Coverage of Heat Waves and Wildfires, *Environmental Communication*, *14*:4, 492-508, doi: [10.1080/17524032.2019.1687537](https://doi.org/10.1080/17524032.2019.1687537)

Hou, P., Liu, Y., Xie, R., Ming, B., Ma, D., Li, S., & Mei, X. (2014). Temporal and spatial variation in accumulated temperature requirements of maize. *Field Crops Research*, *158*, 55-64.

Hu, Q., Weiss, A., Feng, S., & Baenziger, P. S. (2005). Earlier winter wheat heading dates and warmer spring in the U.S. Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*. **135**. 284-290. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.01.001.

Hurrell, J.W & Van Loon, Harry (1997). Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*. 36. 301-326. doi: 10.1023/A:1005314315270.

Hurrell, J.W & Kushnir, Yochanan & Ottersen, Geir & Visbeck, Martin (2003). The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact.. *Geophys Monogr Series* 134

Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., Akhter, J. & Asseng, S. (2018). Wheat Responses to Climate Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. *International Journal of Environmental Research*. 12. doi: 10.1007/s41742-018-0074-2.

Ingver, A., Tamm, I., Tamm, Ü., Kangor, T., & Koppel, R. (2010). The characteristics of spring cereals in changing weather in Estonia. *Agronomy Research*, 8(Special III), 553-562.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E., & Remm, K. (2014). Variability and trends in daily minimum and maximum temperatures and in the diurnal temperature range in Lithuania, Latvia and Estonia in 1951–2010. *Theor Appl Climatol* 118, 57–68. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1041-7>

Janssen, F. (2002). Statistical Analysis of multi-year variability of the hydrography in North Sea and Baltic Sea. PhD thesis, University of Hamburg (in German)

Kahiluoto, H., Kaseva, J., Balek, J., Olesen, J. E., Ruiz-Ramos, M., Gobin, A., ... & Trnka, M. (2019). Decline in climate resilience of European wheat. *Proc Natl Acad Sci U S A*;116(1):123-128. doi: 10.1073/pnas.1804387115. PMID: 30584094; PMCID: PMC6320549.

Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, Volume 19, Issue 12, Pages 1665-1674, ISSN 1002-0071, <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001>.

Karapinar, B., & Özertan, G. (2020). Yield implications of date and cultivar adaptation to wheat phenological shifts: a survey of farmers in Turkey. *Climatic Change* 158, 453–472. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02532-4>

Kask, K., Jänes, H., Libek, A., Arus, L., Kikas, A., Kaldmäe, H., ... & Univer, T. (2010). "New cultivars and future perspectives in professional fruit breeding in Estonia." *Agronomy Research* 8.Special III, 603-614.

Kivi, K. (1976). Eesti NSV agrokliima ressursid. Eesti NSV Hüdrometeoroloogiateenistuse valitsus, Valgus, Tallinn

Kliimamutused.ee leht

Kliimamuutuste mõju põllukultuuridele (2015). Vastutav täitja: Triin Saue; Eesti Taimekasvatuse Instituut

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T. K., Loka, D. A., Oosterhuis, D. M., ... & Palhano, M. (2016). Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a

review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0350-5>

Kundzewicz, Z.W. (2009). Adaptation to floods and droughts in the Baltic Sea basin under climate change. *Boreal Environment Research*. 14. 193-203.

Linderholm, H. W. (2006). Growing season changes in the last century. *Agricultural and forest meteorology*, 137(1-2), 1-14, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>.

Luo, Q., O’Leary, G., Cleverly, J., & Eamus, D. (2018). Effectiveness of time of sowing and cultivar choice for managing climate change: wheat crop phenology and water use efficiency. *Int J Biometeorol* 62, 1049–1061. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1508-4>

Lv, Z., Li, F. & Lu, G. (2020). Adjusting sowing date and cultivar shift improve maize adaption to climate change in China. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 87–106. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09861-w>

Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13, 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>

Martino, D. L., & Abbate, P. E. (2019). Frost damage on grain number in wheat at different spike developmental stages and its modelling. *European Journal of Agronomy*, 103, 13-23. ISSN 1161-0301, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.10.010>.

Mendelsohn, R. (2008). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries, *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1:1, 5-19. doi: 10.1080/19390450802495882

National Water and Climate Center’i koduleht

Olesen, J. E., Børgesen, C. D., Elsgaard, L., Palosuo, T., Rötter, R. P., Skjelvåg, A. O., ... & Van Der Fels-Klerx, H. J. (2012). Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29:10, 1527-1542, DOI: 10.1080/19440049.2012.712060

Oteros, J., García-Mozo, H., Botey, R., Mestre, A., & Galán, C. (2015). Variations in cereal crop phenology in Spain over the last twenty-six years (1986–2012). *Climatic Change* 130, 545–558. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1363-9>

Parthasarathi, T., Velu, G., & Jeyakumar, P. (2013). "Impact of crop heat units on growth and developmental physiology of future crop production: A review." *Journal of Crop Science and Technology* 2.1: 2319-3395.

Pulatov, B., Linderson, M. L., Hall, K., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volumes 214–215, Pages 281-292, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.266>.

Põiklik, K. (1964). „Üld- ja agrometeoroloogia“. Tallinn: Eesti Raamat

Raza, M. A., Bin Khalid, M. H., Zhang, X., Feng, L. Y., Khan, I., Hassan, M. J., ... & Yang, W. (2019). Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Sci Rep* 9, 4947. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41364-1>

Reckermann, M., Omstedt, A., Pawlak, J., von Storch, H. ja BACC II Author Team. Reckermann, M., Omstedt, A., Pawlak, J., von Storch, H., & BACC II Lead Author Team. (2014). Climate Change in the Baltic Sea region-What do we know?. In *Social Dimensions of Climate Change Adaptation in Coastal Regions: Findings from Transdisciplinary Research [KLIMZUG-Reihe: Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten 5]* (pp. 19-32). oekom Verlag.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, Volume 32, Issue 1, Pages 91-102, ISSN 1161-0301. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.003>.

Rezaei, E. E., Siebert, S. & Ewert, F. (2015). Intensity of heat stress in winter wheat - Phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*. Volume, Number 2, 024012.

Rezaei, E. E., Siebert, S., Hüging, H., & Ewert, F. (2018). Climate change effect on wheat phenology depends on cultivar change. *Sci Rep* 8, 4891. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23101-2>

Rezaei, E. E., Siebert, S., Manderscheid, R., Müller, J., Mahrookashani, A., Ehrenpfordt, B., ... & Ewert, F. (2018). Quantifying the response of wheat yields to heat stress: The role of the experimental setup. *Field Crops Research*, Volume 217, Pages 93-103, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.015>.

Rohegeeniuse leht

Rosenzweig, C. & Liverman, D. (1992). Predicted Effects of Climate Change on Agriculture: A Comparison of Temperate and Tropical Regions. In: Majumdar, S. K., Ed., *Global Climate Change: Implications, Challenges, and Mitigation Measures*, The Pennsylvania Academy of Sciences, PA, 342-361.

Ruiz Castillo, N.; Gaitán Ospina, C.F. (2016). Projecting Future Change in Growing Degree Days for Winter Wheat. *Agriculture*, 6, 47. <https://doi.org/10.3390/agriculture6030047>

Sadras, V. O., Vadez, V., Purushothaman, R., Lake, L., & Marrou, H. (2015). Unscrambling confounded effects of sowing date trials to screen for crop adaptation to high temperature. *Field Crops Research*, Volume 177, Pages 1-8, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.024>.

Schrum, C. (2001). Regionalization of climate change for the North Sea and Baltic Sea. *Climate Research*, 18(1/2), 31–37. <http://www.jstor.org/stable/24861555>

Siebert, S., & Ewert, F. (2012). Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 152, Pages 44-57, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.007>.

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects* 2021, 12, 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>

Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan and S.-P. Xie, 2013: Technical Summary. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Stratonovitch, P., & Semenov, M. A. (2015). Heat tolerance around flowering in wheat identified as a key trait for increased yield potential in Europe under climate change. *J Exp Bot.*; 66(12):3599-609. doi: 10.1093/jxb/erv070. PMID: 25750425; PMCID: PMC4463804.

Suursaar, Ü. (2022). Summer 2021 marine heat wave in the gulf of finland from the perspective of climate warming. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 71(1), 1-16. doi: <https://doi.org/10.3176/earth.2022.01>

Zhou, G. & Wang, Q. (2018). A new nonlinear method for calculating growing degree days. *Sci Rep* 8, 10149. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28392-z>

Tarand, A. (2013). Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. (Jago, L., Toim). Tartu Ülikooli kirjastus

Tinz B (1996). On the relation between annual maximum extent of ice cover in the Baltic Sea and sea level pressure as well as air temperature field. *Geophysica*, 32(3), 319-341.

Tooming, H. & Kadaja, J. (2006). Eesti lumikatte teatmik = *Handbook of Estonian snow cover*. (Kallis, A., Toim.) Tallinn: Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut; Saku: Eesti Maaviljeluse Instituut.

Trnka, M., Rötter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z., & Semenov, M. A. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will

become more frequent with climate change. *Nature Clim Change* 4, 637–643.

<https://doi.org/10.1038/nclimate2242>

Tryjanowski, P., Sparks, T. H., Blecharczyk, A., Małecka-Jankowiak, I., Switek, S., & Sawinska, Z. (2018). Changing Phenology of Potato and of the Treatment for its Major Pest (Colorado Potato Beetle) – A Long-term Analysis. *Am. J. Potato Res.* 95, 26–32.

<https://doi.org/10.1007/s12230-017-9611-3>

Verdugo-Vásquez, N., Pañitrur-De la Fuente, C., & Ortega-Farías, S. (2017). Model Development to Predict Phenological scale of Table Grapes (cvs. Thompson, Crimson and Superior Seedless and Red Globe) using Growing Degree Days. *OENO One*, 51(3).

<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.3.1833>

Wang, J., Vanga, S. K., Saxena, R., Orsat, V., & Raghavan, V. (2018). Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. *Climate*, 6, 41. <https://doi.org/10.3390/cli6020041>

Wypych, A., Sulikowska, A., Ustrnul, Z., & Czekierda, D. (2017). Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe. *Int J Biometeorol* 61, 49–59.

<https://doi.org/10.1007/s00484-016-1190-3>

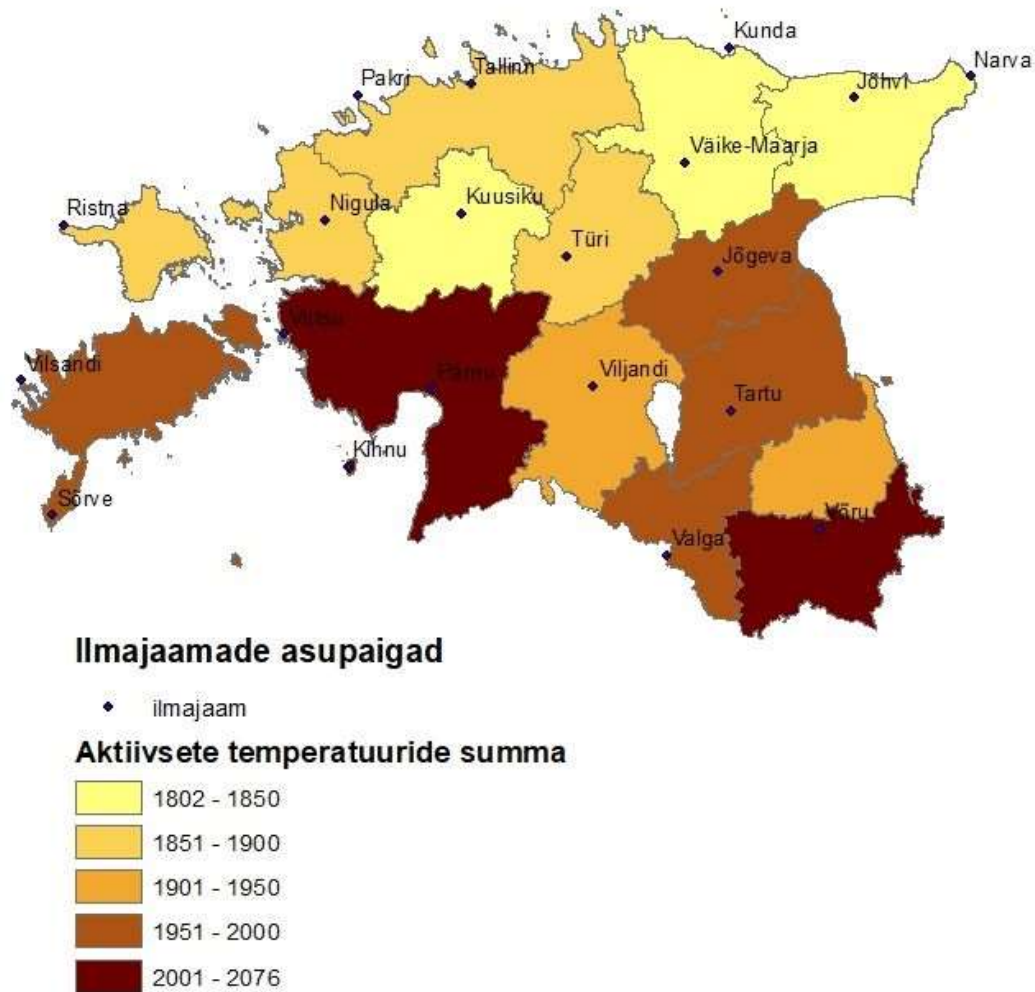
Yin, Y., Deng, H. & Wu, S.(2019). Spatial-temporal variations in the thermal growing degree-days and season under climate warming in China during 1960–2011. *Int J Biometeorol* 63, 649–

658. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1417-y>

# Lisad

## Lisa 1

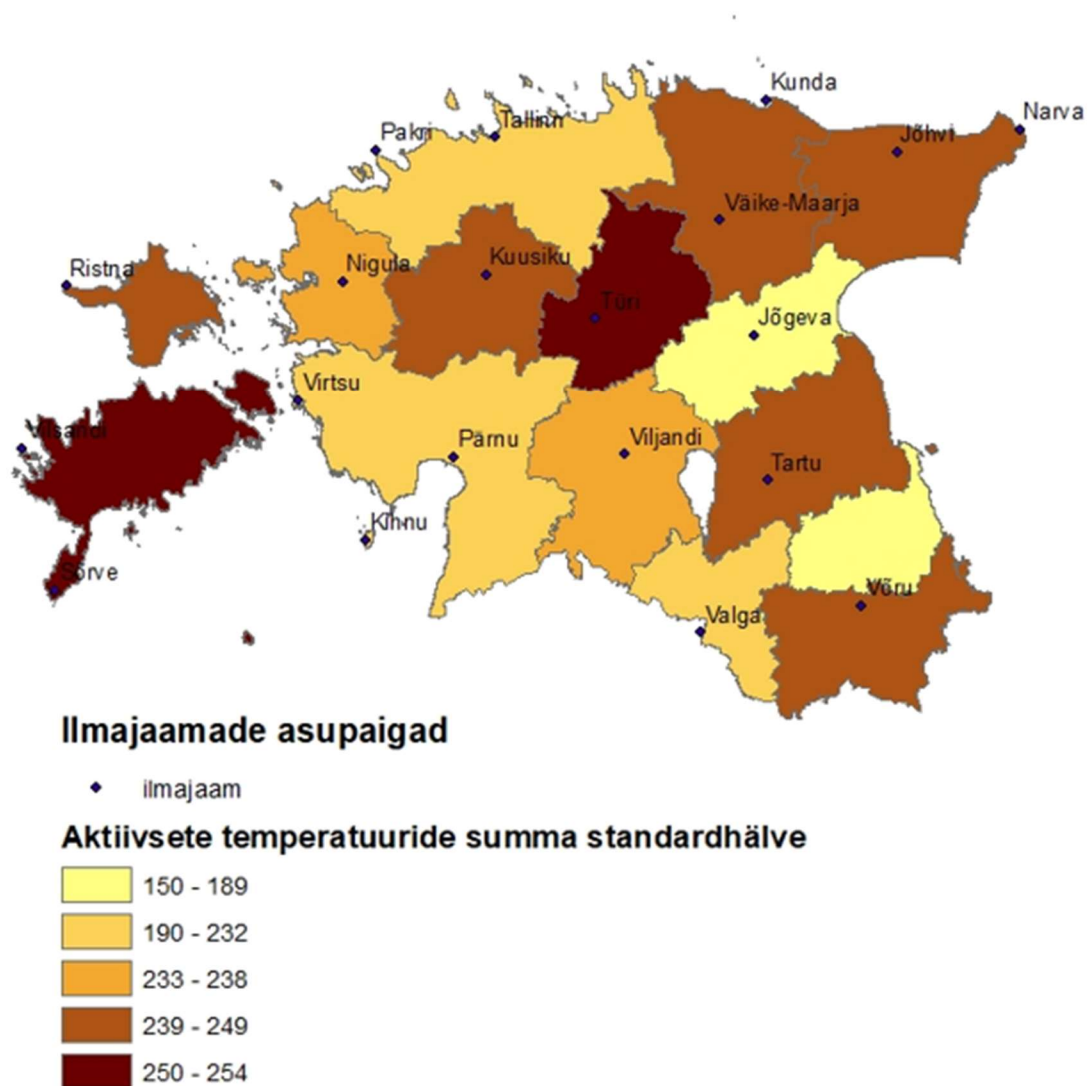
### Aktiivsete temperatuuride summa maakondade lõikes ajaperioodil 1951-2020



Joonis 8. Aktiivsete temperatuuride summa maakondade lõikes ajaperioodil 1951–2020.

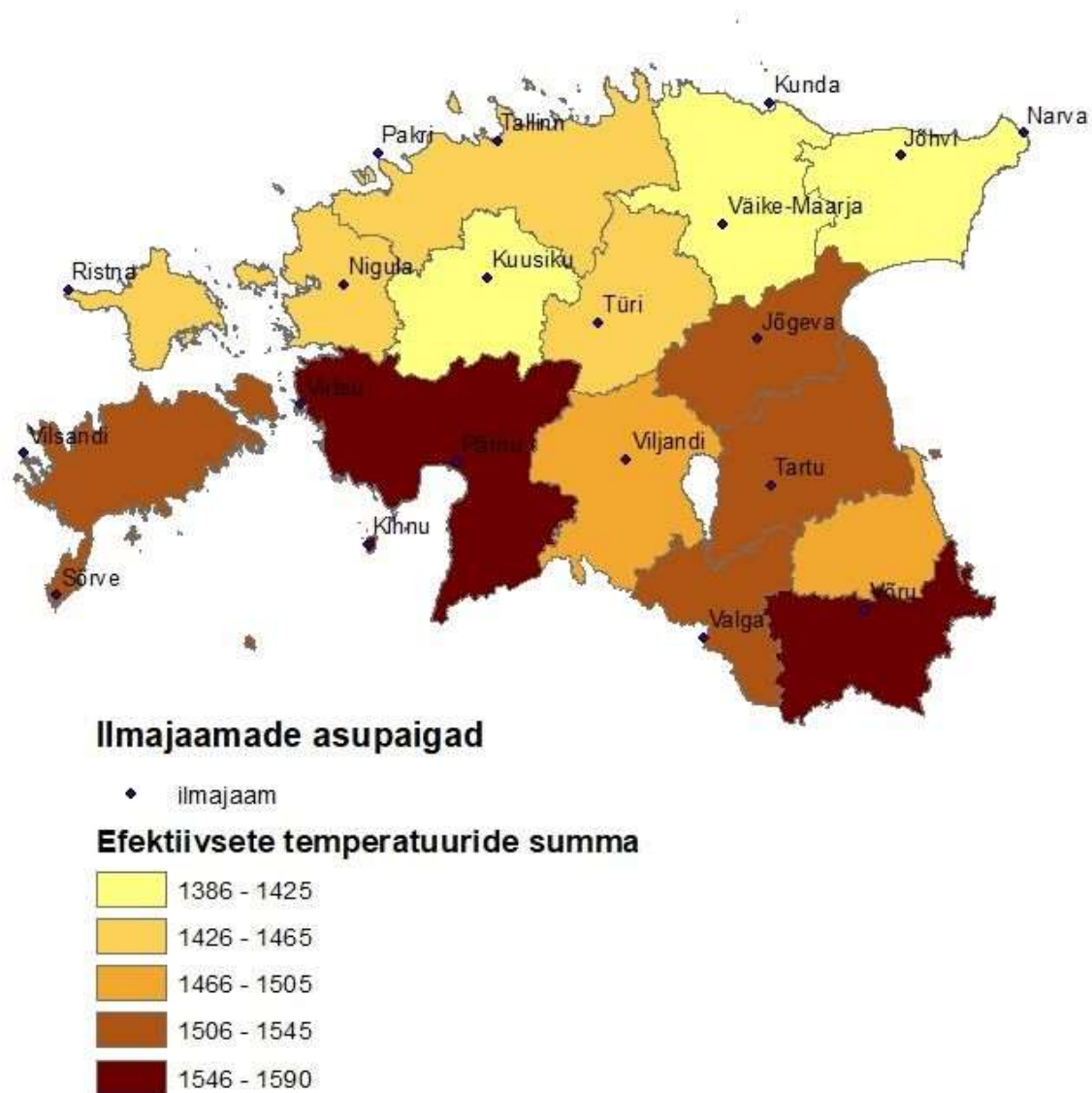
## Lisa 2

### Aktiivsete temperatuuride summa standardhälve maakondade lõikes perioodil 1951-2020



Joonis 9. Aktiivsete temperatuuride summa standardhälve maakondade lõikes ajaperioodil 1951–2020.

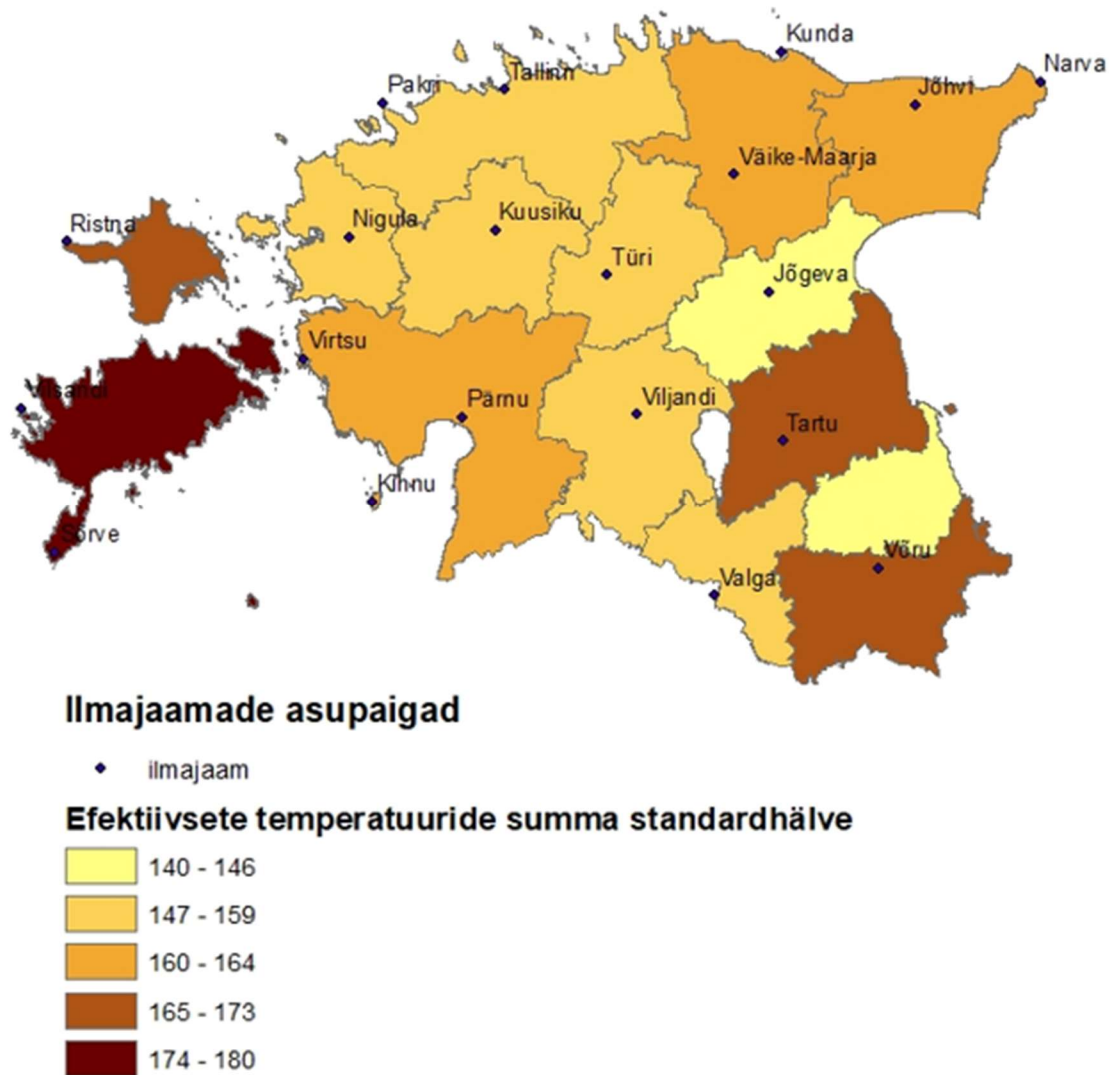
## Efektiivsete temperatuuride summa maakondade lõikes ajaperioodil 1951-2020



Joonis 10. Efektiivsete temperatuuride summa maakondade lõikes ajaperioodil 1951–2020.

## Lisa 4

### Efektiivsete temperatuuride summa standardhälve maakondade lõikes perioodil 1951-2020



Joonis 11. Efektiivsete temperatuuride summa standardhälve maakondade lõikes ajaperioodil 1951–2020.

## Lisa 5

### Aktiivsete temperatuuride summade keskmiste järgi ilmajaamade grupeerimine



#### Ilmajaamade asupaigad

- ♦ ilmajaam

#### Ilmajaamade grupeerimine piirkonniti

- Lõuna-Eesti ilmajaamad
- Lääne- ja Kesk-Eesti ilmajaamad
- Põhja-Eesti ilmajaamad
- Lääne-Eesti saarte ilmajaamad
- Pärnu lahe piirkonna ilmajaamad
- Määratlemata

Joonis 12. Aktiivsete temperatuuride summade keskmiste järgi ilmajaamade grupeerimine ajaperioodil 1951–2020

# Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Lauri Leinus

*(autori nimi),*

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) minu loodud teose „Kliima soojenemise avaldumine pikaajalistes muutustes taimekasvuks vajalikes soojustingimustes Eestis“,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on Jaak Jaagus,

*(juhendaja nimi)*

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 lihlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Lauri Leinus*

**29.05.2022**