

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

Loodusteaduskond

Geoloogia Instituut

Kvaternaargeoloogia osakond

**EESTI KLIIMA VIIMASE 10 000 AASTA  
JOOKSUL. ÕIETOLMUPÕHISED  
KLIIMAREKONSTRUKTSIOONID JA NENDE  
KASUTUSVÕIMALUSED**

**Magistritöö**

**LG70LT**

**Bärbel Vandel**

Juhendaja: PhD Anneli Poska, Kvaternaargeoloogia osakond,

Vanemteadur

Kaasjuhendaja: PhD Heikki Seppä, Helsingi Ülikool,

Professor

Maa-teadused ja geotehnoloogia

Tallinn 2017

*Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud. Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.*

Bärbel Vandel

Allkiri:

Kuupäev:

Juhendaja: Anneli Poska

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

## SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	7
2 PIIRKONNA ISELOOMUSTUS .....	8
2.1 Geograafiline asend .....	8
2.2 Taimestik .....	8
2.3 Kliima .....	9
3 ANDMED JA METOODIKA .....	12
3.1 Eesti õietolmu andmete andmebaas .....	12
3.2 Kaasaegsed kliimaandmed .....	13
3.3 Tänapäevaste õietolmu ja kliima analoogide andmebaas.....	14
3.4 Õietolmu andmete periodiseering .....	16
3.5 Kliimaparameetrite rekonstrueerimine .....	17
3.6 Võõrväärtuste tuvastamine .....	18
3.7 Kliimakaartide koostamine.....	19
3.8 Rekonstruktsioonide valideerimine .....	20
4 TULEMUSED .....	21
4.1 Võõrväärtuste esinemine andmetes .....	21
4.2 Eesti kliimarekonstruktsioon .....	23
4.3 Piirkondlikud kliimarekonstruktsioonid.....	25
4.3.1 Kirde-Eesti .....	25
4.3.2 Kagu-Eesti.....	27
4.3.3 Saaremaa .....	27
4.4 Kaartide koostamiseks sobiva interpolatsioonimeetodi valik .....	30
4.5 Tänapäevaste vaatlusandmetel põhinevate kaartide võrdlus rekonstrueeritute.....	31
4.6 Rekonstrueeritud mineviku kliimaparameetrite kaardid .....	32
4.6.1 Aasta keskmised temperatuurid .....	33
4.6.2 Mai-august keskmised temperatuurid .....	35
4.6.3 Detsember-veebruar keskmised temperatuurid.....	37

4.6.4	Aasta keskmised sademed.....	39
5	ARUTELU .....	42
5.1	Õietolmupõhiste kliimarekonstruktsioonide meetodilised iseärasused ja piiravad tegurid .....	42
5.2	Kliimarekonstruktsioonide tulemuste usaldusväärsus ja valideerimine tänapäevaste vaatlusandmetega.....	43
5.3	Kliimaparameetrite kaardid .....	46
5.4	Väljavaated edasiseks .....	47
	KOKKUVÕTE.....	49
	ABSTRACT.....	51
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	52
	LISAD .....	56
	Lisa 1. Andmed töös kasutatavate Riigi Ilmateenistuse vaatlusjaamade kohta. ...	56
	Lisa 2. Mai-august, detsember-veebuar ja aasta keskmised õhutemperatuurid ja sademete määr Eestis 1960-1991.....	57
	Lisa 3. Eesti õietolmu andmete andmebaasi kuuluvate soode ja järvede nimistu .	58
	Lisa 4. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud aasta keskmine temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi. ....	60
	Lisa 5. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud soojade kuude (mai-august) keskmine temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.....	63
	Lisa 6. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud talvekuude (detsember-veebuar) temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.....	66

## SISSEJUHATUS

Tänapäeval, inimtekkelise kliimamuutuse kontekstis, on aktuaalne kliimamuutuse mõjul taimkattes tulevikus toimuvate muutuste prognooside täpsuse suurendamine (IPCC, 2013). Uuringud, mis taastulevad mineviku keskkonnatingimuste (näiteks kliima, mullastik, hüdroloogia) ja taimkatte ning sellega tihedalt seotud üldise bioloogilise mitmekesisuse muutuste seoseid, on väga olulised teabeallikad tulevikus toimuvate muutuste ja ulatuse prognoosiks.

Teadlased on kasutanud järve- ja soosetetes talletunud organismide jäänuseid keskkonnatingimuste ja kliimamuutuste uurimiseks (Encyclopedia..., 2007). Õietolmuanalüüs on üks enamlevinuid paleoökoloogilistest uurimismeetoditest, mida on alates 20. sajandi algusest laialdaselt kasutatud mineviku taimkatte, inimtegevuse ja kliimamuutuste taastuletamiseks (von Post, 1916; Bradshaw, 2007).

Üheks levinud meetodiks mineviku kliimaparametrite rekonstruktsioonide loomiseks on õietolmuanalüüsi kasutamine. Kuna taimestik on suurel määral kontrollitud ümbritseva kliima poolt, siis õietolmu koosluse muutus õietolmuprofiilis viitab kliima muutusele.

Seega muutused settekihis sisalduvates õietolmuspektrites annavad meile kaudset informatsiooni lokaalse ja regionaalse kliima kohta (Webb, 1986). Õietolmupõhiste mineviku kliimarekonstruktsioonide tegemiseks kasutatakse nii indikaatorliikidel (kindla kliimaatiliste eelistustega taimeliikidel) kui ka tänapäevase õietolmuspektri-kliimatingimuste analoogidel põhinevaid ülekandefunktsioone kasutatavaid meetodeid (Birks *et al.*, 2010; Pidek & Poska, 2013). Kvaliteetsete kliimarekonstruktsioonide saamiseks nõuab indikaatorliikidel põhinev meetod suhtelise kitsaste kliimaatiliste eelistustega taimeliikide õietolmu esinemist uuritavates setetes. Selliseid taimeliike on põhjamaades vähe ja seepärast on ka meetod siin suhteliselt vähe kasutatud. Ülekandefunktsioonide edukaks kasutamiseks on vajalik õietolmu-kliimatingimuste kalibreerimisandmebaas (Seppä *et al.*, 2004a). Kasutades andmebaasi abil määratletud seosed tänapäevaste kliimaparametrite ja

õietolmukoosluse vahel, on võimalik rekonstrueerida järve- ja soosetetes sisalduvate õietolmu andmete põhjal minevikus toimunud kliimamuutusi kõrge täpsusega (Birks *et al.*, 2010; Bartlein *et al.*, 2011).

Eelnevalt on tehtud Eesti õietolmu andmete põhjal üksikuid järve- ja soosetel põhinevaid kliimarekonstruktsioone (näiteks Davis *et al.*, 2003; Seppä *et al.*, 2004b) ning on kirjeldatud üksikute kliimaparameetrite muutumist Holotseeni jooksul. Varasemalt pole Eesti õietolmu andmebaasi kasutatud kliima rekonstrueerimiseks ning hinnatud sellise suuremahulise andmebaasi kasutamisega seonduvaid võimalusi ja probleeme. Käesoleva magistritöö eesmärgiks on kasutada Eesti õietolmu andmebaasi kuuluvate järve- ja soosetest määratud õietolmuspektrite andmeid mineviku kliimaparameetrite (temperatuur ja sademed) ajalise ja ruumilise dünaamika rekonstrueerimiseks Holotseeni vältel.

Töö autor soovib eelkõige tänu avaldada oma juhendajale, Anneli Poskale, töö valmimisse panustatud aja ja nõuannete eest. Lisaks soovib töö autor tänada Triin Reitalu ja Jüri Vassiljevit Eesti õietolmu andmebaasi koostamise eest ning kõiki neid, kes on lahkelt andnud õietolmu andmeid koostatud andmebaasi.

## 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Õietolmuanalüüs ehk palünoloogiline analüüs on uurimismeetod, mille käigus eraldatakse järve- ja soosetetest, kultuurkihist jm õietolmuterad ja eosed ning uuritakse neid mikroskoobi all (EE 1998 *sub* õietolmuanalüüs). Analüüsi tulemused esitatakse tavaliselt õietolmudiagrammina.

Õietolmu on laialdaselt kasutatud informatsiooni saamiseks mineviku taimkatte ning paleokliima kohta. Analüüsi tulemusi saab kasutada nii regionaalse kui ka lokaalse taimkatte ja kliima rekonstrueerimiseks (Webb, 1986).

Õietolmuanalüüsi meetodi alguseks loetakse 1916. aastat, kui rootsi geoloog ja naturalist Lennart von Post pidas ettekande õietolmuterade sisaldusest turbas (Erdtman, 1954; von Post, 1946).

Õietolmu andmete kasutamine mineviku kliimarekonstruktsioonide koostamisel põhineb eeldusel, et settekihtides sisalduv õietolm kirjeldab sel ajaperioodil teatud alale iseloomulikku taimestikku. Kuna piirkonna taimestik on suurel määral kontrollitud kliima poolt, on olemas kaudne seos kliima ja õietolmu vahel (Birks, 1981). Järve- ja soo setetes sisalduv õietolm on üks informatiivsemaid allikaid mõistmaks Holotseenis toimunud piirkondlikke muutusi taimkattes (Marquer *et al.*, 2014).

## 2 PIIRKONNA ISELOOMUSTUS

### 2.1 Geograafiline asend

Eesti paikneb laiuskraadide 59°49'N ja 57°30'N ning pikkuskraadide 21°46'E ja 28°13'E vahel. Eesti pinnareljeef on tasane, keskmine kõrgus on 50 meetrit üle merepinna ning ligikaudu 40% Eesti pinnast jääb kõrgusvahemikku 50-100 m (Raukas & Rõuk, 1995). Kõrgeim mägi on Suur-Munamägi Eesti kaguosas 318 m kõrgusel üle merepinna.

### 2.2 Taimestik

Eesti asub parasvöötme põhjaosas, laialeheliste boreaalsete metsade põhjapiiril ning merelise ja mandrilise kliima üleminekualal. Eesti metsades on domineerivateks taimeliikideks harilik mänd (*Pinus sylvestris*), arukask (*Betula pendula*) ja harilik kuusk (*Picea abies*), vähemal määral esineb hall lepp (*Alnus incana*) ja hariliku haaba (*Populus tremula*). Vähesel määral esineb laialehelisi liike nagu harilik sarapuu (*Corylus avellana*), harilik pärn (*Tilia cordata*), harilik tamm (*Quercus robur*) ja harilik saar (*Fraxinus excelsior*) (Raudsaar *et al.*, 2014)

Hemiborealse segametsavööndi taimestik on kliimamuutustele tundlik – temperatuuri muutumine jahedamaks toob kaasa suurenenud boreaalsete puude (mänd, kask, kuusk) osakaalu, temperatuuri muutumine soojemaks aga soosib parasvöötme soojalembelisi laialehelisi puid (tamm, pärn, jalakas). Sellest tulenevalt on Eesti hea piirkond kliimamuutuste uurimiseks.



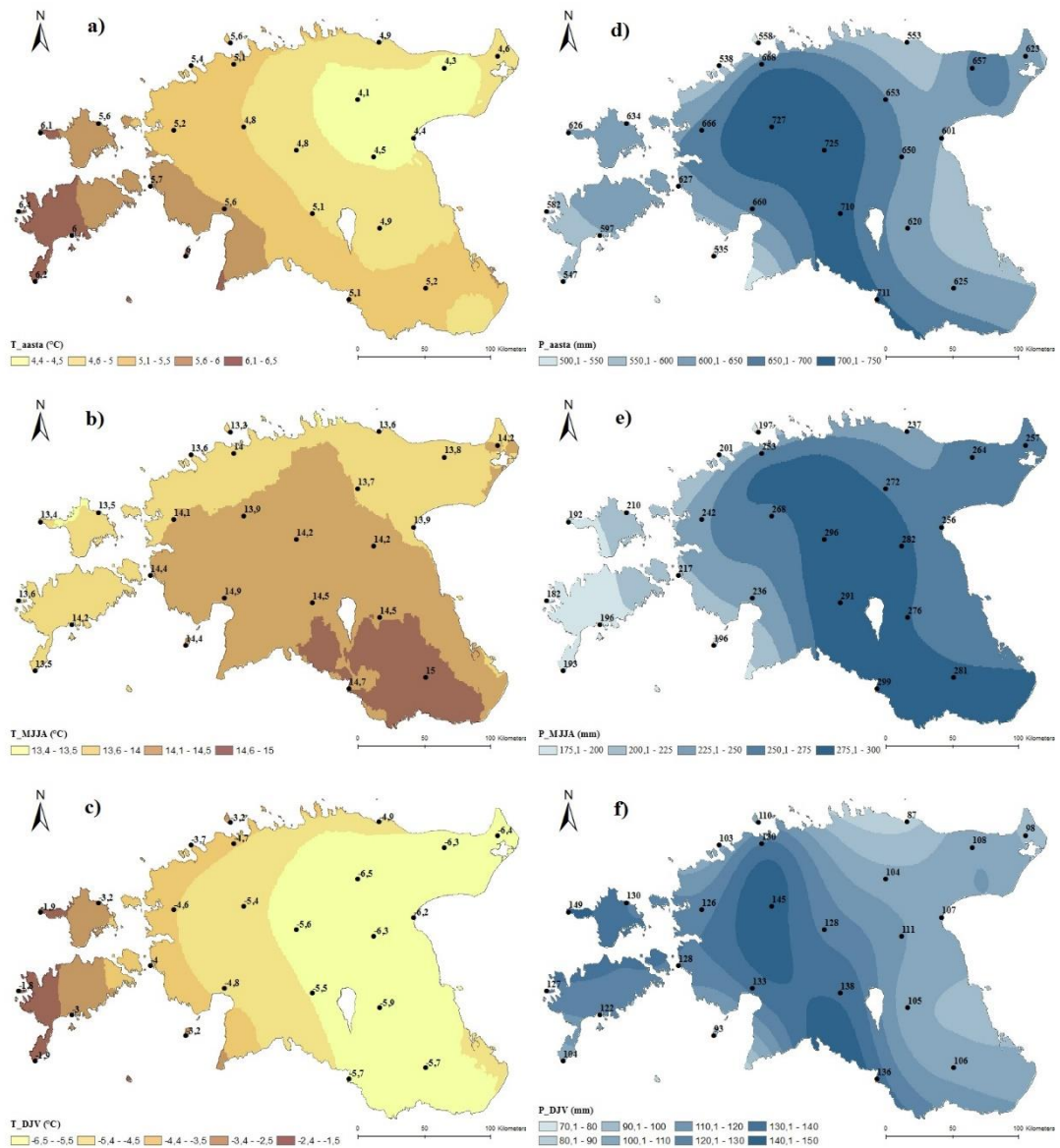
## 2.3 Kliima

Piirkonna kliimat mõjutab Atlandi ookean ning Põhja-Atlandi hoovus. Eesti ilmastikku kõige rohkem mõjutavaks makromastaapseks kliimateguriks on Atlandi ookeani põhjaosas asuv Islandi miinimum (Tarand *et al.*, 2013). Eestis on peamised aluspinna iseärasustest põhjustatud kliimaerinevused ranniku ja sisemaa vahel (Tarand *et al.*, 2013).

Eesti aasta keskmine temperatuur on meteoroloogiajaamade 1961-1990 aastate mõõtmiste põhjal 5,2 °C. Temperatuuri gradient on ida-lääne suunaline, kus jahedam on Ida-Eestis ja soojem Lääne-Eesti saartel (Joonis 1a, Lisa 1, 2). Aasta keskmine temperatuur (edaspidi  $T_{\text{aasta}}$ ) on mõõdetud kõige kõrgem Ristna vaatlusjaamas (6,4 °C) ja kõige madalam Väike-Maarja vaatlusjaamas (4,1 °C).

Soojade kuude (mai-august) keskmise temperatuuri (edaspidi  $T_{\text{MJJA}}$ ) gradient on põhja-lõuna suunaline, kus põhja pool on jahedam ja lõuna pool soojem (Joonis 1b).  $T_{\text{MJJA}}$  keskmine temperatuur üle Eesti on 14,1 °C. Temperatuuri erinevus ulatub 1,5 °C-ni. Kõige soojemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, kus Võru vaatlusjaamas on registreeritud temperatuuriks 15 °C ja kõige jahedamaks piirkonnaks on Lääne-Eesti saared ja rannikualad, olles keskmiselt 13,5 °C.

Talvekuude ehk detsember-veebruar keskmine temperatuur (edaspidi  $T_{\text{DJV}}$ ) on -4,7 °C. Keskmise temperatuuri gradient on ida-lääne suunaline, kus ida pool on jahedam ja lääne pool soojem (Joonis 1c). Selline trend iseloomustab merelise kliima mõju Eesti piirkonnale. Kõige külmema ja soojema vaatlusjaama temperatuuri erinevus on kuni 3,5 °C, registreeritud andmete madalaim talvekuude keskmine on Väike-Maarja vaatlusjaamas (-6,5 °C) ja kõrgeim Vilsandi vaatlusjaamas (-1,8 °C).



Joonis 1. Eesti meteoroloogijaamades mõõdetud aastate 1961-1990 kliimanormide kaardid Riigi Ilmateenistuse andmete põhjal: a) aasta keskmine temperatuur; b) soojade kuude mai-august keskmine temperatuur; c) talvekuude detsember-veebruar keskmine temperatuur; d) aasta keskmine sademete hulk; e) kuude mai-august keskmine sademete hulk; f) kuude detsember-veebruar keskmine sademete hulk.

Keskmiselt on sademete aastane määr (edaspidi P\_aasta) Eestis 627 mm ning tulenevalt mere kaugusest ja ka reljeefist võib P\_aasta erinevus ulatuda kuni 200 mm (Lisa 1). Kõige enam sademeid on vaatlusjaamade andmetel Kesk-Eestis Kuusikul

(727 mm) ja Tüiril (725 mm) (Joonis 1d). Sajuvaesemateks piirkondadeks on rannikualad ja Lääne-Eesti saared. Kõige vähem sademeid on registreeritud Sõrve sääre vaatlusjaamas (547 mm). Tarand *et al.* (2013) andmetel võib tähelepanu osutada asjaolule, et sademete kaardil ei joonistu välja sajurohkemad Lõuna-Eesti kõrgustike alad tulenevalt asjaolust, et Otepää ja Haanja kõrgustikel ei asu ühtegi vaatlusjaama. Sõltumatute mõõtmisandmete põhjal on nendel kõrgustikel keskmine sademete hulk üle 725 mm aastas (Tarand *et al.*, 2013).

Soojadel kuudel (mai-august) esineb kõige vähem sademeid Lääne-Eesti saartel, kus Ristna, Vilsandi, Sõrve ja Kuressaare vaatlusjaamades on registreeritud sademete hulk ~190 mm (Joonis 1e). Kõige sajurikkamateks piirkondadeks on Kesk- ja Kagu-Eesti, kus sademeid on registreeritud Türi, Viljandi, Valga ja Võru vaatlusjaamades ~290 mm.

Talvekuudel (detsember-veebruar) on kõige vähem sademeid registreeritud Kunda vaatlusjaamas (87 mm) ning kõige enam Ristna vaatlusjaamas (149 mm) (Joonis 1f). Lisaks on talvekuudel enam sademeid registreeritud Kuusiku ja Viljandi vaatlusjaamades, kus sademete hulk on vastavalt 145 mm ja 138 mm.

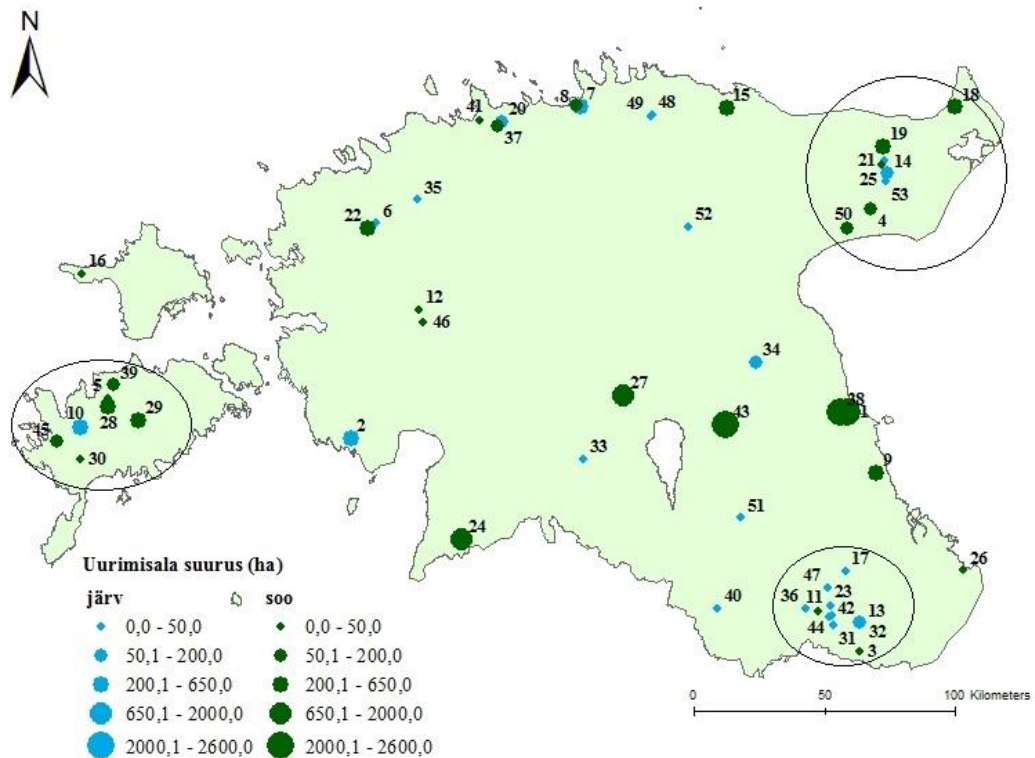
### **3 ANDMED JA METOODIKA**

#### **3.1 Eesti õietolmu andmete andmebaas**

Magistritöös kasutatav Eesti õietolmu andmete andmebaas on koostatud Triin Reitalu (Reitalu *et al.*, 2015) ja Jüri Vassiljevi poolt Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudis ning sisaldab 53st Eesti järvest ja soost tehtud õietolmuanalüüsi andmeid (Lisa 3). Erinevate õietolmuprofiilide uurimise- ja analüüsimeetodid ning ajaskaalade koostamise alused on kirjeldatud ja avaldatud erinevate autorite (näiteks Poska & Saarse, 1999, 2002, 2002a, 2006; Punning & Koff, 1997; Veski, 1998, Kimmel *et al.*, 1996) poolt lisa 3 viidatud artiklites. Andmebaasi kuulub kokku 3800 proovi, millest 291-l puuduvad ajalist kuuluvust väljendavad andmed.

Andmebaasis sisalduvate järvede ja soode pindalad ulatuvad 0,2st hektarist kuni ~2600 hektarini, seega on andmebaasi kaasatud väga erineva suurusega uurimisalad. Uuritud objektid asuvad hajutatult üle terve Eesti (Joonis 2). Regionaalsete kliimaerinevuste analüüsimiseks eristati piirkonnad, kus andmebaasi alusel oli üle 5 uurimispunkti lähestikku:

- 1) Kagu-Eesti uurimispunktid (3, 11, 13, 17, 23, 31, 32, 36, 42, 44, 47);
- 2) Kirde-Eesti uurimispunktid (4, 14, 18, 19, 21, 25, 50, 53);
- 3) Saaremaa uurimispunktid (5, 10, 28, 29, 30, 39, 45).



Joonis 2. Andmebaasis sisalduvate uurimisalade paiknemine Eestis ja nende suurus. Ringidega ümbritsetud Kirde-Eesti, Kagu-Eesti ja Saaremaa grupeeritud uurimispunktid.

Kliimarekonstruktsioonide koostamiseks ühtlustati andmebaasi õietolmu taksonoomiline nomenklatuur kliimarekonstruktsioonideks kasutatud tänapäevaste õietolmuanaloožite omaga. Nomenklatuuri aluseks on Moore *et al.* (1991) poolt koostatud õietolmumääraja. Loendatud maismaaliste taimede õietolmuterade koguhulga põhjal arvutati välja õietolmutaksonite protsendid, mida kasutati sisendina kliimarekonstrueerimiseks kasutatud programmis.

### 3.2 Kaasaegsed kliimaandmed

Töös kasutatavad kaasaegsed kliimaandmed on saadud Eesti Riigi Ilmateenistusest ning kajastavad perioodi 1961-1990 kliimanorme. Kasutati Jõgeva, Jõhvi, Kihnu, Kunda, Kuusiku, Kuressaare, Kärkla, Naissaare, Narva, Nigula, Pakri, Pärnu, Ristna,

Sõrve, Tallinna, Tõravere, Tiirikoja, Türi, Valga, Viljandi, Vilsandi, Virtsu, Väike-Maarja ja Võru meteoroloogiajaamast pärinevaid vaatlusandmeid (Joonis 3, Lisa 2).



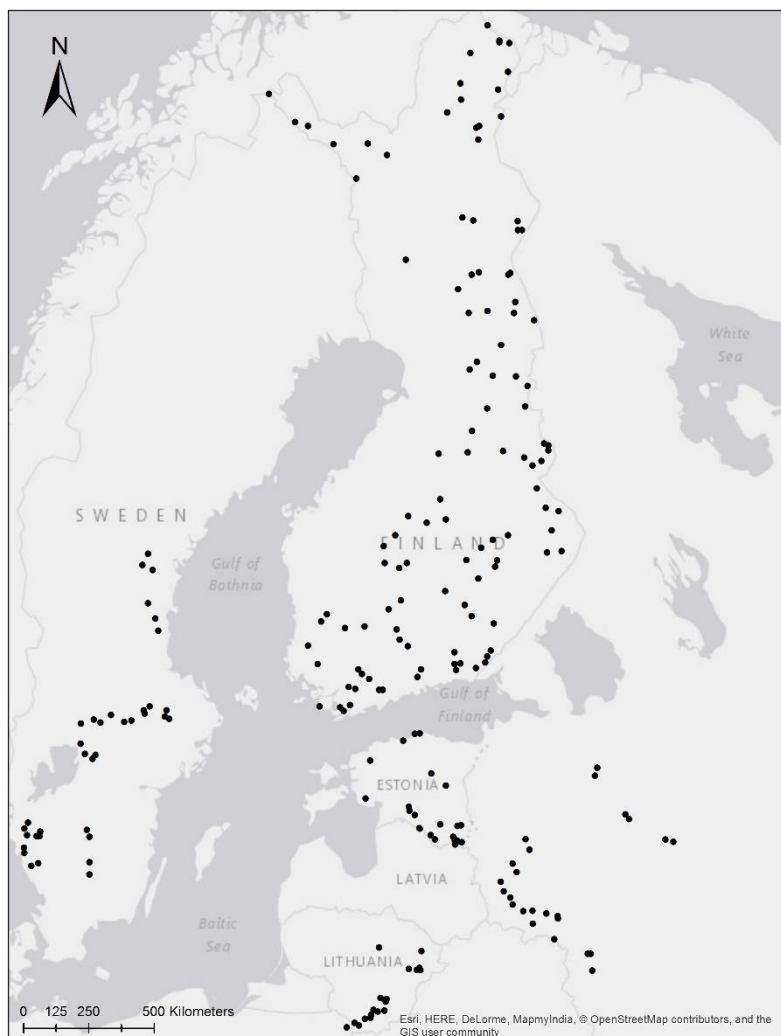
Joonis 3. Töös kasutatavate meteoroloogiajaamade asukohad.

Nigula, Tõravere ja Väike-Maarja andmereal ei kata kogu kliimanormide arvutamiseks kasutatud ajaperioodi (Lisa 1). Kasutatud kliimaandmed sisaldavad temperatuuri (°C) ja sademete (mm) kuu kliimanorme.

### 3.3 Tänapäevaste õietolmu ja kliima analoogide andmebaas

Õietolmuspektri- ja kliimatingimuste vaheliste seoste määratlemiseks kasutatud andmestik põhineb Põhja-Euroopa kalibreerimise andmebaasil (inglise keeles *North European Calibration Set*, NECS) (Salonen *et al.*, 2012). Kalibreerimiseks kasutatav andmestik koosneb 216st tänapäevasest setteproovist, mis on võetud väikese kuni keskmise suurusega järvede pindmistest setetest Eestist, Soomest, Rootsist, Venemaalt

ja Leedust (Joonis 4) (Salonen *et al.*, 2012). Kõik andmestiku kuuluvad setteproovid on seotud tänapäevaste kliimaparameetritega (T\_aasta, T\_MJJA, T\_DJV, P\_aasta). Kalibreerimise andmebaasis kajastatud aasta keskmine temperatuur on vahemikus  $-4,3-7,3$  °C. Soojade kuude (mai-august) temperatuuri vahemik andmebaasi kuuluvatel uurimisaladel on  $6,2-15,6$  °C, talvekuude (detsember-veebruar) temperatuuri vahemik on  $-15,8-0,9$  °C ning sademete hulk jääb vahemikku 407-955 mm.

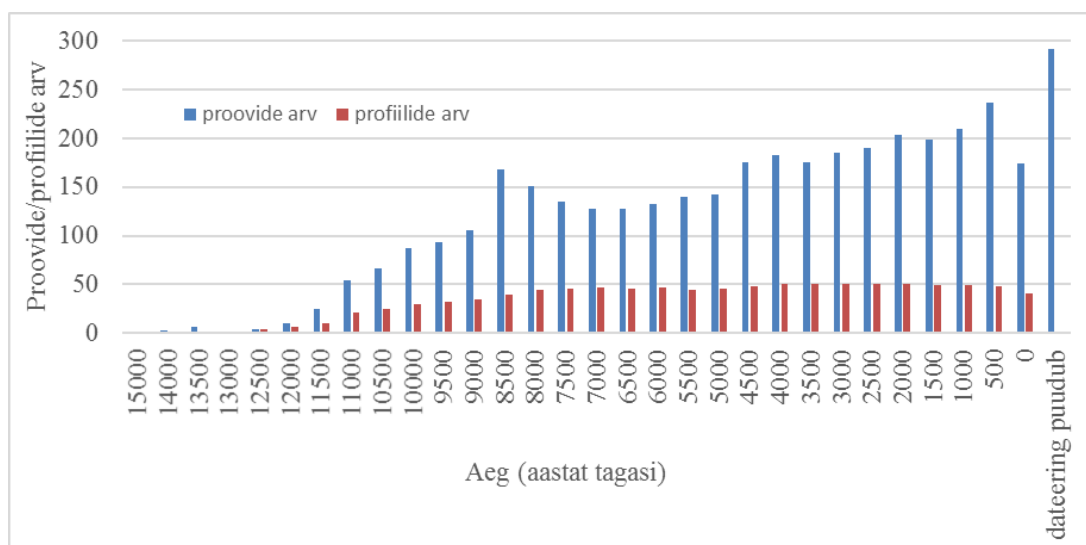


Joonis 4. Kalibreerimise andmebaasi kuuluvate järvede asukohad (Salonen *et al.*, 2012 järgi)

Kõik andmebaasis olevad õietolmuproovid on kogutud ja analüüsitud standardiseeritud meetodil, mida on kirjeldatud Seppä *et al.* (2004a) poolt. Andmebaas sisaldab endas 164 taimeliigi õietolmu andmete protsentuaalset sisaldust setteproovides.

### 3.4 Õietolmu andmete periodiseering

Töö tulemuste selgemaks interpreteerimiseks jagati 15 500 aastane andmebaasis kajastatud periood 31ks 500 aastaseks ajavahemikuks. Kõigi töös kasutatud õietolmuproovide vanused ümardati vastavasse 500 aastasesse ajavahemikku. Selleks, et hinnata kasutatavate andmete hulka ja jaotust ajas, arvutati proovide ja erinevate profiilide arv iga väljaeraldatud 500 aastase perioodi kohta (Joonis 5).



Joonis 5. Eesti õietolmu andmebaasis kajastatud proovide arvu jaotus ning profiilide arv iga 500 a ajavahemiku kohta.

Rekonstrueeritud kliimaparameetrite statistiliste trendide määramiseks ning ruumiliste interpolatsioonide teostamiseks sobivateks loeti ajavahemik 0-10 000 aastat tagasi.

Selleks, et hinnata kliimaparameetrite muutumist ruumis, koostati rekonstrueeritud kliimaparameetrite kaardid. Kaardistamiseks valiti kuus Holotseeni ajaperioodi:



- 1) 0 (0-500 a.t.);
- 2) 2000 (2000-2500 a.t.);
- 3) 4000 (4000-4500 a.t.);
- 4) 6000 (6000-6500 a.t.);
- 5) 8000 (8000-8500 a.t.);
- 6) 10 000 (10 000-10 500 a.t.).

### 3.5 Kliimaparameetrite rekonstrueerimine

Õietolmu- ja kliimaandmete üleminekuseos arvutati kasutades kaalutud keskmise osa-vähimruutude (WA-PLS) meetodit (inglise keeles *weighted averaging-partial least squares*) (ter Braak & Juggins, 1993).

WA-PLS meetod on enim kasutatav ülekande funktsiooni kalibreerimise meetod (Birks *et al.*, 2010). Võrreldes teiste levinud kalibreerimise meetoditega, mida kasutatakse organism-keskkond üleminekuseoste funktsioonide loomisel, on WA-PLS meetod näidanud testides vähemalt sama häid või paremaid tulemusi (Birks, 1995).

WA-PLS meetodit rakendati programmis C2 v1.5.0 (Juggins, 2007), mis on mõeldud paleoökoloogiliste sisendandmete analüüsimiseks ja visualiseerimiseks. Käesolevas töös kasutati kliimaparameetrite väärtuste rekonstrueerimiseks kahe komponendiga WA-PLS mudelit ning *leave-one-out* ristvalideerimist.

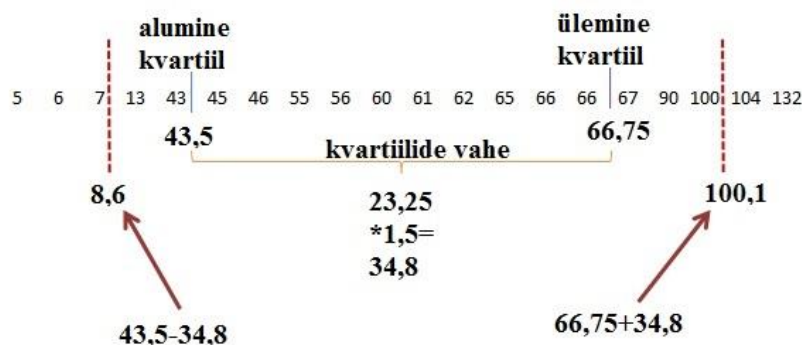
Sisendandmetena kasutati 216st Eestist, Soomest, Rootsist, Venemaalt ja Leedust võetud järve pindmiste setete proovidest koostatud tänapäevaste õietolmuproovide andmebaasi, tänapäevaseid kliima andmeid ja Eesti õietolmu andmebaasi andmeid.

Väljundandmetena saadi rekonstrueeritud kliimaparameetrite (T\_aasta, T\_MJJA, T\_DJV ja P\_aasta) väärtused andmepunktides.

### 3.6 Võõrväärtuste tuvastamine

Suuremahuliste andmebaasiga töötades võime eeldada, et andmekogumikus leidub väärtusi, mis langevad teistest väärtustest oluliselt kõrvale. Selliseid väärtusi nimetatakse võõrväärtusteks (inglise keeles *outliers*).

Rekonstrueeritud kliimaparameetrite andmebaasis esinevate võimalike võõrväärtuste tuvastamiseks kasutati Tukey meetodit (Tukey, 1977), mis põhineb variatsioonirea jagamisel kvartiilideks ehk neljaks ligikaudu võrdseks osaks. Võõrväärtuste tuvastamiseks leiti iga väljaeraldatud ajaperioodi jaoks eraldi T\_aasta, T\_MJJV, T\_DJV ja P\_aasta väärtuste alumine ja ülemine kvartiil. Võõrväärtusteks loeti neid väärtusi, mis on ülemisest ja alumisest kvartiilist enam kui 1,5 kordse kvartiilide vahe võrra vastavalt suuremad ja väiksemad väärtused (Joonis 6). Kui piiridest välja langemine toimus kasvõi ühe rekonstrueeritud kliimaparameetri (T\_aasta, T\_MJJV, T\_DJV ja P\_aasta) puhul, loeti uurimispunkti vastav ajalõik võõrväärtuseks.



Joonis 6. Tukey meetodil põhinev ülemise ja alumise kvartiili leidmine ning nende abil võõrväärtuste tuvastamine.

Kirde-Eestis, Kagu-Eestis ja Saaremaal toodi välja iga kliimaparameetri (T\_aasta, T\_MJJA, T\_DJV, P\_aasta) korral erinevate ajalõikude rekonstrueeritud väärtusega andmepunktid, mis on loetud võõrväärtusteks. Lisaks kanti graafikutele kaks trendijoont, mis iseloomustavad rekonstrueeritud kliimaparameetrite väärtuste

keskmise muutumist võõrväärtuste sisse jätmise korral ning juhul kui võõrväärtused on andmetest eemaldatud.

Mineviku kliimaparameetrite kaartide koostamisel andmete väärtuste suure kõikumise tõttu osutus vajalikuks interpoleerimiseks valitud ajalõikude andmete puhul võõrväärtuste määramise kordamine. Selleks kasutati uuesti Tukey meetodit.

### **3.7 Kliimakaartide koostamine**

Kaartide koostamiseks kasutati ESRI ArcGIS Desktop v10.4 programmi laiendust Spatial Analyst. Töö käigus rekonstrueeritud kliimaparameetrite andmebaasi eripäraks on punktandmete väga ebahütlase tihedusega asetuse ruumis ning uurimisala spetsiifilised erinevused rekonstrueeritud väärtustes. Sellised andmed on interpoleerimiseks keerulised, kuna andmepunktid asuvad üksteisest juhuslikul kaugusel, väärtuste omavaheline seos on väike ning lähestikku võivad asuda punktid, kus väärtuste erinevus võib olla väga suur.

Mineviku kliimaparameetrite parima interpoleerimismeetodi leidmiseks jaoks katsetati kahte ArcGIS paketti kuuluvat ebahütlase asetusega punktandmete interpoleerimise meetodit:

- 1) Splain (inglise keeles *Spline*);
- 2) Pöördkaugusega kaalutud (inglise keeles *Inverse Distance Weighted, IDW*).

Splain on osaliselt polünoomiaalne pind. Splaini interpolatsiooni meetodi käigus arvutatakse väärtused kasutades matemaatilist funktsiooni, mis minimeerib üldise pinna reljeefi. Selle tulemusena saadakse sujuv pind, mis läbib täpselt sisendpunkte (How spline..., 2016). Splain meetodi tulemusi saab muuta kaalu parameetri ja punktide arvu parameetri väärtustega. Splain meetodi rakendamisel kasutati kaalu parameetri määramisel vaike väärtust 0,1 ja punktide arvu parameetri vaike väärtust 12.

IDW meetodi puhul on suurem mõju sisendpunktide väärtustel, mis asuvad lähemal uuele punktile, kui neil, mis asuvad loodavast punktist kaugemal (Burrough & McDonnell, 1998). IDW meetod põhineb eeldusel, et lähemal olevate punktide väärtused on üksteisele sarnasemad ning arvutamisel võetakse arvesse kogu andmestiku asemel vaid lähedal olevate punktide väärtused (How IDW..., 2006). IDW täpsuse määrajaks on mõjujõu (inglise keeles *power*) parameeter, mis annab võimaluse kontrollida olemasolevate väärtuste mõju uutele väärtustele olenevalt nende kaugusest (How IDW..., 2006). Mõjujõu väärtus on positiivne reaalarv ning ArcGIS Spatial Analyst poolt pakutav vaike väärtus on kaks. Ripley (1981) on oma uuringus leidnud, et ennustatavad tulemused on täpsemad, kui mõjujõu parameeter on kõrgem ja pakub soovituslikuks väärtuseks nelja. Seepärast kasutati rekonstrueeritud väärtuste ajalõikude kaartide koostamisel käesolevas töös mõjujõu väärtuse parameetrina nelja.

Lisaks kasutati juhul, kui andmed pärinesid samast uurimisbasseinist või selle vahetust (<500 m kaugusel) lähedusest (uurimispunktid nr. 13 ja nr. 32 ning nr. 48 ja nr. 49), kaartide koostamisel vaid ühe uurimispunkti andmeid. Kaartide koostamiseks valiti suurema ajalise ulatuse ja/või pindalaga uurimispunktid nr.13 ja nr. 49.

### **3.8 Rekonstruktsioonide valideerimine**

Rekonstrueeritud kliimaandmete usaldusväärsuse kontrolliks koostati viimase 50 aasta õietolmu andmetega, ajavahemikku AD 1950-2000 jäävate õietolmuproovide põhjal, kliimarekonstruktsiooni kaardid. Koostatud kaarte võrreldi Riigi Ilmateenistuse poolt saadud kliimanormide andmete põhjal koostatud kaartidega. Võrdluse teostamiseks kasutati ArcGIS programmi laienduse Spatial Analyst tööriista Minus, kus meteoroloogiajaamade vaatlusandmete põhjal interpoleeritud kaardist lahutati AD 1950-2000 uurimispunktide rekonstrueeritud väärtustel põhinev interpoleeritud kaart. Selle tulemusena saadi kahe kaardi interpoleeritud väärtusi erinevusi kajastav kaart.

## 4 TULEMUSED

### 4.1 Võõrväärtuste esinemine andmetes

Mineviku kliimaparameetrite rekonstrueeritud väärtuste hulgas esines selgelt eristuvaid võõrväärtuseid. Näiteks 0 aastat tagasi aasta keskmise temperatuuri andmepunktide seas esinev kõige madalam rekonstrueeritud väärtus on  $-10,9$  °C ja talvekuude (detsember-veebruar) keskmise temperatuuri andmepunktide seas on miinimumväärtus  $-23,4$  °C. Võõrväärtuste esinemise iseloomustamiseks koostati tabel, mis annab ülevaate kliimaparameetrite interpoleerimise jaoks valitud ajaperioodide andmete miinimum-, maksimum- ja mediaanväärtustest kõigi andmete korral ja juhul kui kõikidest andmetest on kõrvale jäetud võõrväärtused (Tabel 1). Võõrväärtuste kaasamine või kõrvale jätmine ei mõjutanud oluliselt mediaan väärtust, küll aga oli oluline äärmuslike väärtuste hulga ja amplituudi vähendamiseks ruumilisteks interpolatsioonideks kasutatud andmetes.

Andmebaasis esines uurimispunkte, mille väärtused langesid sageli väljapoole seatud piire (Joonis 7). Selliseid, enam kui 1/3 juhtudel võõrväärtusi andnud, uurimispunkte (1, 5, 8, 15, 16, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 37, 39, 45) rekonstruktsioonide tegemisel ei kaasatud. Juhul, kui võõrväärtus tuvastati vaid üksikute ajaperioodide jaoks, eemaldati vaid vastava uurimispunktis võõrväärtuse andnud ajaperiood.

Tabel 1. Kaartide koostamiseks valitud ajaperioodide miinimum-, maksimum- ja mediaanväärtused kõikide andmete korral (alaindeksiga 0) ja peale võõrväärtuste on eemaldamist (ilma alaindeksita).

<b>T_aasta (°C)</b>	0	2000	4000	6000	8000	10000
Min <sub>0</sub>	-10.9	-4.2	4.5	3.2	0.7	0.3
Min	0.9	2.5	4.9	7.3	0.7	0.3
Max <sub>0</sub>	13.0	14.7	17.8	16.9	15.2	10.6
Max	6.1	7.9	14.3	16.9	15.2	8.3
Mediaan <sub>0</sub>	4.8	5.9	9.7	11.7	7.4	3.1
Mediaan	4.8	5.8	10.0	12.2	8.7	3.2

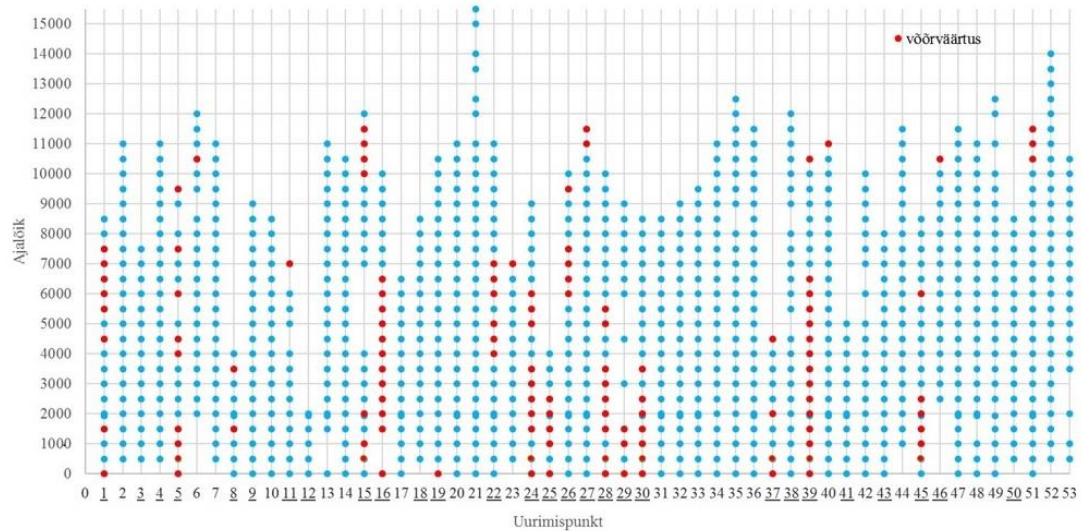
<b>T MJJA (°C)</b>	0	2000	4000	6000	8000	10000
Min <sub>0</sub>	-0.2	5.9	13.4	9.4	10.4	9.0
Min	11.3	12.5	14.0	16.1	10.9	9.0
Max <sub>0</sub>	10.8	17.8	20.3	14.4	21.3	17.9
Max	15.2	16.2	20.3	21.2	21.3	16.1
Mediaan <sub>0</sub>	13.8	14.8	16.7	18.6	16.1	12.7
Mediaan	14.0	14.9	17.7	19.0	16.9	12.7

<b>T DJV (°C)</b>	0	2000	4000	6000	8000	10000
Min <sub>0</sub>	-23.4	-16.0	-6.4	-6.2	-10.8	-11.7
Min	-10.9	-9.1	-6.4	-2.9	-10.8	-10.8
Max <sub>0</sub>	12.1	13.1	17.8	14.1	8.3	2.0
Max	-4.1	-1.5	7.1	12.0	8.3	-0.4
Mediaan <sub>0</sub>	-5.7	-4.2	0.9	3.4	-2.0	-7.5
Mediaan	-5.8	-4.6	0.8	3.8	-1.1	-7.6

<b>P_aasta (mm)</b>	0	2000	4000	6000	8000	10000
Min <sub>0</sub>	174	380	652	638	551	537
Min	531	597	652	722	551	543
Max <sub>0</sub>	1609	1534	1655	1562	1038	870
Max	731	853	964	1090	1038	863
Mediaan <sub>0</sub>	678	706	835	905	796	650
Mediaan	674	699	812	901	827	645

Enim esines võõrväärtusi soosetteid kajastavates uurimispunktides (Joonis 7). Vaid 5% võõrväärtustest esines järvesetteid kajastavates uurimispunktides. Soode andmeid, kus alla 1/3 rekonstrueeritud väärtustest langes väljaspoole võõrväärtuste

tuvastamiseks seatud piire, kasutati rekonstruktsioonide tegemiseks. Vanematele kui 12 500 aastat perioodidele ei ole märgitud võõrväärtusi, kuna õietolmuprofiilide arv, mis kajastavad vanemaid perioode, on alla 5.



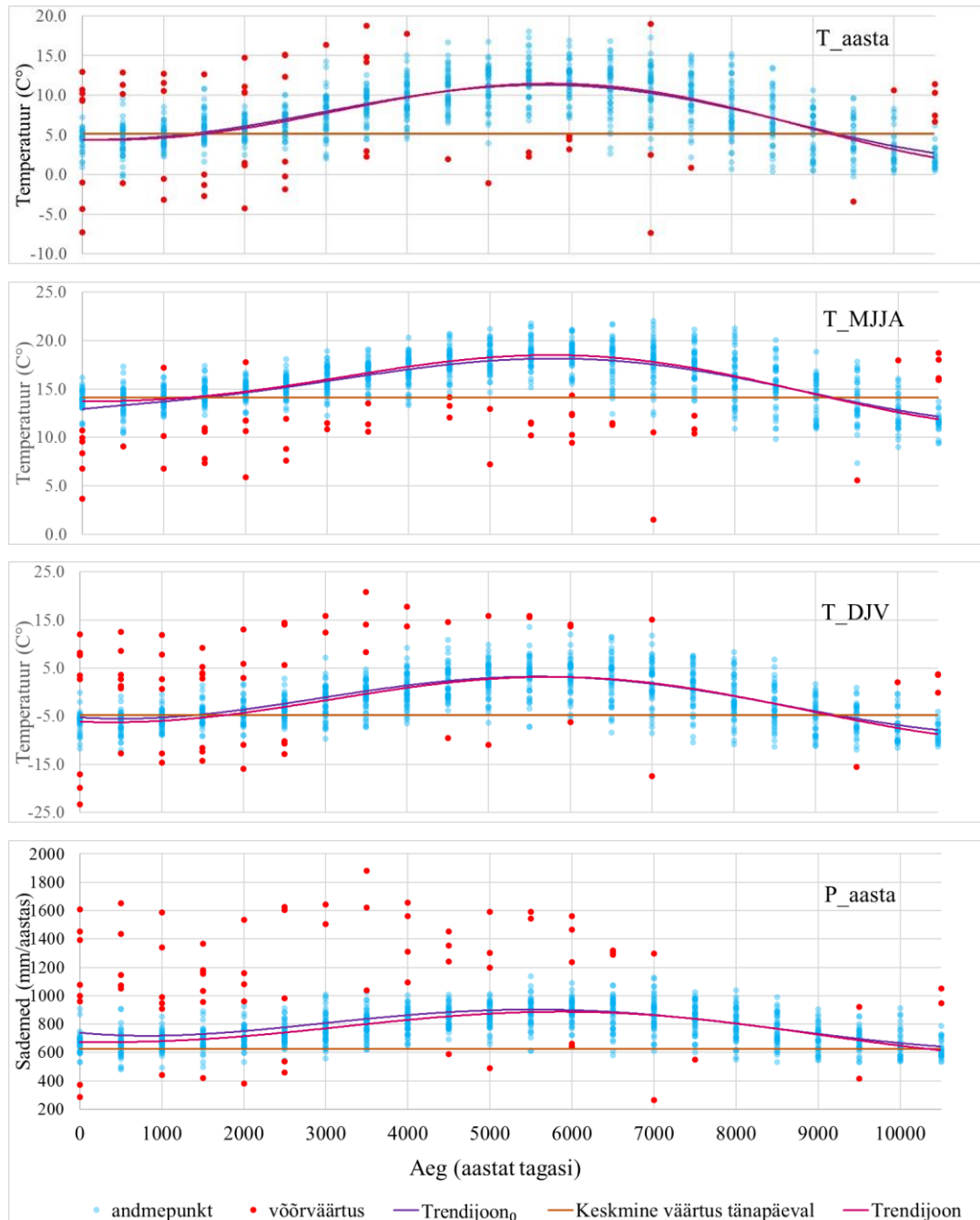
Joonis 7. Võõrväärtuste esinemine iga uurimispunkti konkreetses ajalõigus. Graafiku x-teljel allajoonituna uurimispunktid, mis kajastavad soosetteid.

## 4.2 Eesti kliimarekonstruktsioon

Kõikidel koostatud graafikutel (Joonised 8-11) märgib sinine punkt ajalõigus esinevat andmepunkti; punane punkt võõrväärtust; oranž joon tänapäevast meteoroloogiajaamades mõõdetud Eesti keskmist kliimaparametri väärtust; lilla trendijoon kliimaparametri muutumist ajas arvestades kõiki andmepunkte; roosa trendijoon kliimaparametri muutumist ajas võõrväärtusi mitte arvestades.

Kogu Eesti andmepunktide seas esineb võõrväärtusi terve 10 000 aastase perioodi jooksul, välja arvatud perioodil 8000-9000 aastat tagasi, kus ei ole tuvastatud ühtegi võõrväärtust (Joonis 8). Aasta keskmise temperatuuri rekonstrueeritud väärtuste korral esineb võõrväärtusi, mis asuvad graafikul koondunud keskmistest väärtustest nii madalamal kui ka kõrgemal. Trendijooone paiknemine võõrväärtuste kaasamisel ja

välja jätmisel ei muutu oluliselt ning erinevus tänapäevasest meteoroloogiajaamades mõõdetud keskmisest temperatuurist jääb mõlemal juhul alla 0,5 °C.



Joonis 8. Terve Eesti uurimispunktide andmete põhjal kliimaparameetrite muutumine trendijoonena aja jooksul arvestades kõiki andmepunkte (alaindeksiga 0) ning võõrväärtusi mitte arvestades (ilma alaindeksita).



Soojade kuude rekonstrueeritud väärtuste seas esinevad võõrväärtused on valdavas osas sarnase väärtusega koondunud punktidest jahedamad. Trendijoon, mis ei võta arvesse võõrväärtuseid, erineb 0 aastat tagasi tänapäevastest meteoroloogiajaamade vaatlusandmetest alla 0,5 °C.

Talvekuude rekonstrueeritud väärtuste korral on võõrväärtused nii madalamad kui ka kõrgemad väärtused neist, mis on sarnase väärtuse ümber koondunud. Trendijooone paiknemine 0 aastat tagasi erineb tänapäevaste vaatlusandmete põhjal leitud keskmisest väärtusest vähem kui 2 °C.

Aasta sademete hulga andmepunktide võõrväärtused on peamiselt oluliselt sajurikkamad väärtused ning mõned ületavad rohkem kui kahekordselt koondunud punktide keskmist väärtust. Võõrväärtuste eemaldamisel on trendijooone erinevus 0 aastat tagasi, võrreldes tänapäevaste meteoroloogiajaamades mõõdetud andmetega, <100 mm aastas.

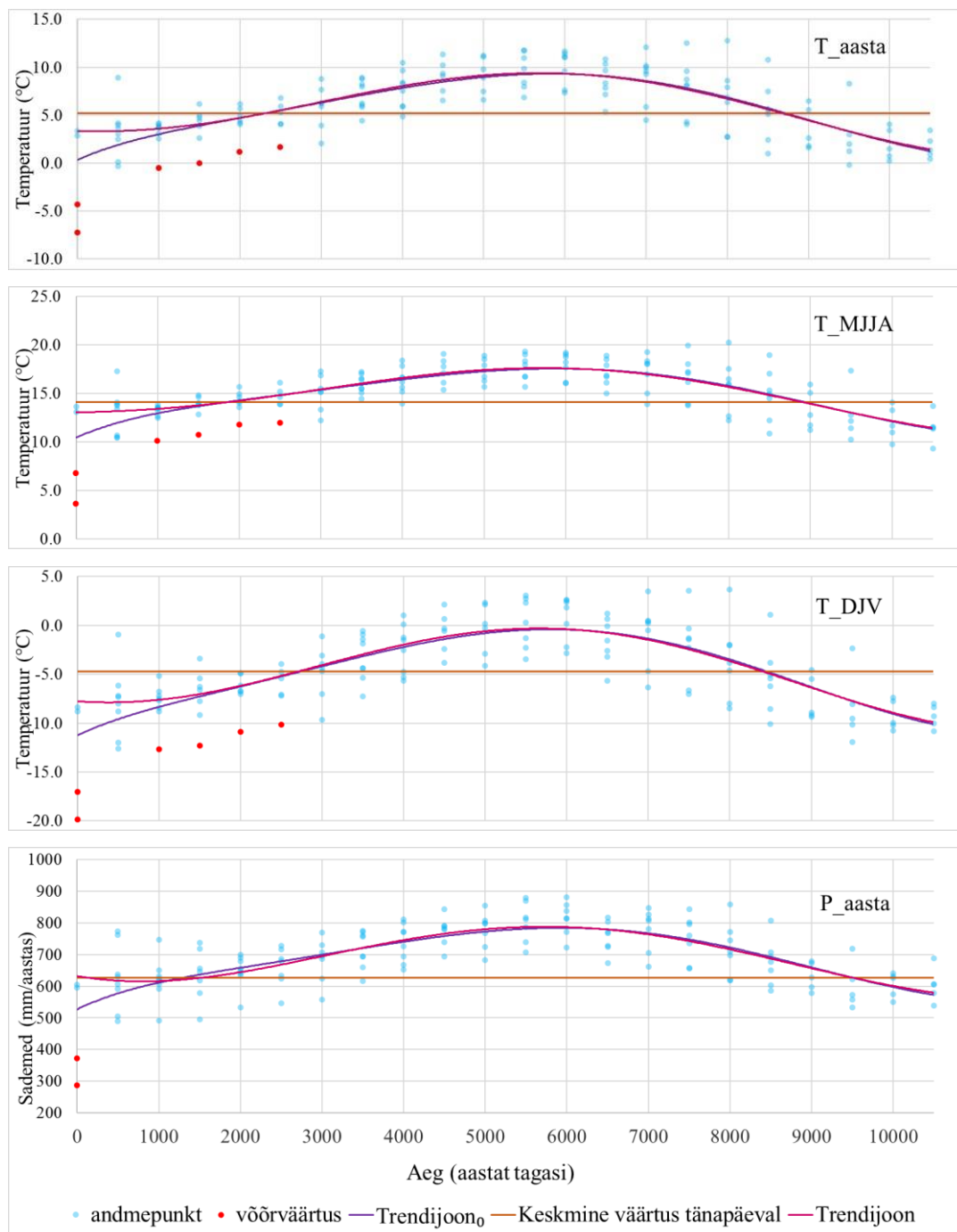
### **4.3 Piirkondlikud kliimarekonstruktsioonid**

Piirkonnad, kus uurimispunktide hulk võimaldas iseseisvate regionaalsete rekonstruktsioonide loomist, uuriti eraldi.

#### **4.3.1 Kirde-Eesti**

Kirde-Eesti andmerida ulatub ajas tagasi 0-10 000 aastat tagasi (Joonis 9). Aasta, soojade kuude ja talvekuude keskmise temperatuuri puhul esinevad perioodil 0-2500 aastat tagasi ainult üksikud võõrväärtused. Valdavas osas jäävad kõik rekonstrueeritud väärtused lubatud piiride vahemikku. Rekonstrueeritud väärtused, mis on loetud võõrväärtusteks, erinevad aasta keskmise temperatuuri ja soojade kuude temperatuuri korral teistest väärtustest isegi kahekordselt. Sellest tulenevalt on trendijoon, mis võtab arvesse kõiki andmepunkte, nihkunud ajaperioodil 0 aastat tagasi tänapäevastest vaatlusandmete keskmisest madalamale. Võõrväärtusi arvestamata on trendijooone erinevus temperatuuride korral alla 2 °C võrreldes tänapäevaste

meteoroloogiajaamades mõõdetud andmetega.



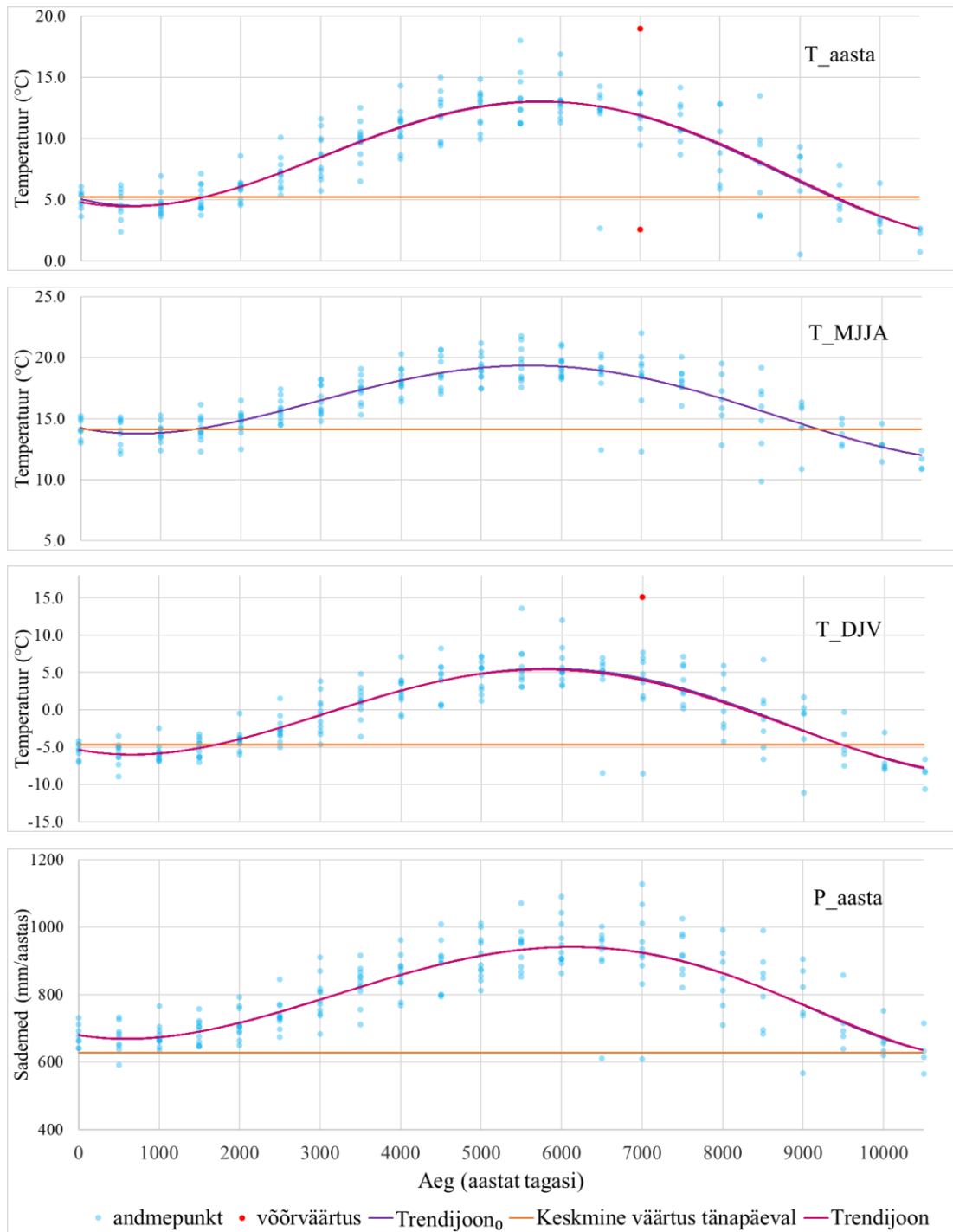
Joonis 9. Kirde-Eesti uurimispunktide põhjal rekonstrueeritud kliimaparameetrite muutumine aja jooksul arvestades kõiki andmepunkte (alaindeksiga 0) ning võõrväärtusi mitte arvestades (ilma alaindeksita).

### **4.3.2 Kagu-Eesti**

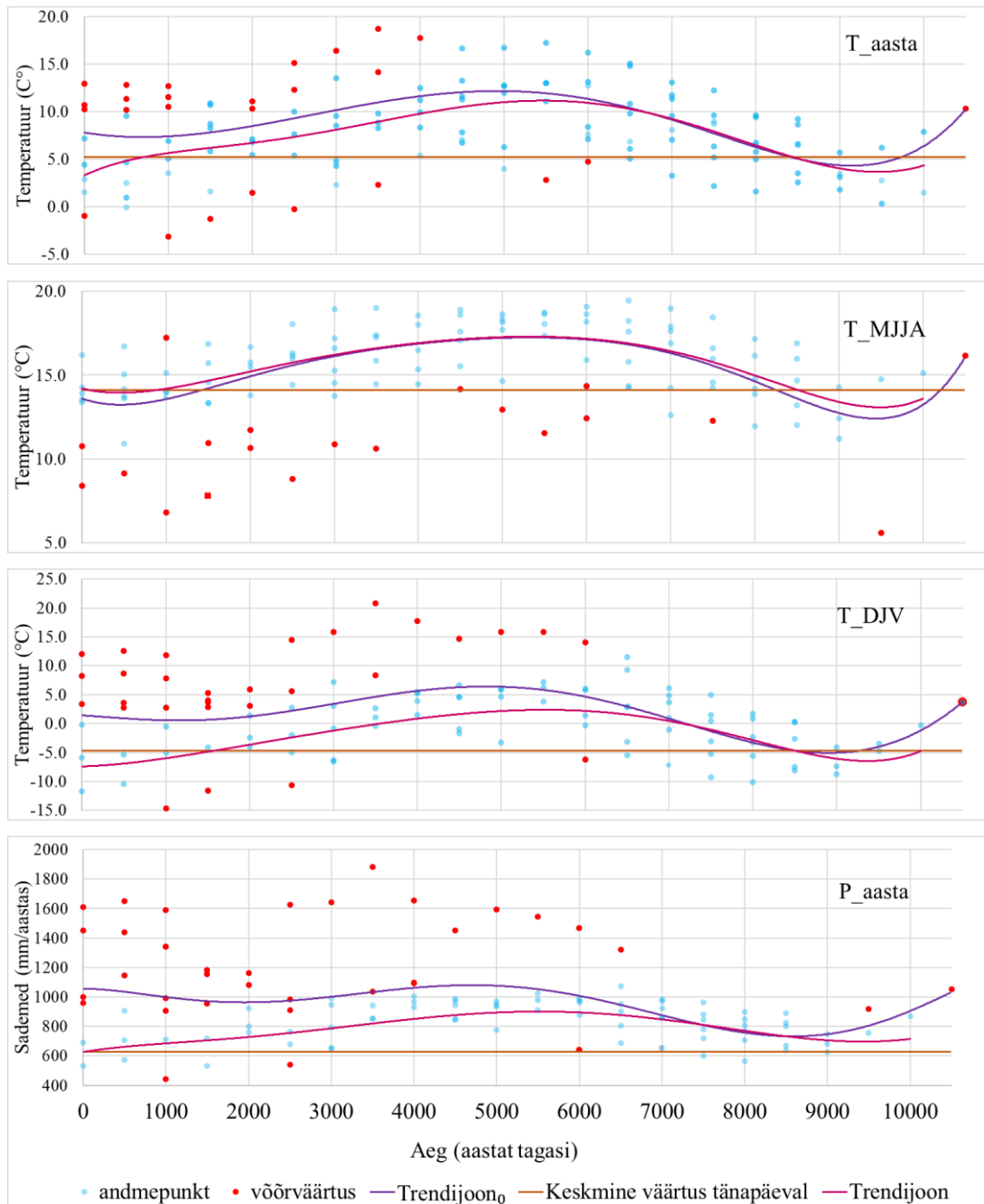
Kagu-Eesti andmerida ulatub 0-10 000 aastat tagasi (Joonis 10). Kagu-Eesti piirkonnas paiknevate uurimispunktide andmete seas esinevad üksikud võõrväärtused aasta keskmise temperatuuri, soojade kuude temperatuuri ja talvekuude temperatuuri korral. Soojade kuude ja aasta sademete hulga andmete seas võõrväärtusi ei esine. Temperatuuride trendijooned kattuvad tänapäevaste, meteoroloogijaamade vaatlusandmetel põhinevate, keskmiste väärtustega. Rekonstruktsiooni erinevus tänapäevaste vaatlusandmetega tekib ainult sademete korral, kus rekonstrueeritud väärtuste alusel on Kagu-Eesti keskmine sademete väärtus 0 aastat tagasi ~680 mm.

### **4.3.3 Saaremaa**

Saaremaa andmerida ulatub ajas tagasi kuni 10 000 aastat (Joonis 11). Kõikide kliimaparameetrite korral rekonstrueeritud väärtused on väga hajutatud ning ei koonu, erinevalt teistest piirkondadest, kindla keskmise väärtuse ümber. Taoline andmete jaotus põhjustab piirkonnas väga palju võõrväärtusi. Aasta keskmise temperatuuri ja talvekuude temperatuuri puhul on rekonstrueeritud väärtuste amplituud igal ajaperioodil 10-15 °C. Rekonstrueeritud aasta sademete hulk on tänapäevasel perioodil ligi kaks korda kõrgem kui meteoroloogijaamades mõõdetud keskmine väärtus. Võõrväärtuste mitte arvestamise korral langeb trendijoon tänapäevastele meteoroloogijaamades mõõdetud andmetega kokku.



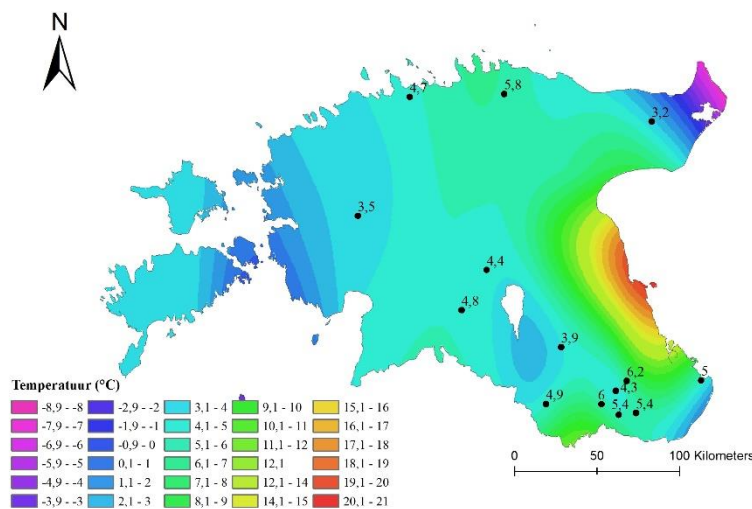
Joonis 10. Kagu-Eesti uurimispunktide andmetel põhinev kliimaparametri muutumine trendijoonena aja jooksul arvestades kõiki andmepunkte (alaindeksiga 0) ning võõrväärtusi mitte arvestades (ilma alaindeksita).



Joonis 11. Saaremaa uurimispunktide andmetel põhinev kliimaparaametri muutumine trendijoonena aja jooksul arvestades kõiki andmepunkte (alaindeksiga 0) ning võõrväärtusi mitte arvestades (ilma alaindeksita).

#### 4.4 Kaartide koostamiseks sobiva interpolatsioonimeetodi valik

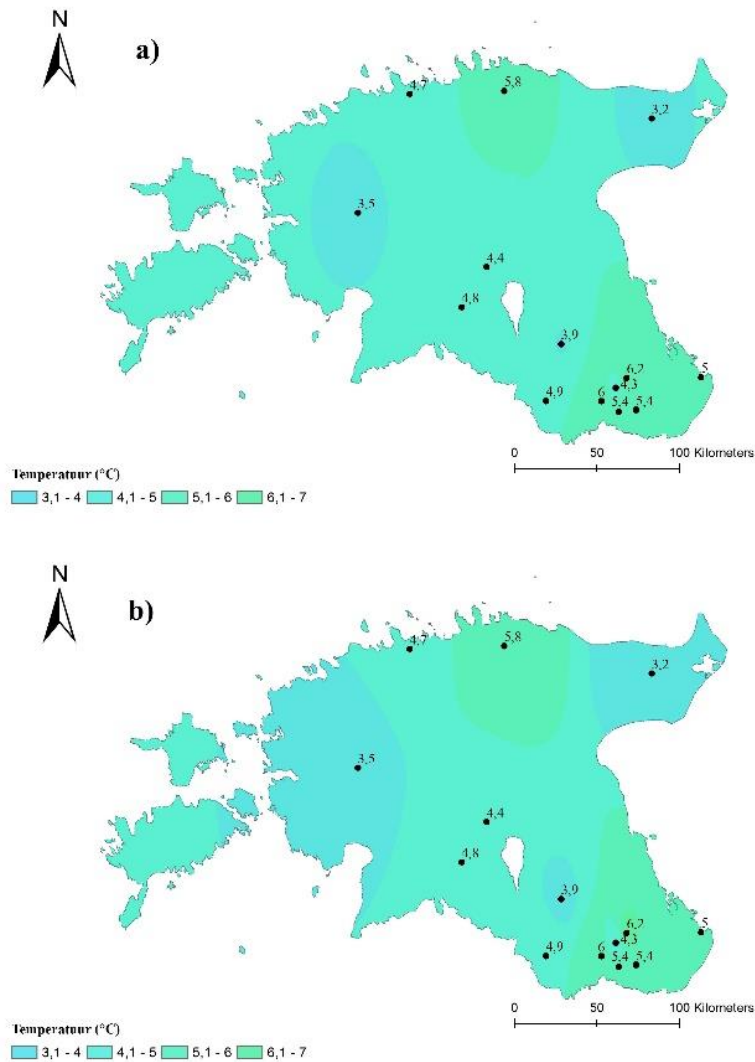
Kahe interpoleerimismeetodiga koostatud mineviku kliimaparameetrite kaartide omavahelise võrdlemise tulemusena osutus splain meetod mitterahuldavaks. Splain meetodi korral olid arvutatud tulemused kaardi äärealadel selgelt liiga suured või väikesed (Joonis 12). Selline meetodi poolt ennustatavate väärtuste suure amplituudi kõikumine võis tuleneda nii üksteistele lähedal asuvate punktide väärtuste suurest erinevusest kui ka uurimisalade vähesusest mõnedes piirkondades.



Joonis 12. AD 1950-2000 aasta keskmise temperatuuri andmete põhjal interpoleeritud kaart kasutades splain meetodit.

IDW meetodi puhul katsetati kahe erineva mõjujõu parameetri väärtusega. Esimesel juhul (Joonis 13a) jäeti parameetri väärtuseks vaikimisi 2 ja teisel juhul määrati parameetri väärtuseks 4 (Joonis 13b). Rahuldavamaks osutusid IDW tulemused, kui kasutati mõjujõu parameetri väärtust neli.

Tukey meetodi teistkordne rakendamine vähendas oluliselt üksikute erindite põhjal vaatluspunktide ümber tekkivate kontsentriliste ringide (inglise keeles *bullseye*) hulka. Sellised iseärasused on põhjustatud madalast uurimisalade vahelisest andmete korrelatsioonist kohtades, kus andmepunktid esinevad väga hajutatult.



Joonis 13. AD 1950-2000 aasta keskmise temperatuuri andmete põhjal interpoleeritud kaart kasutades IDW meetodit. a) mõjujõu väärtuseks 2; b) mõjujõu väärtuseks 4.

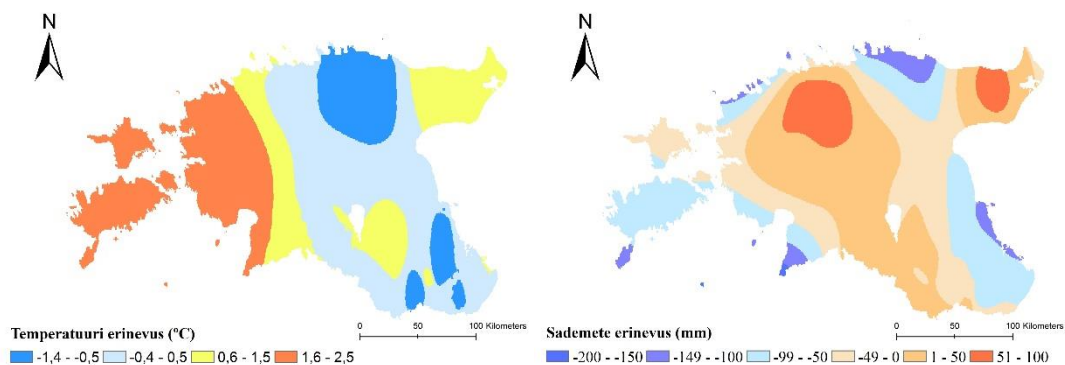
#### 4.5 Tänapäevaste vaatlusandmetel põhinevate kaartide võrdlus rekonstrueeritutega

Koostati aastate 1961-1990 meteoroloogiajaamade vaatlusandmetele põhineva T\_aasta ja P\_aasta kaardi erinevus rekonstrueeritud temperatuuridega AD 1950-2000 T\_aasta ja P\_aasta kaardist (Joonis 14). Erinevused tänapäevase vaatlusandmete ja AD

1950-2000 rekonstrueeritud T\_aasta väärtuste puhul on suuremad Saaremaal, Lääne-Eestis ja Kirde-Eestis ning väiksemad piirkondades Kesk-Eestis ja Lõuna-Eestis.

T\_aasta on 1961-1990 meteoroloogiajaamades mõõdetud väärtuste alusel rekonstrueeritud väärtustest ~1,6-2,5 °C soojem Saaremaal ja Lääne-Eestis ning kuni 1,5 °C jahedam Pandivere kõrgustiku ümbritseval alal ning Kagu-Eestis.

P\_aasta korral esinevad suuremad erinevused vaatlusandmete ja rekonstrueeritud väärtuste vahel Kesk-Eestis, Kirde-Eestis ja rannikualadel. Meteoroloogiajaamade mõõtmistele põhineval interpoleeritud kaardil on Kesk- ja Kirde-Eestis 50-100 mm enam sademeid ning rannikualadel kuni 200 mm vähem sademeid, kui rekonstrueeritud kaartidel.



Joonis 14. Tänapäevastel vaatlusandmetel põhinevast kaardist lahutatud rekonstrueeritud väärtustega kaart. T\_aasta ja P\_aasta erinevus 1961-1990 meteoroloogiajaamades mõõdetud andmete alusel ja AD 1950-2000 rekonstrueeritud väärtuste alusel interpoleeritud kaardi vahel.

#### 4.6 Rekonstrueeritud mineviku kliimaparameetrite kaardid

Alljärgnevalt on ära toodud rekonstrueeritud mineviku kliimaparameetrite kaardid (Joonised 15-18) kliimarekonstruktsioonideks valitud ajaperioodidel. Täpsustavad kaardid uurimispunktide väärtustega asuvad lisades 4-7.



#### 4.6.1 Aasta keskmised temperatuurid

Rekonstrueeritud temperatuuride alusel on perioodil 0-500 aastat tagasi keskmine temperatuur 4,6 °C. Kõige jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti, kus keskmine temperatuur on ~3,3 °C ja kõige soojemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, kus keskmine temperatuur on ~5,1 °C (Joonis 15). Uurimispunktide keskmise temperatuuri varieeruvus jääb alla 2 °C.

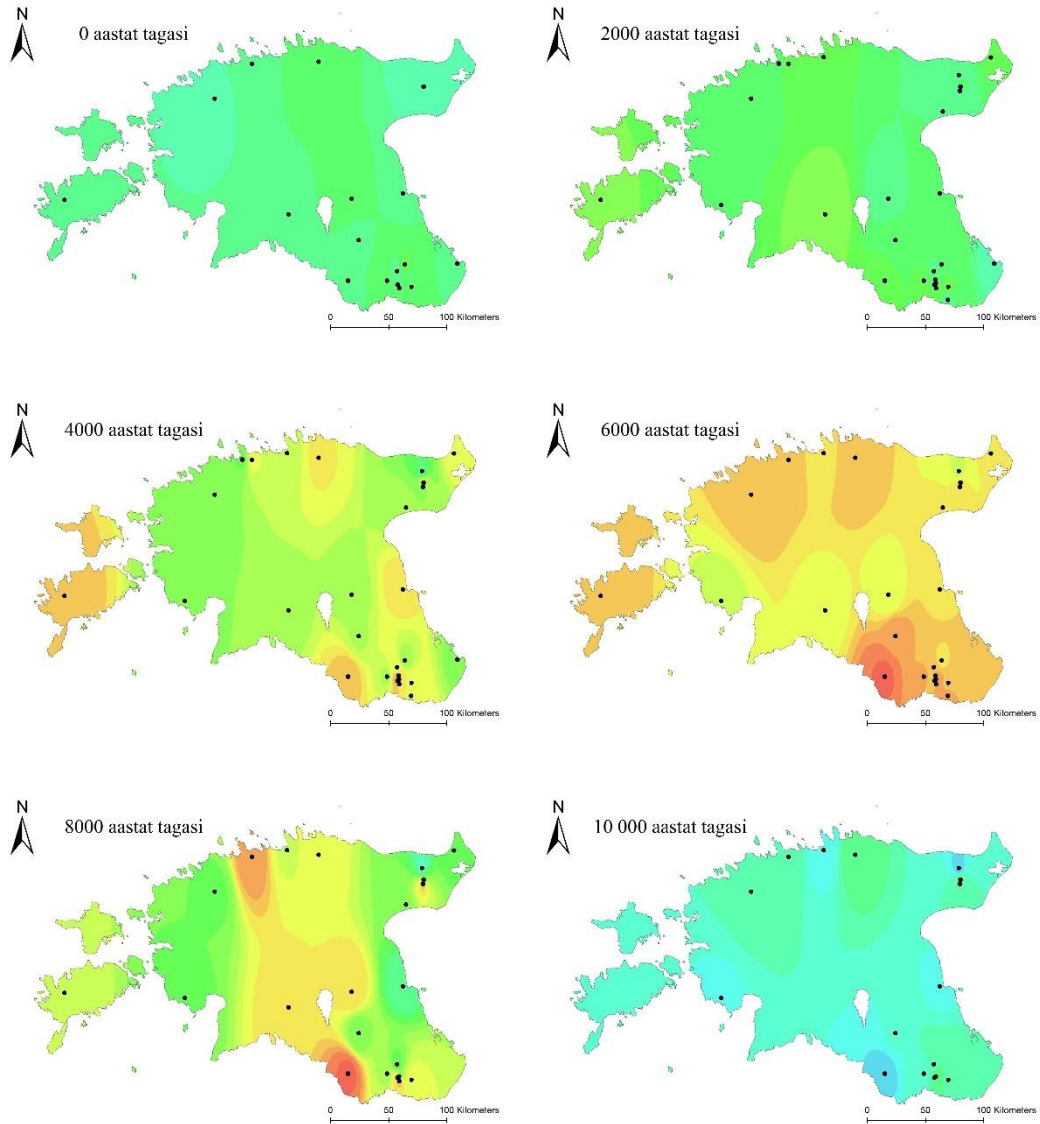
Eesti keskmine temperatuur on 2000 aastat tagasi 5,7 °C. Temperatuuri gradiendi võib lugeda ida-lääne suunaliseks, kus ida pool on jahedam ja lääne pool soojem. Kõige jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti, kus keskmine temperatuur on 5,0 °C . Uurimispunktides nr. 10 ja nr. 33 on keskmine temperatuur üle 7 °C. Kagu-Eesti piirkonna uurimispunktide keskmine temperatuur on 5,7 °C.

Temperatuur 4000 aastat tagasi on Eestis keskmiselt 9,6 °C. Soojemaid uurimispunkte esineb nii Saaremaal (nr. 10), Kagu-Eestis (nr. 42) kui ka Põhja-Eestis (nr. 49). Jahedamate ja soojemate uurimispunktide temperatuuri vahe erineb ~10 °C. Keskmisest jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti (7,9 °C) ja mandriosa läänepool (7,3 °C). Keskmisest soojemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, kus keskmine temperatuur on 10,9 °C.

Rekonstrueeritud temperatuuride alusel on keskmine temperatuur 6000 aastat tagasi kõige soojem ehk 12,1 °C. Piirkonniti on kõige kõrgem keskmine temperatuur Kagu-Eestis (13,2 °C), kus kõige soojema rekonstrueeritud väärtusega on uurimispunkt nr. 40 (15,1 °C). Kõige jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti (9,9 °C) ning kõige jahedama rekonstrueeritud väärtusega uurimispunkt on nr. 19 (9,6 °C).

Rekonstrueeritud temperatuuride alusel on 8000 aastat tagasi keskmine temperatuur üle Eesti 8,8 °C. Kagu-Eesti uurimispunktide keskmine temperatuur on 9,5 °C. Keskmisest märkimisväärselt soojem on uurimispunkt nr. 40 (15,2 °C) . Jahedamateks aladeks on Kirde-Eesti (6,8 °C), kus asuva uurimispunkti nr. 19 rekonstrueeritud temperatuuriks on 2,7 °C.

Rekonstrueeritud ajalõikudest kõige madalam keskmine temperatuur on 10 000 aastat tagasi, kus keskmine temperatuur on 3,3 °C. Keskmisest jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti (2,0 °C) ja natuke soojemaks Kagu-Eesti (3,7 °C).



**Temperatuur (°C)**



Joonis 15. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud aasta keskmise temperatuurid ( $T_{\text{aasta}}$ ) 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.

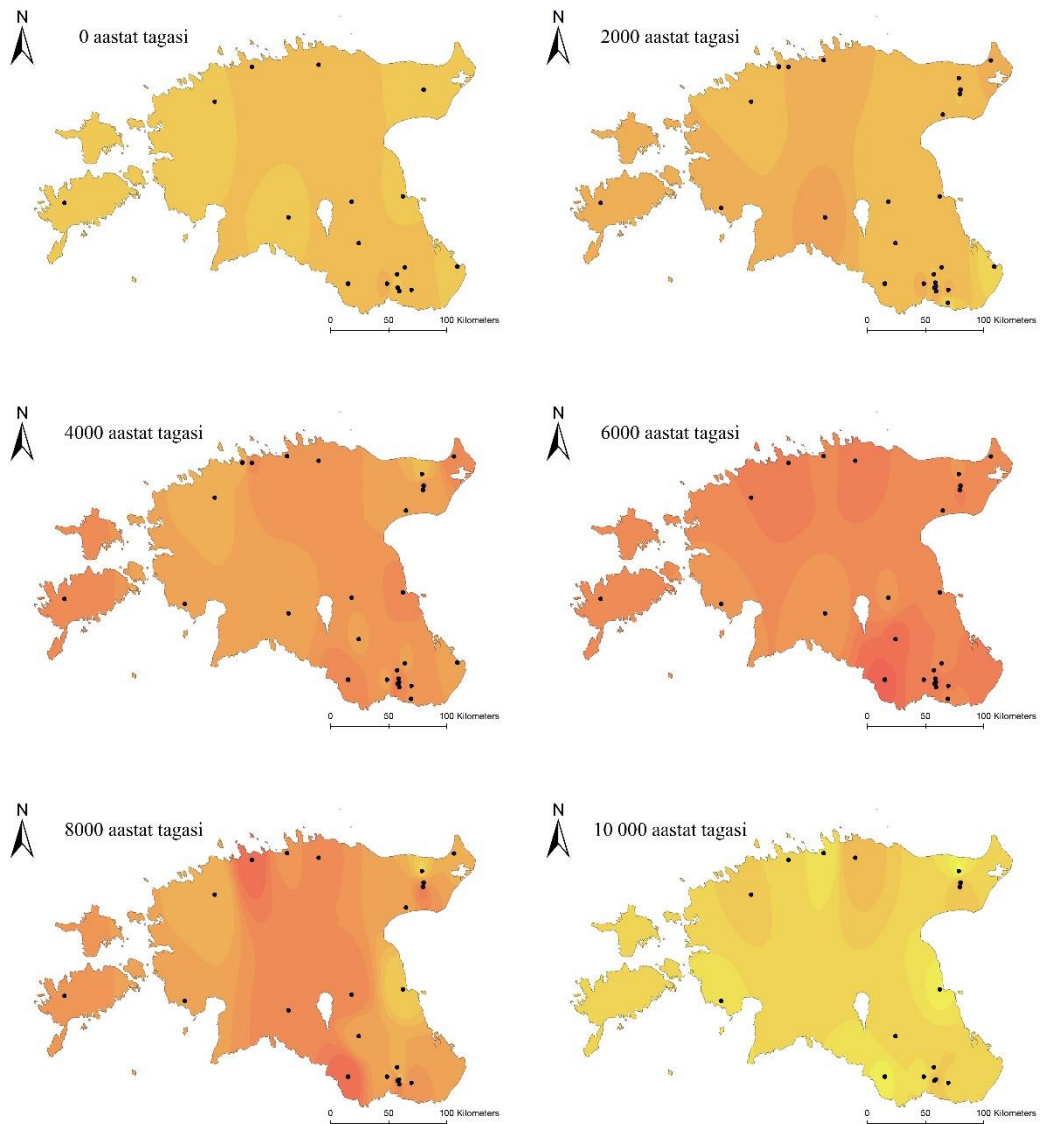
#### 4.6.2 Mai-august keskmised temperatuurid

Soojade kuude (mai-august) keskmine rekonstrueeritud temperatuur 0 aastat tagasi on 14,0 °C. Temperatuuri väärtuseid, mis jäävad alla 14,0 °C esineb nii Saaremaal, Kirde-Eestis kui ka Kagu-Eestis, seega ei esine kindlat keskmisest jahedamat piirkonda (Joonis 16). Temperatuur uurimispunktide rekonstrueeritud väärtustel vahel varieerub üle Eesti ligikaudu 2 °C, olles kõrgeim Kagu-Eestis asuvas uurimispunktis nr. 36 (15,2 °C).

Keskmine temperatuur 2000 aastat tagasi on 14,7 °C. Interpoleeritud kaardil võib välja lugeda temperatuuri ida-lääne suunalise gradiendi, kus ida pool jahedam ja lääne pool soojem. Kirde- ja Kagu-Eesti uurimispunktide temperatuuri keskmine väärtus on 14,6 °C ning Saaremaal 15,5 °C. Kõige madalam temperatuur on uurimispunktis nr. 3 (12,5 °C) ja kõige kõrgem temperatuur on uurimispunktis nr. 33 (16,2 °C).

4000 aastat tagasi keskmine temperatuur on 17,4 °C. Piirkondade keskmiste temperatuuride alusel on kõige jahedamaks Loode-Eesti (15,6 °C) ja kõige soojemaks Kagu-Eesti (18,1 °C). Kõige jahedamas uurimispunktis (nr. 19) on kuude mai-august rekonstrueeritud temperatuuriks 14 °C ja kõige soojem (20,3 °C) on uurimispunktis nr. 42.

Kõige soojem keskmine temperatuur üle Eesti on rekonstrueeritud 6000 aastat tagasi (18,9 °C). Piirkondadest kõige soojemaks on Kagu-Eesti, kus uurimispunktide keskmine temperatuur on 19,5 °C, lisaks asuvad selle piirkonna lähedal kaks uurimispunkti (nr. 40 ja 51) väärtustega üle 20 °C. Kõige jahedamate rekonstrueeritud temperatuuridega on uurimispunktid (nr. 2, 19, 33 43) , kus rekonstrueeritud väärtus on alla 18°C. Seega jääb kuude mai-august temperatuuride erinevus uurimispunktide vahel alla 3 °C.



### Temperatuur (°C)



Joonis 16. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud kuude mai-august ( $T_{MJJA}$ ) keskmised temperatuurid 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.

Keskmine temperatuur on 8000 aastat tagasi 16,7 °C. Kõige jahedama ja soojema uurimispunkti temperatuuri vahe on ligi 8 °C. Kõige jahedam uurimispunkt (nr. 19) asub Kirde-Eestis, kus on rekonstrueeritud temperatuuriks 12,7 °C. Temperatuuri

väärtusi üle 20 °C esineb uurimispunktides nr. 20, 53, 40, mis asuvad erinevates Eesti paikades.

Rekonstrueeritud kaartide alusel on kõige madalam soojade kuude keskmine temperatuur 10 000 aastat tagasi (12,6 °C). Rekonstrueeritud kaardi alusel on temperatuur üle Eesti jaotunud ühtlaselt, esinevad vaid üksikud uurimispunktid keskmisest 2 °C jahedamate (nr. 19) või soojemate (nr. 44) väärtustega.

#### **4.6.3 Detsember-veebruar keskmised temperatuurid**

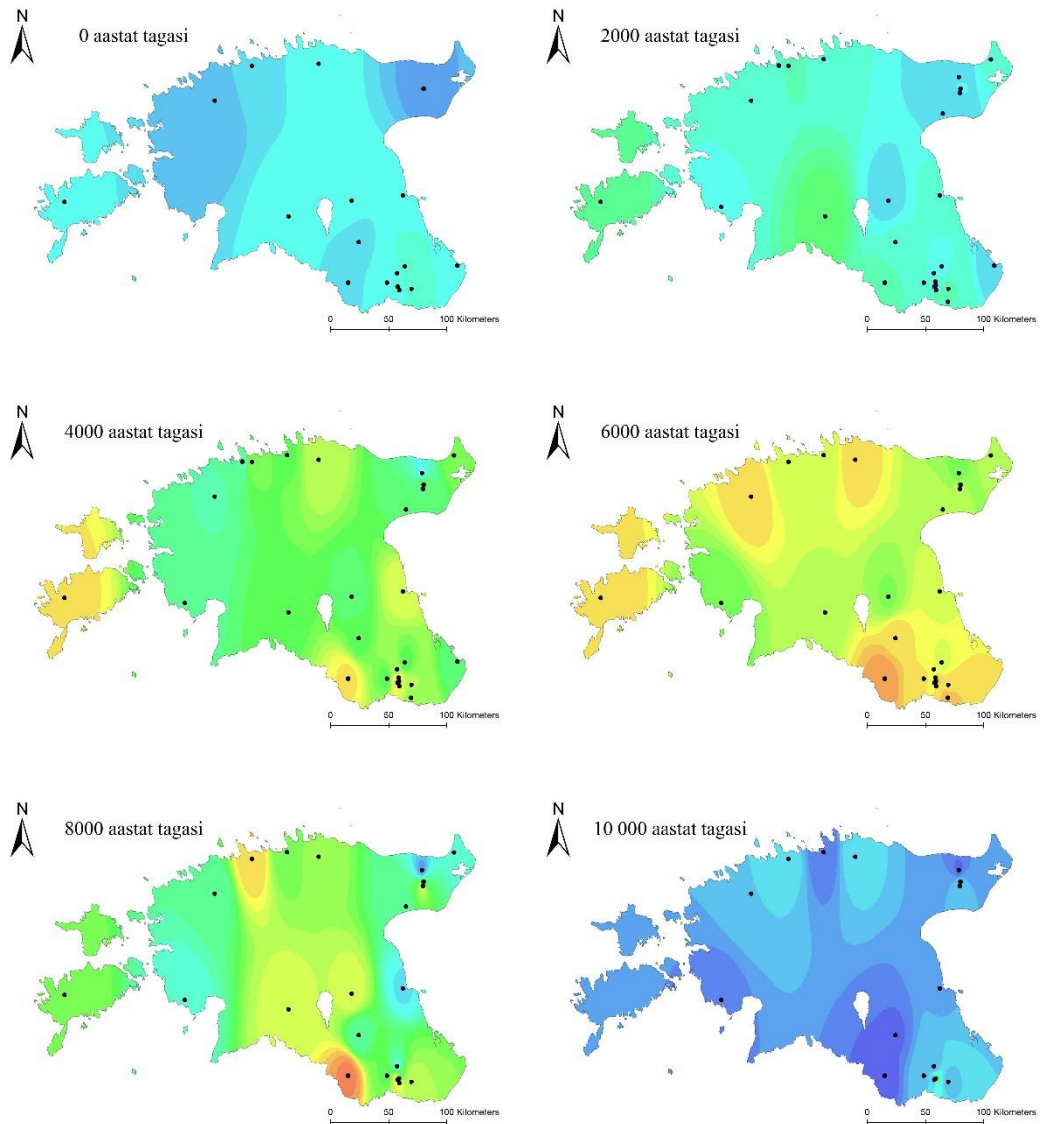
Kuude detsember-veebruar keskmine temperatuur 0 aastat tagasi on üle Eesti –6,2 °C. Kõige külmemaks piirkonnaks on Kirde-Eesti, kus uurimispunktide keskmine temperatuur on –8,6 °C (Joonis 17). Kõige soojemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, kus uurimispunktide keskmine temperatuur on –5,3 °C.

Keskmine rekonstrueeritud temperatuur 2000 aastat tagasi on –4,6 °C. Temperatuuri gradiendi võib lugeda kirde-edela suunaliseks, kus Kirde-Eestis on jahedam ja liikudes edela poole Kesk-Eestis on soojem. Kirde-Eesti keskmine temperatuur on –5,9 °C. Kõige soojem rekonstrueeritud temperatuur on uurimispunktis nr. 33 (–1,6 °C).

Eesti keskmine temperatuur 4000 aastat tagasi on 0,6 °C. Kõige jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti (–2,1 °C), Loode-Eesti (–3,1 °C), kõige soojemaks piirkonnaks Kagu-Eesti (2,4 °C) ja Saaremaa (5,4 °C). Temperatuuride erinevus kõige jahedama ja soojema uurimispunkti vahel kuni 12 °C. Kõige soojem on temperatuur Saaremaal asuvas uurimispunktis nr. 10 (5,4 °C) ja kõige jahedam Kirde-Eestis asuvas uurimispunktis nr. 19 (–5,7 °C)

Talvekuude kõige kõrgem rekonstrueeritud keskmine temperatuur on 6000 aastat tagasi (4,0 °C). Kõige soojema ja jahedama uurimispunkti väärtuste vahe ulatub kuni 8 °C, olles jahedaim uurimispunktides nr. 2 (0,2 °C) ning nr. 19 (0,2 °C) ja kõige soojem uurimispunktis nr. 44 (8,3 °C). Kõige jahedamaks piirkonnaks on Kirde-Eesti,

kus uurimispunktide keskmine temperatuur on 0,7 °C ja kõige soojemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, keskmise temperatuuriga 5,8 °C.



### Temperatuur (°C)



Joonis 17. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud kuude detsember-veebruar (T\_DJV) keskmised temperatuurid 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.

8000 aastat tagasi on Eesti keskmine temperatuur  $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kõige jahedama ja soojema uurimispunkti temperatuuride vahe on ligikaudu  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kõige soojem rekonstrueeritud temperatuur on uurimispunktis nr. 40 ( $8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja kõige jahedam Kirde-Eestis asuvas uurimispunktis nr. 19 ( $-8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Kirde-Eesti uurimispunktide keskmine temperatuur on  $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja Kagu-Eesti keskmine temperatuur on  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

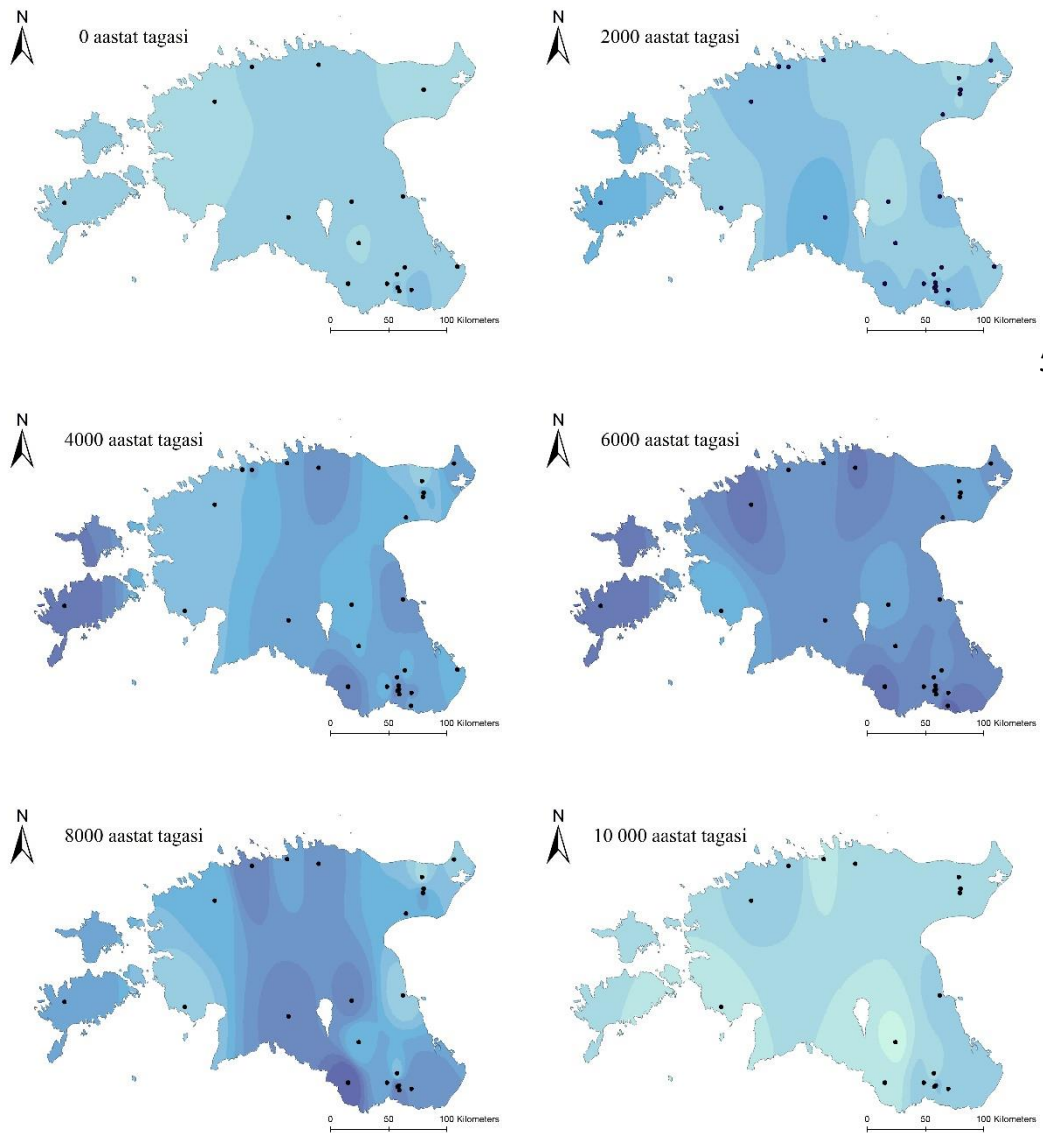
Kõige jahedam rekonstrueeritud keskmine temperatuur on 10 000 aastat tagasi ( $-7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Temperatuure madalamad kui  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  esineb uurimispunktides nr. 19, 40 ja 51. Rekonstrueeritud kaardil on teistest mõnevõrra soojemaks uurimispunktiks Kagu-Eestis asuv punkt nr. 44 ( $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### **4.6.4 Aasta keskmised sademed**

Rekonstrueeritud sademete keskmine hulk 0 aastat tagasi on 666 mm. Kõige sajurikkamaks piirkonnaks on Kagu-Eesti (Joonis 18). Sademete hulga erinevus uurimispunktide vahel ulatub kuni 130 mm. Kõige enam sademeid on rekonstruktsiooni alusel Kagu-Eesti uurimispunktis nr. 42 (731 mm) ning kõige vähem sademeid Kirde-Eesti uurimispunktis nr. 14 (605 mm).

Keskmine sademete hulk 2000 aastat tagasi on 699 mm. Piirkonniti kõige vähem sademeid esineb Kirde-Eestis (664 mm) ja kõige enam sademeid Saaremaal (762 mm). Rekonstrueeritud kaardil sademete erinevus kõige sajurikkama ja -vaesema uurimispunkti vahel on ligikaudu 100 mm. Kõige enam on sademeid uurimispunktiks nr. 33 (774 mm) ja kõige vähem uurimispunktis nr. 19 (636 mm).

Keskmine sademete hulk 4000 aastat tagasi on 819 mm. Kõige enam on sademeid Saaremaal asuvas uurimispunktis nr. 10 (964 mm). Sajuvaesemaks piirkonnaks on Kirde-Eesti, kus uurimispunktide keskmine sademete hulk on 747 mm. Kõige vähem sademeid on rekonstrueeritud väärtuste alusel uurimispunktis nr. 19 (652 mm). Kagu-Eesti piirkonna uurimispunktide keskmine sademete hulk on 854 mm.



5

**Sademed (mm/aastas)**



Joonis 18. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud keskmine sademete (P\_aasta) hulk 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.



Rekonstrueeritud väärtuste alusel on 6000 aastat tagasi kõige suuremad keskmiste sademete väärtused. Aasta keskmine sademete hulk üle Eesti on 899 mm. Erinevus kõige sajurikkama ja -vaesema uurimispunkti vahel on ligikaudu 250 mm. Sajurikkamad uurimispunktid (nr. 3, 44), kus sademete hulk ületab 1000 mm, asuvad Kagu-Eestis. Sajuvaesemaks piirkonnaks on Kirde-Eesti, kus uurimispunktide keskmine sademete hulk on 814 mm, kuid kõige vähem sademeid on uurimispunktis nr. 2 (783 mm).

Keskmine sademete hulk 8000 aastat tagasi on 812 mm. Sademete erinevus võib uurimispunktide vahel ulatuda kuni 400 mm. Üle 1000 mm sademeid esineb uurimispunktis nr. 40. Sajuvaesemaks on Kirde-Eesti, kus uurimispunktide keskmine sademete hulk on 747 mm. Kõige väiksema rekonstrueeritud sademete hulgaga on uurimispunkt nr. 19 (621 mm).

Rekonstrueeritud andmete alusel on Eestis keskmiselt kõige vähem sademeid 10 000 aastat tagasi (659 mm). Kõige sajurikkamaks piirkonnaks on Kagu-Eesti, kus uurimispunktide keskmine sademete hulk on 664 mm. Enim sademeid on rekonstrueeritud uurimispunktis nr. 42. Kõige vähem sademeid on uurimispunktis nr. 51 (543 mm).

## 5 ARUTELU

### 5.1 Õietolmupõhiste kliimarekonstruktsioonide metoodilised iseärasused ja piiravad tegurid

Käesoleva töö eesmärgiks oli Eesti õietolmu andmete alusel rekonstrueerida kliimaparametrite käiku viimase 10 000 aasta jooksul. Töö käigus püüti rekonstrueerida mineviku aasta keskmiseid, soojade kuude (mai-august), talvekuude (detsember-veebruar) temperatuure ning aasta keskmist sademete hulka.

Dahl (1998) alusel on Põhja-Euroopa taimede arengut limiteerivateks faktoriteks aasta keskmine ja soojade kuude temperatuur. Jahedas ja niiskes kliimas on perioodil, kus temperatuur on liiga madal soojalembeliste taimede optimaalseks arenguks, niiskus siiski piisavalt tagatud (Antonsson, 2006). Selle järelalusena reageerib taimestiku kasv otseselt temperatuuri muutumisele ning sademed ei ole limiteerivaks faktoriks, mis võib põhjendada sademete rekonstrueeritud väärtuste suurt kõikumist (Joonis 8). Sademete rekonstrueeritud väärtuste amplituud on ~1700 mm aastas ning väärtused ei koonu ümber keskmise väärtuse, vaid on väga hajutatud.

Kalibreerimise andmebaasi geograafiline ulatus ja selles kajastatud kliimatingimused võivad suuresti mõjutada kliimarekonstruktsiooni tulemusi, mistõttu kalibreerimise andmebaasi koostis võib põhjustada kliimarekonstruktsioonides erinevusi (Salonen *et al.*, 2013). Käesolevas töös kasutatud kalibreerimise andmebaasi tänapäevaste kliimaparametrite amplituud on väiksem kui rekonstrueeritud väärtuste oma. Selle põhjal võib järeldada, et väärtuste rekonstrueerimiseks on mudel ennustanud väärtusi, mis jäävad väljaspoole kalibreerimise andmebaasi kliimaparametrite ulatust. Väärtuste ennustamise korral võib kliimaparametri

väärtuse suurenemine ja vähenemine toimuda hüppeliselt ning seetõttu anda ekslike tulemusi.

Töös kasutatud Eesti õietolmu andmebaas sisaldab nii soo- kui ka järvesetetest tuvastatud õietolmuspektreid. Samas on usaldusväärse kliimarekonstruktsiooni oluliseks aluseks kalibreerimise andmebaasi jaoks tänapäevaste setteproovide võtmine samast settekeskkonnast, kus kohast on kogutud fossiilsete setete proovid (Birks, 1995).

## **5.2 Kliimarekonstruktsioonide tulemuste usaldusväärsus ja valideerimine tänapäevaste vaatlusandmetega**

Rekonstrueeritud andmetest võõrväärtuste tuvastamise tulemusena selgus, et usaldusväärsemateks uurimispunktideks on järved, kõigest 5% leitud võõrväärtustest esinesid järvesetteid kajastavates uurimispunktides. Käesolevas töös leitud võõrväärtuste esinemise alusel saab järeldada, et soosetetest tehtud õietolmuanalüüsi andmete põhjal rekonstrueeritud mineviku kliimaparameetrite väärtused ei ole usaldusväärsed. Birks (1995) on välja toonud põhinõuded kvantitatiivsete mineviku kliima rekonstruktsioonide koostamiseks, mille järgi uurimisbasseinist võetud fossiilsed setteproovid ja kalibreerimise andmebaasi pindmised setteproovid peavad olema võrreldava taksonoomia, kvaliteedi ja settekeskkonnaga. Käesolevas töös on kasutatud kalibreerimise andmebaasi, mis sisaldab ainult järvesetteid ning seepärast võib põhjustada soosetete rekonstrueeritud kliimaparameetrite väärtuste mitteusaldusväärsuse.

Lisaks eelöeldule võib võõrväärtuste esinemine andmetes olla põhjustatud andmebaasi kuuluvate õietolmu andmete vigasest dateerimisest, liiga väikesest õietolmu loendushulgast või ka tuleneda uurimisbasseini ja selle ümbruse lokaalsetest iseärasustest (näiteks basseini suurus, ümbritsev mullastik, reljeef jmt). Eelnimetatud asjaolud võivad asetada õietolmuspektri valesse ajaperioodi, vähendada väikese õietolmuproduktiooni, kuid selge kliimaatilise profiiliga taimede leidmise võimalusi

või kajastada regionaalse kliima asemel lokaalset mullastiku veerežiimist ja toitainerikkusest tingitud taimkatte iseärasusi. Lisaks võivad olla mõjutavateks teguriteks ka näiteks reljeef ning mullastik (Rehfeld *et al.*, 2016).

Võrreldes kõiki andmeid ja neid andmeid, kus võõrväärtused on eemaldatud, saab öelda, et võõrväärtuste esinemine andmetes ei muuda suure andmebaasi puhul oluliselt mediaanväärtusi, kuid on efektiivne vahend andmebaasis esinevate ekstreemsete või vastuoluliste väärtuste selekteerimiseks. Andmetes esinevate võõrväärtuste mõju mediaanväärtusele on põhjustatud võõrväärtuste paiknemisest, mitte suuruselt, mediaani suhtes enne nende eemaldamist (Hellerstein, 2008), mistõttu ei muutu mediaanväärtused võõrväärtuste eemaldamisel oluliselt. Palju suuremat mõju avaldavad võõrväärtused andmerea aritmeetilisele keskmisele.

Töös eristatud Eesti territooriumil paikneva kolme suurema uurimisalade tihedusega piirkonna (antud juhul Kirde-Eesti, Kagu-Eesti ja Saaremaa) andmetes esineb võõrväärtusi erineval hulgal. Kagu-Eestis (Joonis 10) esinevad vaid üksikud võõrväärtused, millest võib järeldada, et antud piirkonnas on tulemused on kõige väiksemate kõrvalekalletega ja rekonstrueeritud kliimaparameetrite väärtused on stabiilsed. Käesolevas töös tuvastati võõrväärtuseid eraldi iga kliimaparameetri kohta igas piirkonnas terve Eesti andmepunktide alusel. Graafikutel, kus on välja toodud piirkonniti uurimispunktide võõrväärtused (Joonised 9-11), on selgelt eristatavad üksikud andmepunktid, mida võib visuaalselt lugeda võõrväärtusteks, kuid terve Eesti uurimispunktide suhtes jäävad need väärtused lubatud piiridesse. Seepärast võib täpsema tulemuse saamiseks leida eraldi võõrväärtused ka piirkonniti. Edasises töös andmebaasiga võib kaaluda ka teistsuguse meetodi (näiteks standardhälbe meetod, t-test, z-test) kasutamist võõrväärtuste tuvastamiseks.

Uuringu tulemusena võib väita, et mineviku kliimarekonstruktsioonide koostamine ühe uurimispunkti andmete alusel ei ole alati usaldusväärne, kuna ei ole võimalik teha kindlaks, kas saadud väärtused on realistlikud või ekstreemsed (Davis *et al.*, 2003;

Seppä *et al.*, 2004b). Võõrväärtuste kaasamine kliimarekonstruktsioonidesse ning kaartide koostamisse võib viia ekslike järeldusteni mineviku kliimatingimuste kohta.

Rekonstrueeritud väärtuste alusel koostatud graafikutel (Joonis 8) esineb sarnaselt Davis *et al.* (2003), Heikkilä & Seppä (2003) ja Seppä *et al.* (2004b) avaldatud artiklites saadud temperatuuri ja sademete trend viimase 10 000 aasta jooksul. Aasta keskmise temperatuuri kasv toimub perioodil 10 000-6000 aastat tagasi ning temperatuuri langus toimub perioodil 6000-0 aastat tagasi.

Käesolevas töös rekonstrueeritud aasta keskmise temperatuuri väärtused on lähedased Seppä *et al.* (2004b) publitseeritutega. Suurem erinevus esineb 6000 aastat tagasi, kus käesolevas töös rekonstrueeritud väärtused antud ajaperioodidel on ~4 °C soojemad. Erinevused võivad olla tingitud eelpool mainitud erineva kalibreerimise andmebaasi kasutamise mõjust kliimarekonstruktsioonide tulemustele. Seppä *et al.* (2004b) on oma töös kasutanud Seppä *et al.* (2004a) Soome-Eesti õietolm-kliima tänapäevastel analoogidel põhinevat rekonstruktsiooni mudelit.

Käesoleva töö tulemusega sarnaselt on Davis *et al.* (2003) poolt publitseeritud töös temperatuuri maksimum saavutatud umbes 6000 aastat tagasi, erinevused esinevad Holotseeni algul, kus käesolevas töös on temperatuur 10 000 tagasi ~2 °C jahedam, mis võib olla tingitud asjaolust, et on kasutusel ajaperiood 10 000-10 500 aastat tagasi. Davis *et al.* (2003) töös kasutatud kalibreerimise andmebaas koosneb Põhja-Aafrika, Euroopa ja Uuralitest läänepoolse jäävatel tänapäevastel analoogidest.

Käesolevas töös rekonstrueeritud AD 1950-2000 kliimaparameetrite väärtuste võrdlemisel meteoroloogiajaamades mõõdetud andmetega (Joonis 14) esinevad peamised aasta keskmise temperatuuri erinevused (>1,5 °C) Lääne-Eestis ja Pandivere kõrgustikku ümbritseval alal. Erinevuse põhjuseks võib olla uurimispunktide vähene arv ja hajutatud paiknemine nendel aladel. Kõige väiksem temperatuuri erinevus (<0,5 °C) esineb Lõuna-Eestis, kus rekonstruktsioonideks kasutatud uurimispunkte on enam ning need paiknevad tihedamalt. Sademete aasta hulga erinevus on kõige suurem (>150 mm/aastas) rannikualadel, kus uurimispunktid puuduvad täielikult. Kesk-Eestis

ja Kirde-Eestis on rekonstrueeritud väärtuste alusel sademeid 50-100 mm/aastas vähem, mis võib olla tingitud lokaalsetest teguritest, mis tänapäeva meteoroloogiajaamades mõõdetud andmetes ei väljendu. Tarand *et al.* (2013) alusel ei peegelda ka tänapäevaste meteoroloogiajaamade võrgustik kõiki gradiente. Kaartide omavahelise võrdlemise alusel saab öelda, et rekonstrueeritud kliimaparameetrite väärtuste alusel koostatud kaart on usaldusväärne kasutamaks sama meetodit ka mineviku kliimarekonstruktsioonideks.

### 5.3 Kliimaparameetrite kaardid

Kahe erineva ebakorrapärase asetusega punktandmete interpoleerimiseks soovitatava meetodi (splain ja pöördkaugusega kaalutud) (How Spline..., 2016; How IDW...,2016) rakendamisel saadud tulemuste võrdlemisel selgus, et interpolatsioonil kasutatav matemaatiline meetod ja selle parameetriseerimine on määrava tähtsusega väljundkaardi ruumilise struktuuri määramisel.

Tänapäevaste vaatlusandmete põhjal on suurema või vähema selgusega eristatavad mitmed ruumilised trendid Eesti kliimas: ida-lääne suunaline gradient talvekuude temperatuurides, põhja-lõuna suunaline gradient soojade kuude temperatuurides, Eesti mandri keskosas esinev kõrgem aasta keskmine sademete hulk võrreldes Eesti rannikualadega (Joonis 1). Need trendid on põhjustatud Atlandi ookeani põhjaosas asuva Islandi miinimumi ja merelise kliima mõjust Eesti piirkonnale (Tarand *et al.*, 2013).

Eespool kirjeldatud erinevaid ruumilisi trende rekonstrueeritud andmete põhjal koostatud mineviku kliimatingimusi kujutavatel kaartidel (Joonised 15-18) enamasti eristada ei õnnestunud. Sellise tulemuse põhjused võib olla mitmeid. Nende hulgast olulisemad võivad olla:

- 1) Minevikus ei olnud määravaks tänapäeva kliimat määravad tingimused (näiteks positiivne Põhja-Atlandi ostsillatsiooni indeks, väiksem

kontinentaalsus (Slonosky & Yiou, 2002)) ja seega väiksem ida-lääne suunaline temperatuuri gradient;

- 2) Rekonstruktsioonideks kasutatud uurimisalade ruumiline jaotus/hulk ei ole sobiv/piisav eelkirjeldatud trendide määratlemiseks;
- 3) Rekonstrueeritud väärtuste hajuvus on võtmealadel (näiteks Lääne-Eesti saartel) liiga suur isegi peale võõrväärtuste eemaldamist.

Paljudel rekonstrueeritud andmete põhjal koostatud kaartidest on selgelt eristatav Mandri-Eesti keskosa läbiv kõrgemate väärtustega ala, millest nii ida kui lääne poole jäävatel aladel vastava kliimaparameetri väärtused langevad. Läbivalt on kõige jahedamaks piirkonnaks Kirde-Eesti ning kõige soojemaks Kagu-Eesti. Kõikide ajaperioodide puhul on rekonstrueeritud kõige sajurikkamaks piirkonnaks Kagu-Eesti ja Saaremaa ja sajuvaesemaks Kirde-Eesti. Tänapäevaste kliimaandmete puhul on mainitud Tarand *et al.* (2013) poolt, et Kagu-Eesti sademete andmed vaatlusjaamade põhjal ei anna tõepäraseid väärtusi, kuna vaatlusjaamad puuduvad Haanja ja Otepää kõrgustikel, mis kinnitamata andmetel on Eesti kõige sajurikkamad piirkonnad (vähemalt 725 mm aastas). Kagu-Eesti piirkonna andmete rekonstruktsioonide polünoom märgib tänapäevaste aasta keskmise sademete väärtuseks Kagu-Eestis ~680 mm aastas. Kagu-Eesti uurimispunktid asuvad peamiselt Haanja ja Otepää kõrgustikel kõrgusvahemikus 80-260 m ning 11st punktist viis asuvad üle 200 m kõrgusel.

#### **5.4 Väljavaated edasiseks**

Edasises töös Eesti õietolmu andmete andmebaasiga võib uurida erinevate taksonite (näiteks laialehelised puud, erinevad rohttaimed ja puhmad) mõju ulatust kliimarekonstruktsioonidele. Selle kindlaks tegemiseks tuleb määratleda korrelatsioon selliste taksonite esinemishulga ning kliimarekonstruktsioonide ekstreemsete väärtuste vahel.

Rekonstrueeritud väärtuste alusel kaartide paremaks koostamiseks on võimalus katsetada käesolevas töös kasutatud meetodite (splain ja pöördkaugusega kaalutud)

sisendparameetrite muutmist, kriging meetodil interpoleerimist või andmete viimist rastri kujule, mis arvutab lähestikku paiknevate punktide keskmised (ruudule omistatakse üks väärtus), ja võimaldab muuta kaardipildid sujuvamaks ning väldib üksikute uurimispunktide ümber kontsentriliste ringide tekkimise.



## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli koostada mineviku põhiliste kliimaparameetrite (temperatuur ja sademed) rekonstruktsioonid Eesti õietolmu andmebaasi andmete põhjal. Töö käigus rekonstrueeriti aasta, soojade kuude (mai-august) ja talvekuude (detsember-veebruar) keskmine temperatuur ja keskmine sademete hulk kõikides uurimispunktides. Suuremamahuline (53st uurimispunktist pärit 3800 õietolmuproovi) andmebaas võimaldas:

- 1) Kontrollida kasutatud kliimarekonstrueerimise meetodika usaldusväärsust ja töökindlust erinevatest settebasseinidest pärinevate andmete kasutamisel;
- 2) Taastuletada kliimamuutused (Eesti tervikuna ja eraldi kolmes kliimaatilisel selgelt eristavas piirkonnas) viimase 10 000 aasta jooksul;
- 3) Koostada Eesti territooriumit hõlmavad rekonstrueeritud kliimaparameetrite kaardid 6 ajalõigu (0-500, 2000-2500, 4000-4500, 6000-6500, 8000-8500, 10 000-10 500 aastat tagasi) jaoks.

Mineviku kliimaparameetrite rekonstrueeritud väärtuste hulgast tuvastati mitmeid selgelt eristuvaid võõrväärtuseid, mis erinesid vastavale ajalõigule iseloomulikest enam kui 1,5 kordse kvartiilide vahe võrra. Tuvastatud võõrväärtustest 95% esinesid soosetteid kajastavates uurimispunktides pärit proovides. Selline selgelt kindla settebasseini tüübiga seotud võõrväärtuste esinemise jaotus viitab soosetete ebasobivusele mineviku kliimamuutuste rekonstrueerimisel.

Tänapäevaseid vaatlusandmeid võrreldi terve Eesti rekonstrueeritud andmete alusel saadud trendijoone asukohaga 0 aastat tagasi, mille tulemusena erinevus aasta, soojade kuude ja talvekuude keskmise temperatuuri korral on  $<1$  °C, sademete hulga korral on erinevus  $<100$  mm aastas. Võrreldes Kagu- ja Kirde-Eesti regionaalseid rekonstruktsioone tänapäeva vaatlusandmete põhjal arvutatud Eesti aasta keskmise, soojade kuude ja talvekuude temperatuuri ning aastase sademete hulgaga on need väga sarnased (Kagu-Eestis temperatuuride ja sademete erinevus puudub, Kirde-Eestis temperatuuride erinevus  $<2$  °C, sademete erinevus  $<100$  mm aastas).

Tänapäeva vaatlusandmete põhjal moodustub aasta keskmise temperatuuri alusel kindel ida-lääne suunaline gradient, mida rekonstrueeritud kliimaandmete usaldusväärsuse kontrolliks koostatud AD 1950-2000 ajaperioodi kaardil ei ole märgata. Gradiendi puudumisest olenemata on AD 1950-2000 rekonstrueeritud kaardi väärtused väga sarnased (temperatuuri erinevus  $\pm 0,5$  °C, sademete erinevus <50 mm/aastas) tänapäevastele vaatlusandmetele. Erinevused tekivad temperatuuri puhul peamiselt Saaremaal ja Pandivere kõrgustikul, sademete puhul valdavalt rannikualadel.

Rekonstrueeritud väärtuste alusel saadud kõige madalam aasta keskmine temperatuur on 10 000 aastat tagasi, sellele järgnenud temperatuuri tõus kulmineerub 6000 aastat tagasi, millele järgnevat aega iseloomustab temperatuuri langemine. Temperatuuri käik Holotseeni jooksul on käesolevas töös rekonstrueeritud väärtuste puhul sarnane eelnevalt koostatud kliimarekonstruktsioonidele Eesti ja Soome järvede põhjal.

Mineviku kliimaparameetrite rekonstrueeritud väärtuste põhjal koostati erinevatel ajaperioodidel kliimast ülevaadet andvad kaardid. Koostatud kaardid iseloomustavad hästi kliimamuutuste pikaajalist trendi. Kaartidel esineb kontsentrilisi ringe ümber uurimispunktide ja interpoleeritud pinnad ei ole siledad, mis on põhjustatud uurimispunktide ebaühtlasest paiknemisest ruumis ja uurimisala spetsiifilistest rekonstrueeritud väärtuste erinevustest. Eesti territooriumit hõlmavate kliimaparameetrite kaartide koostamise metoodika täiendamine võimaldab saavutada usaldusväärsemaid kaarte.

Kokkuvõttes saab töö tulemuste põhjal öelda, et üldiselt on õietolmupõhised kliimarekonstruktsioonid robustsed ja usaldusväärsed. Suuremahulise andmebaasi kasutamine võimaldab eristada rekonstrueeritud väärtuste seas võõrväärtuseid, mille eemaldamise korral on saadud tulemus stabiilsem. Sõltuvalt lokaalsetest mõjuteguritest (näiteks settebasseini tüüp) võib rekonstruktsioonide usaldusväärsus suuresti varieeruda.

## **ABSTRACT**

### **CLIMATE IN ESTONIA DURING THE LAST 10 000 YEARS. POLLEN-BASED CLIMATE RECONSTRUCTIONS AND POSSIBILITIES FOR THEIR USE**

The aim of this thesis is to reconstruct the temporal and spatial temperature, and precipitation dynamics in Estonia during the last 10 000 years.

Reconstructions are based on the Estonian pollen database containing data from 53 different lake and bog profiles. Climate reconstructions are made using a modern pollen-climate calibration data-set for Northern Europe and the two-component weighted average partial least squares (WA-PLS) method for transfer function. In the resulting reconstructed values outliers are identified for different climate parameters. The 2000 year intervals maps reflecting the reconstructed values are generated with inverse distance weighted interpolation method for entire studied period.

The results show that 95% of the identified outliers were values reconstructed from bog sediments, indicating low suitability of these for reconstructing climate utilizing the applied methodology. Minimal differences in temperature and precipitation are found when comparing present day observations and reconstructed values. The reconstructed annual mean temperatures were lowest at 10 000 BP and the Holocene thermal optimum was reached at 6000 BP. The temperatures decreased from 6000 BP and reached lowest values at 500 BP. The reconstructed temperature dynamics are similar to previous studies based on few lakes from Estonia and Finland. The generated maps communicate well major trends in Holocene climate dynamics, but fail to reproduce the parameter gradients similar to contemporary observations.

The use of a large pollen database gives an opportunity to test the suitability of pollen data derived from different sedimentary basins for climate reconstructions and achieve stable and robust climate parameters reconstruction results for past.

Keywords: pollen data, climate reconstructions, Estonia, Holocene.

## KASUTATUD KIRJANDUS

**Antonsson, K.** (2006). Holocene Climate in Central and Southern Sweden. Quantitative Reconstructions from Fossil Data : doktoritöö. Uppsala : Acta Universitatis Upsaliensis, 37.

**Bartlein, P.J., Harrison, S.P., Brewer, S., Connor, S., Davis, B.A.S., Gajewski, K., Guiot, J., Harrison-Prentice, T.I., Henderson, A., Peyron, O., Prentice, I.C., Scholze, M., Seppä, H., Shuman, B., Sugita, S., Thompson, R.S., Viau, A.E., Williams, J., Wu., H.** (2011). Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis. – *Climate Dynamics*, 37 (3), 775-802. DOI:10.1007/s00382-010-0904-1.

**Birks, H.J.B.** (1981). The use of pollen analysis in the reconstruction of past climates: a review./ Ed. Wigley, T.M.L., Ingram, M.J., Farmer, G. – *Climate and History*. Cambridge : Cambridge University Press, 111-138.

**Birks, H.J.B.** (1995). Quantitative palaeoenvironmental reconstructions. Statistical modelling of quaternary science data. / Ed. D. Maddy, J.S. Brew, Cambridge : Quaternary Research Association, 161-254.

**Birks, H.J.B., Heiri, O., Seppä, H., Bjune, A.E.** (2010). Strengths and Weaknesses of Quantitative Climate Reconstructions Based on Late-Quaternary Biological Proxies. – *The Open Ecology Journal*, 3, 68-110.

**Bradshaw, R.H.W.** (2007). Palaeobotany: Overview. – *Encyclopedia of Quaternary Science*. 2nd ed. / Ed. Scott A. Elias, 1567-1574. ISBN: 978-0-444-52747-9.

**Burrough, P.A., McDonnell, R.A.** (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford : Oxford University Press, 333.

Eesti entsüklopeedia. (1998). Tallinn : Eesti Entsüklopeediakirjastus, 10, 593.

Encyclopedia of Quaternary Science. 2nd ed. (2007). / Ed. Scott A. Elias. ISBN: 978-0-444-52747-9.

**Erdtman, G.** (1954). *An Introduction to Pollen Analysis*. Waltham, Massachusetts, USA : Chronica Botanica Company.

**Heikkilä, M., Seppä, H.** (2003). A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. – *Quaternary Science Reviews*, 22 (5), 541-555.

**Hellerstein, J.M.** (2008). Quantitative Data Cleaning for Large Databases. [WWW] <http://db.cs.berkeley.edu/jmh/papers/cleaning-unece.pdf> (19.05.2017).

How IDW works. (2016). ArcGIS Help 10.4. [WWW] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> (03.05.2017).

How Spline works. (2016). ArcGIS Help 10.4. [WWW] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/tools/3d-analyst-toolbox/how-spline-works.htm> (03.05.2017).

**Dahl, E.** (1998). *The Phytogeography of Northern Europe*. Cambridge : Cambridge University Press, 297.

**Davis, B.A.S., Brewer, S., Stevenson, A.C., Guiot, J., Data Contributors.** (2003). The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. – *Quaternary Science Reviews*, 22 (15-17), 1701-1716.

**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. / Ed. 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. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. DOI:10.1017/CBO9781107415324.

**Juggins, S.** (2007). *C2 - Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation*, 1.5 edition. Newcastle University Newcastle upon Tyne.

- Marquer, L., Gaillard, M., Sugita, S., Trondman, A., Mazier, F., Nielsen, A.B., Fyfe, R.M., Odgaard, B.V., Alenius, T., Birks, H.J.B., Bjune, A.E., Christiansen, J., Dodson, J., Edwards, K.J., Giesecke, T., Herzschuh, U., Kangur, M., Lorenz, S., Poska, A., Schult, M., Seppä, H.** (2014). Holocene changes in vegetation composition in northern Europe : why quantitative pollen-based vegetation reconstructions matter. – *Quaternary Science Reviews*, 90, 199-216.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E.** (1991). Pollen Analysis. Oxford : Blackwell Science Publishers, 216.
- Pidek, I.A., Poska, A.** (2013). Pollen based quantitative climate reconstructions from the Middle Pleistocene sequences in Lukow and Zdany (E Poland): Species and modern analogues based approach. – *Review of Palaeobotany and Palynology*, 192, 65-78.
- Raudsaar, M., Pärt, E., Adermann, V.** (2014). Metsavarud. Metsamaa pindala jagunemine maakonniti valitseva puuliigi järgi. – *Aastaraamat Mets 2013*. Tartu : Keskkonnaagentuur, 1-42.
- Raukas, A., Rõuk, A.–M.** (1995). Pinnamood ja selle kujunemine. – Raamatus: Raukas, A. (koostaja). Eesti Loodus. Tallinn : Eesti Entsüklopeediakirjastus, 120-175.
- Rehfeld, K., Trachsel, M., Telford, R.J., Laepple, T.** (2016). Assessing performance and seasonal bias of pollen-based climate reconstructions in a perfect model world. – *Climate of the Past*, 12, 2255-2270. DOI:10.5194/cp-12-2255-2016.
- Reitalu, T., Gerhold, P., Poska, A., Pärtel, M., Väli, V., Veski, S.** (2015). Novel insights into post-glacial vegetation change: functional and phylogenetic diversity in pollen records. – *Journal of Vegetation Science*, 26, 911–922.
- Ripley, B.D.** (1981). Spatial Statistics. New York : John Wiley & Sons, Ltd, 252.
- Salonen, J.S., Seppä, H., Luoto, M., Bjune, A.E., Birks, H.J.B.** (2012). A North European pollen-climate calibration set: analysing the climatic responses of a

biological proxy using novel regression tree methods. – *Quaternary Science Reviews*, 45, 95-110. [Online] ScienceDirect (2.05.2017).

**Salonen, J.S., Seppä, H., Birks, H.J.B.** (2013). The effect of calibration data set selection on quantitative palaeoclimatic reconstructions. – *Holocene*, 23 (11), 1650-1654.

**Seppä, H., Birks, H. J. B., Odland, A., Poska, A., Veski, S.** (2004a). A modern pollen–climate calibration set from northern Europe: developing and testing a tool for paleoclimatological reconstructions. – *Journal of Biogeography*, 31, 251-267.

**Seppä, H., Poska, A.** (2004b). Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. – *Quaternary Research*, 61 (1), 22-31. [Online] ScienceDirect (30.03.2017).

**Slonosky, V., Yiou, P.** (2002). Does the NAO index represent zonal flow? The influence of the NAO on North Atlantic surface temperature. – *Climate Dynamics*, 19 (1), 17–30. DOI:10.1007/s00382-001-0211-y.

**Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A.** (2013). Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu Ülikooli Kirjastus.

**ter Braak, C.J.F., Juggins, S.** (1993). Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. – *Hydrobiologia*, 269/270, 485-502.

**Tukey, J.W.** (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, Mass : Addison-Wesley Pub.

**von Post, L.** (1916). Skogsträdpollen i sydsvenska torfmosselagerföljder. Stockholm : Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 38, 384-394.

**von Post, L.** (1946). The prospect for pollen analysis in the study of the Earth's climatic history. – *New Phytol*, 45, 193-217.

**Webb, T.** (1986). Is vegetation in equilibrium with climate? How to interpret late-Quaternary pollen data. – *Vegetatio*, 67, 75-91.

## LISAD

Lisa 1. Andmed töös kasutatavate Riigi Ilmateenistuse vaatlusjaamade kohta.

Vaatlusjaam	Laius (°N)	Pikkus (°E)	Vaatlusperiood (a)
JÕGEVA	58°44'59''	26°24'54'	1961-1990
JÕHVI	59°19'44''	27°23'54''	1961-1990
KIHNU	58°05'55''	23°58'13''	1961-1990
KUNDA	59°31'17''	26°32'29''	1961-1990
KUUSIKU	58°58'23''	24°44'02''	1961-1990
KURESSAARE	58°13'53''	22°30'18''	1961-1990
KÄRDLA	58°59'38''	22°49'19''	1964-1990
NAISSAAR	59°32'27''	24°33'48''	1961-1990
NARVA	59°23'22''	28°06'33''	1961-1990
NIGULA	58°57'04''	23°48'56''	1964-1990
PAKRI	59°23'22''	24°02'24''	1961-1990
PÄRNU	58°25'11''	24°28'11''	1961-1990
RISTNA	58°55'15''	22°03'59''	1961-1990
SÕRVE	57°54'49''	22°03'29''	1961-1990
TALLINN	59°23'53''	24°36'10''	1961-1990
TIIRIKOJA	58°51'55''	26°57'08''	1961-1990
TÜRI	58°48'31''	25°24'33''	1961-1990
TÕRAVERE	58°15'51''	26°27'41''	1965-1990
VALGA	57°47'24''	26°02'16''	1961-1990
VILJANDI	58°22'40''	25°36'01''	1961-1990
VILSANDI	58°22'58''	21°48'51''	1961-1990
VIRTUSU	58°34'22''	23°30'49''	1961-1990
VÕRU	57°50'47''	27°01'10''	1961-1990
VÄIKE-MAARJA	59°08'29''	26°13'51''	1962-1990



**Lisa 2. Mai-august, detsember-veebuar ja aasta keskmised õhutemperatuurid ja sademete määr Eestis 1960-1991.**

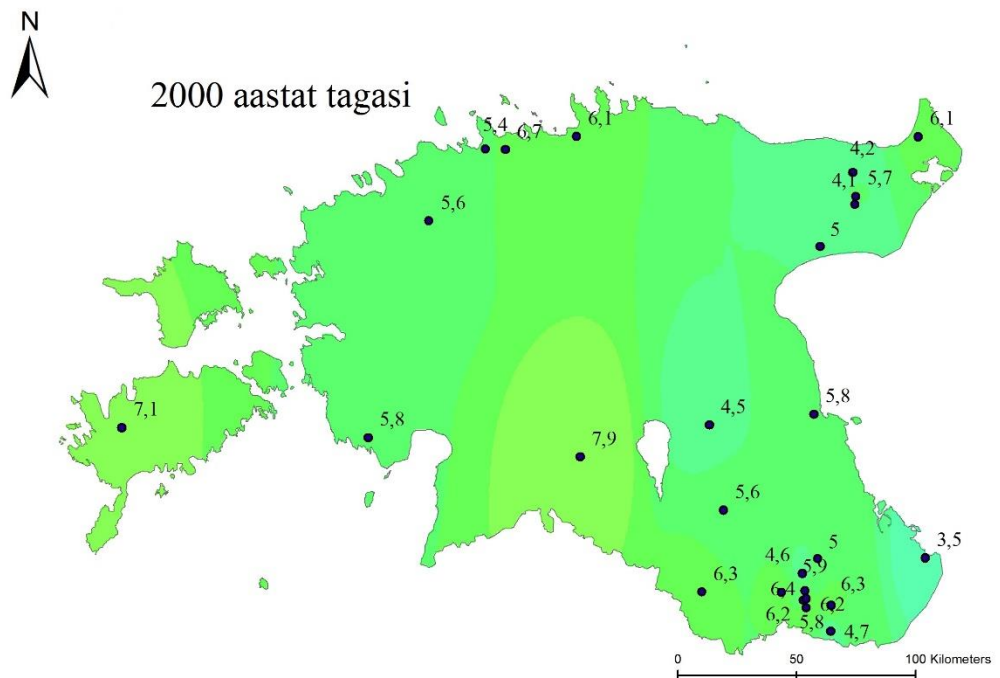
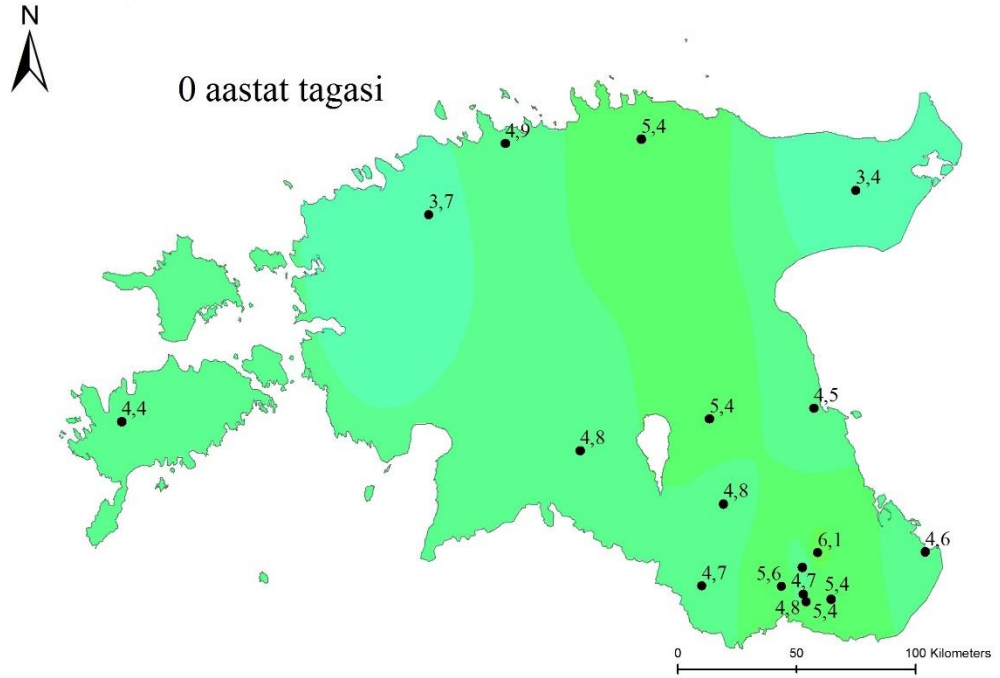
<b>Vaatlusjaam</b>	<b>T_MJJA (°C)</b>	<b>T_DJV (°C)</b>	<b>T_aasta (°C)</b>	<b>P_MJJA (mm)</b>	<b>P_DJV (mm)</b>	<b>P_aasta (mm)</b>
JÕGEVA	14.2	-6.3	4.5	282	111	650
JÕHVI	13.8	-6.3	4.3	264	108	657
KIHNU	14.4	-3.2	6.0	196	93	535
KUNDA	13.6	-4.9	4.9	237	87	553
KUUSIKU	13.9	-5.4	4.8	268	145	727
KURESSAARE	14.2	-3.0	6.0	196	122	597
KÄRDLA	13.5	-3.2	5.6	210	130	634
NAISSAAR	13.3	-3.2	5.6	197	110	558
NARVA	14.2	-6.4	4.6	257	98	623
NIGULA	14.1	-4.6	5.2	242	126	666
PAKRI	13.6	-3.7	5.4	201	103	538
PÄRNU	14.9	-4.8	5.6	236	133	660
RISTNA	13.4	-1.9	6.1	192	149	626
SÕRVE	13.5	-1.9	6.2	193	104	547
TALLINN	14.0	-4.7	5.1	253	130	668
TIIRIKOJA	13.9	-6.2	4.4	256	107	601
TÜRI	14.2	-5.6	4.8	296	128	725
TÕRAVERE	14.5	-5.9	4.9	276	105	620
VALGA	14.7	-5.7	5.1	299	136	711
VILJANDI	14.5	-5.5	5.1	291	138	710
VILSANDI	13.6	-1.8	6.4	182	127	582
VIRTUSU	14.4	-4.0	5.7	217	128	627
VÕRU	15.0	-5.7	5.2	281	106	625
VÄIKE-MAARJA	13.7	-6.5	4.1	272	104	653

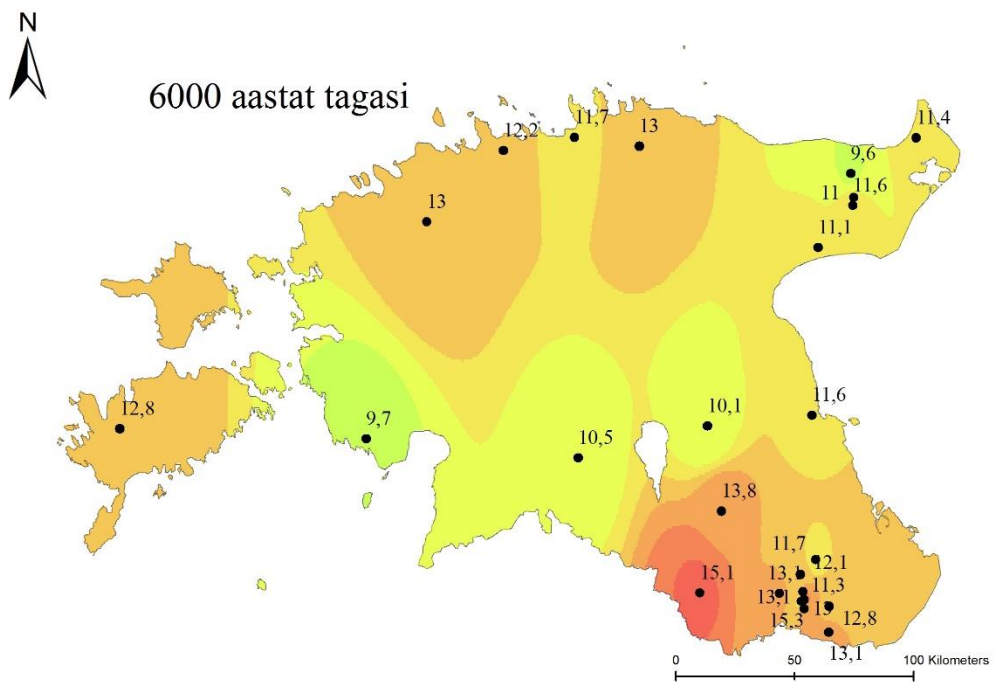
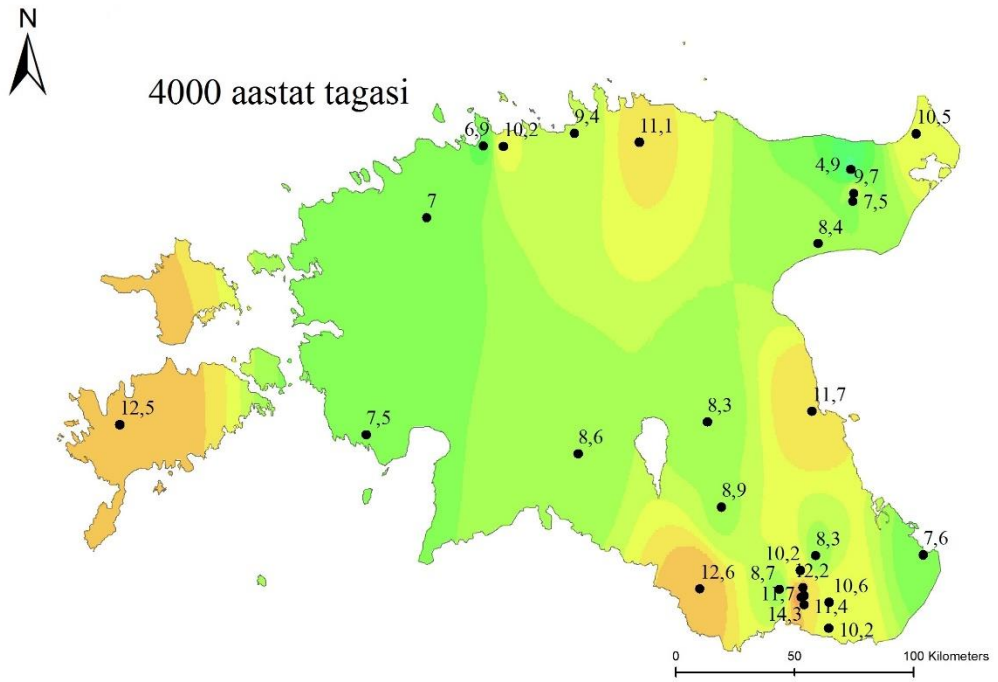
**Lisa 3. Eesti õietolmu andmete andmebaasi kuuluvate soode ja järvede nimistu**

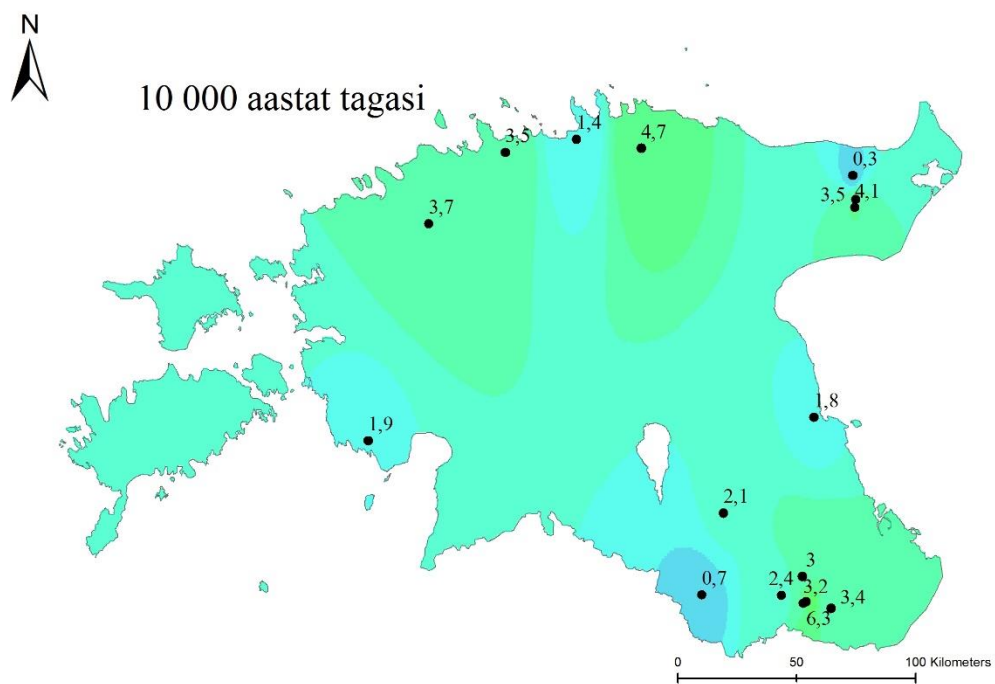
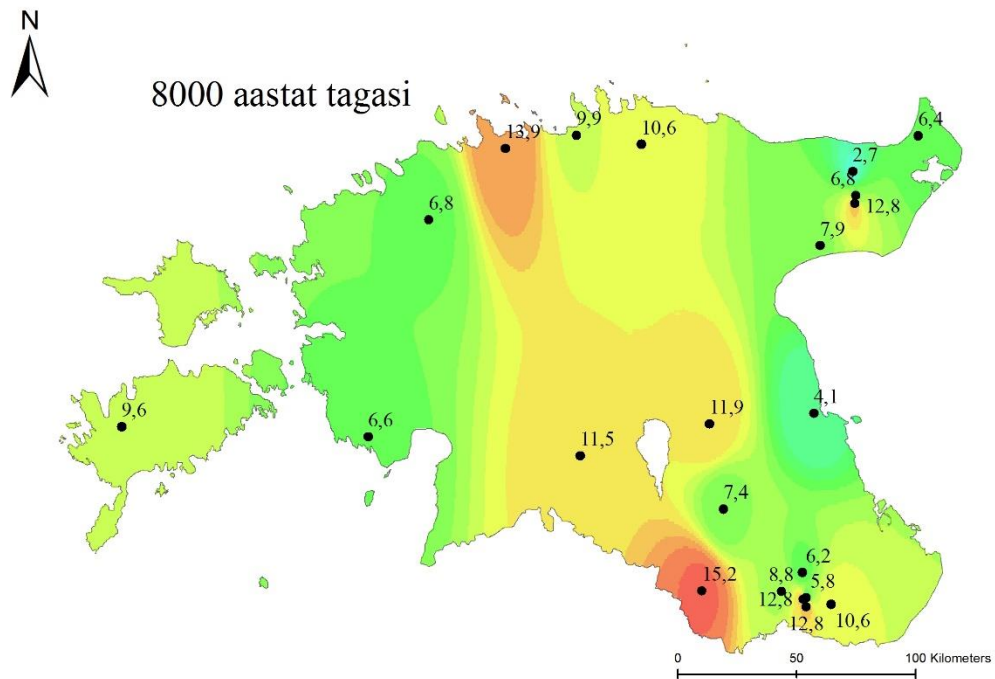
Nr	Kohanimi	Kirjeldaja	Laiuskraad	Pikkuskraad	Järv/soo	Pindala (ha)	Viide
1	Akali	Poska	58.408056	27.231944	soo	2568.3	Poska, A. & Saarse, L. 2006
2	Ermistu	Veski	58.357222	23.982778	järv	456.2	Veski, S., 1998
3	Hino	Kihno	57.583056	27.238611	soo	0.2	Laul, S., Kihno, K., 1999
4	Imatu	Kimmel	59.099722	27.461111	soo	96.16	Kimmel, K., Pirrus, R., Raukas, A., 1999
5	Jõhvikasoo, Tuiu	Kihno	58.484444	22.385833	soo	39.9	Hansson, A.-M., Hiie, S., Kihno, K., Masauskaite, R., Moe, D., Seiriene, V. & Torske, N. 1996
6	Järveotsa	Poska	59.095556	24.154167	järv	16.7	Poska, A. 1994
7	Kahala järv	Poska	59.48674	25.531503	järv	345.6	Poska, A. & Saarse, L., 1999
8	Kahala soo	Poska	59.491211	25.510962	soo	128.3	Poska, A. & Saarse, L., 1999
9	Kalsa	Kimmel	58.191667	27.408333	soo	206.3	Kimmel, K., Pirrus, R. & Raukas, A., 1999
10	Karujärv	Sarv	58.383056	22.210556	järv	345.6	Saarse, L. & Königsson, L.-K. 1992
11	Karuniidu	Mäemets	57.726667	26.990833	soo	1	Mäemets, H., 1983
12	Kiilaspere	Veski	58.796944	24.436111	soo	43.9	Veski, S., 1998
13	Kirikumäe	Sarv	57.683056	27.252222	järv	61.4	Saarse, L., and R. Rajamäe. 1997
14	Konsu	Koff	59.219658	27.579989	järv	139.2	Punning, J.M. & Koff, T. 1997
15	Kunda-Arusoo	Poska	59.466667	26.521944	soo	214	Poska, A., Königsson, L.-K., 1996
16	Kõivasoo	Lundvall	58.908611	22.199444	soo	33.9	Königsson, L.-K., Saarse, L., Veski, S. 1998
17	Lasva	Niinemets	57.859444	27.175	järv	10.9	Niinemets, E. & Saarse, L. 2007
18	Leekovo, Hoovi	Kihno	59.431721	28.064665	soo	582.9	Lepland, A., Hang, T., Kihno, K., Sakson, M., Sandgren, P., Lepland, A., 1996
19	Liivjärve	Koff	59.310223	27.566922	soo	299.8	Koff, T. 1990
20	Maardu	Veski	59.441667	25	järv	158.8	Veski, S., 1998
21	Martiska	Koff	59.262839	27.570816	järv	2.1	Punning, J.M. & Koff, T. 1997
22	Mustjärve	Veski	59.076944	24.099722	soo	278.1	Veski, S., 1998
23	Mäetilga	Mäemets	57.742037	27.071876	järv	1.3	Mäemets, H., 1983
24	Nigula	Sarv	58.006758	24.701566	soo	1935.8	Sarv, A., and E.O. Il'ves. 1976
25	Niinsaare	Koff	59.246883	27.544038	soo	10.1	Punning, J.M., Ilomets, M. & Koff, T. 1993

26	Optjok	Pirrus	57.841667	27.933889	soo (jõesäng)	N/A	Miidel, A., Hang, T., Pirrus, R., Liiva, A., 1995
27	Parika	Niinemets	58.490278	25.774167	soo	1356.7	Niinemets, E., Saarse, L., Poska, A., 2002
28	Pelisoo	Sarv	58.453889	22.394722	soo	480.3	Veski, S., 1998
29	Piila	Pirrus	58.410278	22.593333	soo	641.1	Raukas, A., Pirrus, R., Rajamäe, R. & Tiirmaa, R. 1995
30	Pitkasoo	Lundvall	58.273611	22.217222	soo	31.2	Königsson, L.-K., Poska, A., 1998
31	Plaani	Niinemets	57.676944	27.077222	järv	23.1	Niinemets, E. & Saarse, L. 2007
32	Punso	Sarv	57.684722	27.259167	järv	3.6	Saarse, L., and R. Rajamäe. 1997
33	Päidre	Sarv	58.276111	25.503333	järv	21.7	Saarse, L., Vesi, S., Heinsalu, A., Rajamäe, R. & Martma, T., 1995
34	Raigastvere	Pirrus	58.59	26.653056	järv	112	Pirrus, R., Rõuk, A.-M., Liiva, A., 1987
35	Ruila	Poska	59.175833	24.429722	järv	46.8	Poska, A., Saarse, L., 2002a
36	Rõuge	Veski	57.738889	26.905	järv	4.4	Veski, S., Koppel, K. & Poska, A. 2005
37	Saha	Kihno	59.427222	24.974444	soo	77	Kihno, K. 1996
38	Saviku	Sarv	58.406223	27.193957	soo	2568.3	Sarv, A. & Ilves, E.O. 1975
39	Surusoo	Veski	58.529722	22.423056	soo	108.4	Veski, S., 1998
40	Tollari	Poska	57.752152	26.342461	järv	5.7	Poska, A., avaldamata
41	Tondi	Kimmel	59.445	24.853333	soo	30.4	Kimmel, K., Rajamae, R., Sakson, M., 1996
42	Tuuljärv	Mäemets	57.705556	27.055556	järv	3.1	Ilves, E. & Mäemets, H., 1987
43	Ulila	Sarv	58.381684	26.438117	soo	2379	Ilves, E. & Sarv, A. 1970
44	Vaskna	Mäemets	57.711667	27.078333	järv	43.04	Ilves, E. & Mäemets, H., 1987
45	Vedruka	Poska	58.330278	22.060556	soo	89.59	Poska, A. & Saarse, L. 2002
46	Velise	Veski	58.756667	24.460278	soo	32.17	Veski, S., 1998
47	Verijärv	Niinemets	57.808333	27.058333	järv	24.9	Niinemets, E. & Saarse, L. 2006
48	Viitna Linajärv	Koff	59.451532	26.015267	järv	4.2	Punning, J.M., Koff, T., Sakson, M. & Kangur, M. 2007
49	Viitna Pikkjärv	Poska	59.446389	26.010556	järv	16	Saarse, L., Poska, A., Kaup, E., Heinsalu, A., 1998
50	Võhma	Kimmel	59.036944	27.298333	soo	81.93	Kimmel, K., Pirrus, R. & Raukas, A., 1999
51	Väike-Juusa	Kangur	58.059167	26.517222	järv	3.1	Kangur, M. 2009
52	Äntu Sinijärv	Sarv	59.062778	26.240556	järv	2.1	Saarse, L. & Liiva, A. 1995
53	Ümarjärv	Koff	59.18894	27.569164	järv	1.5	Punning, J.M. & Koff, T. 1997

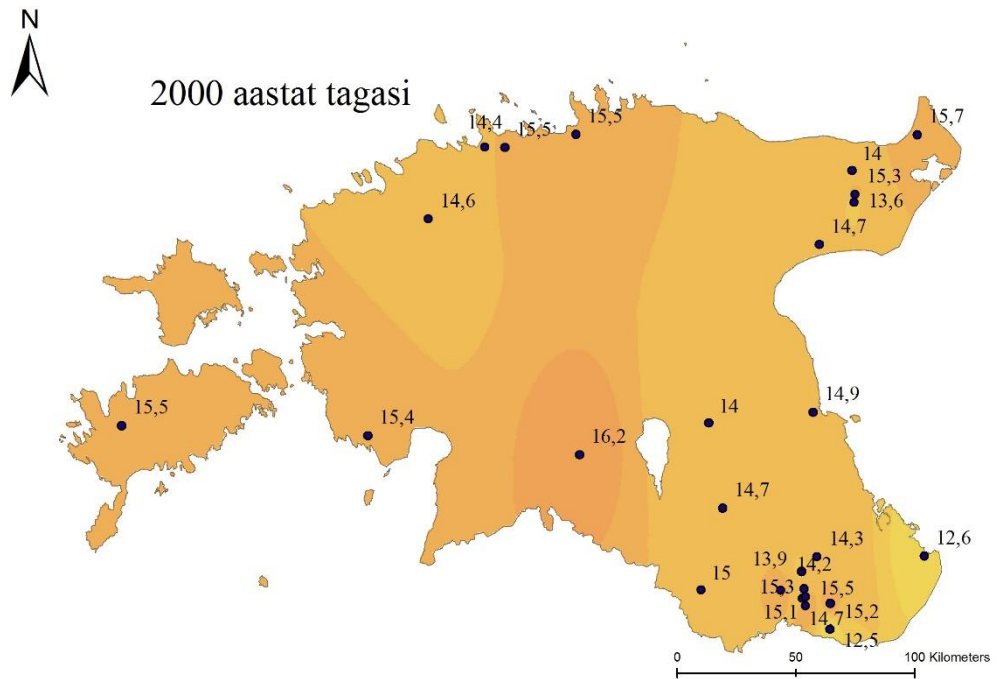
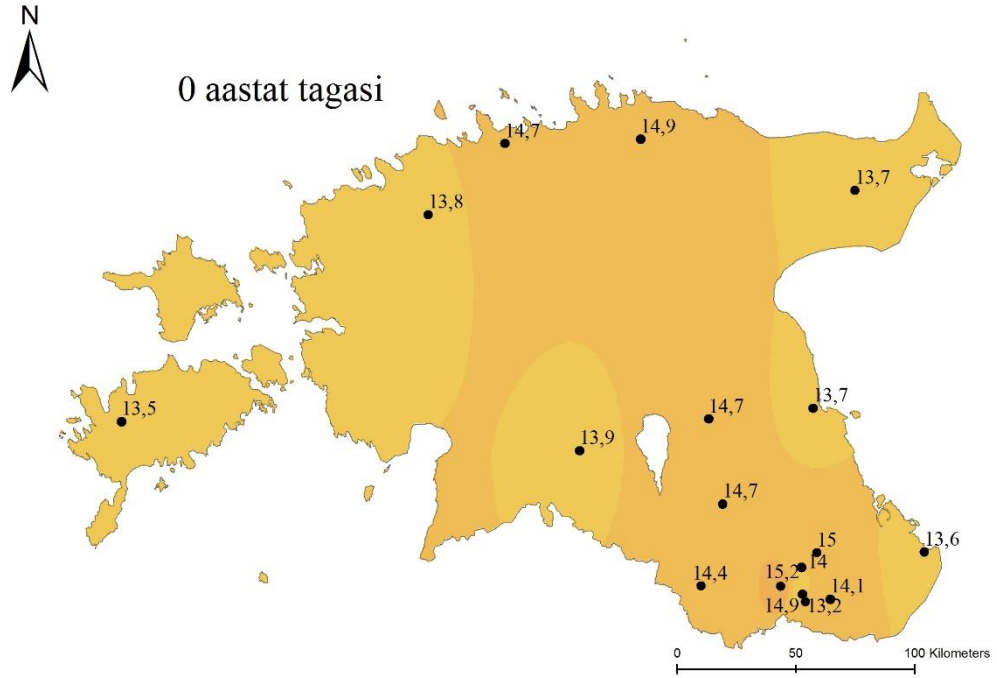
**Lisa 4. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud aasta keskmine temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.**

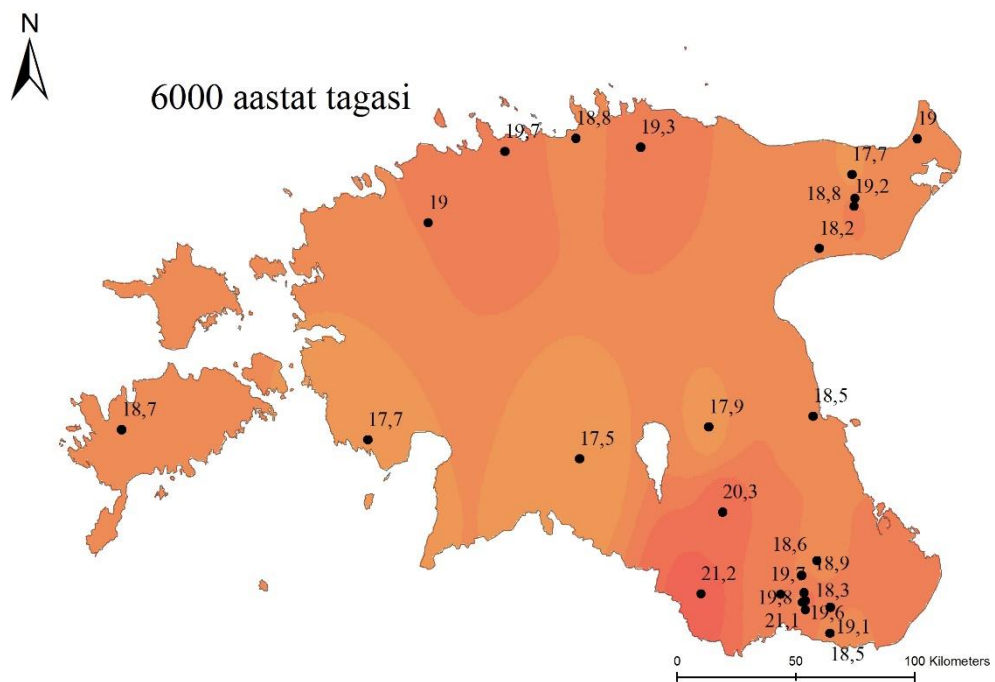
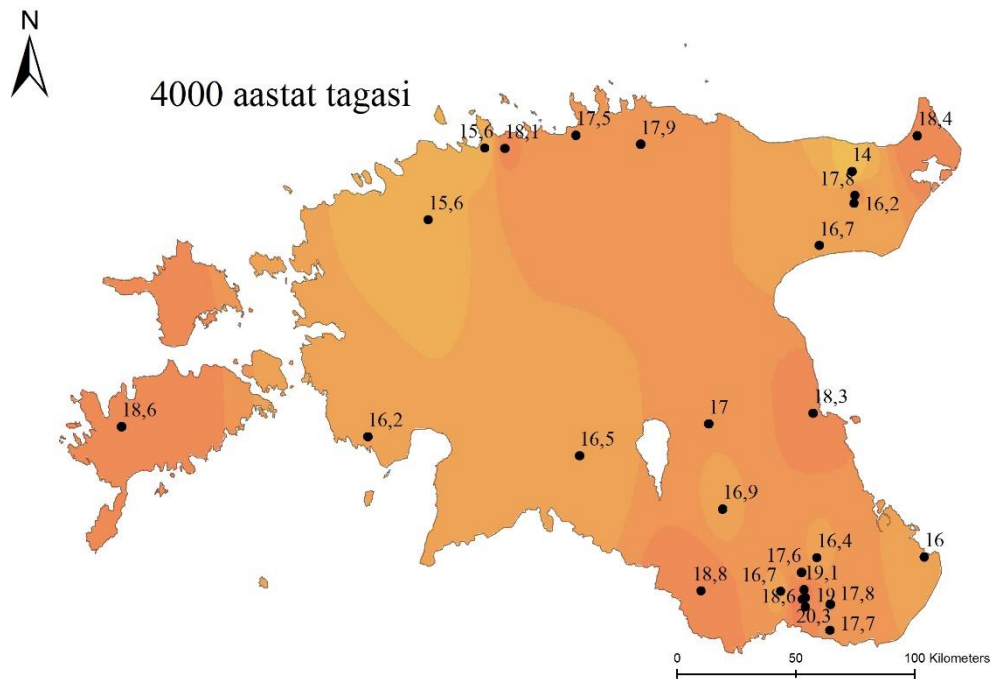




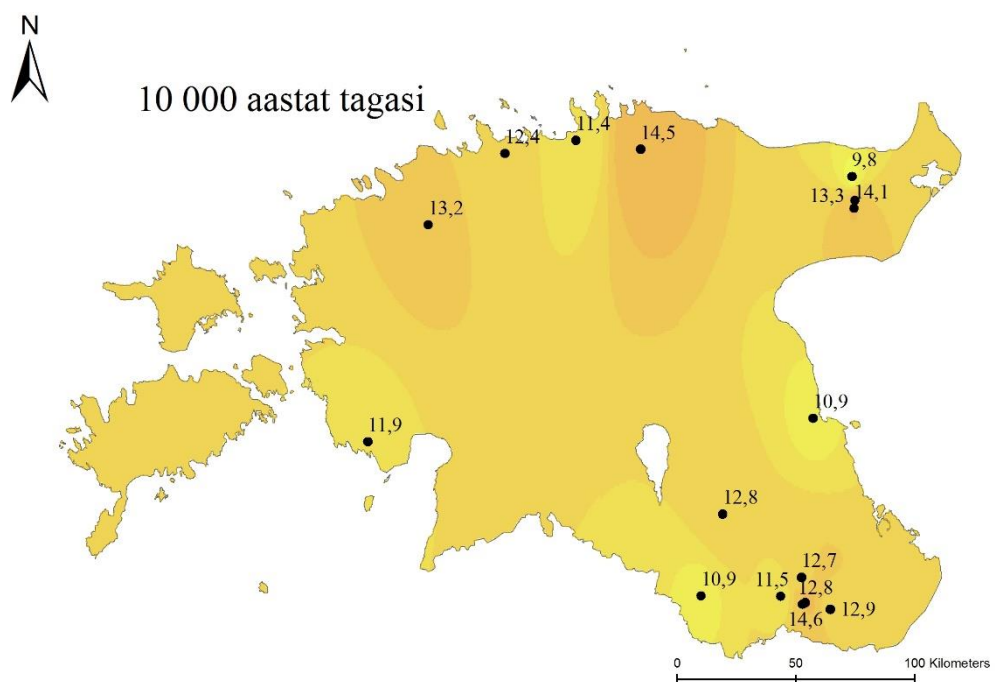
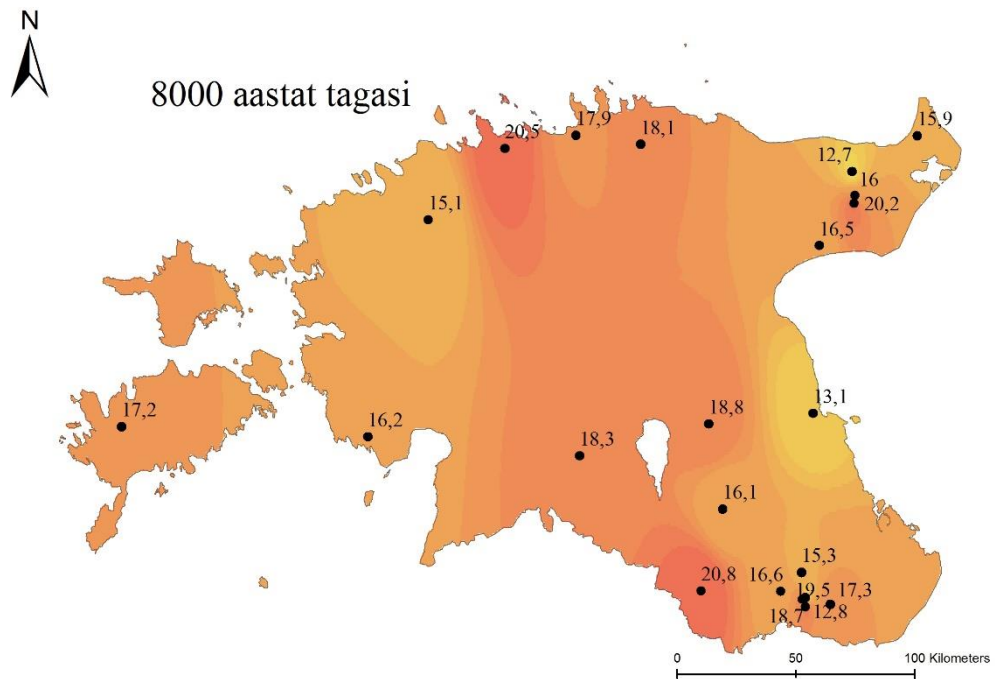


**Lisa 5. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud soojade kuude (mai-august) keskmine temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.**

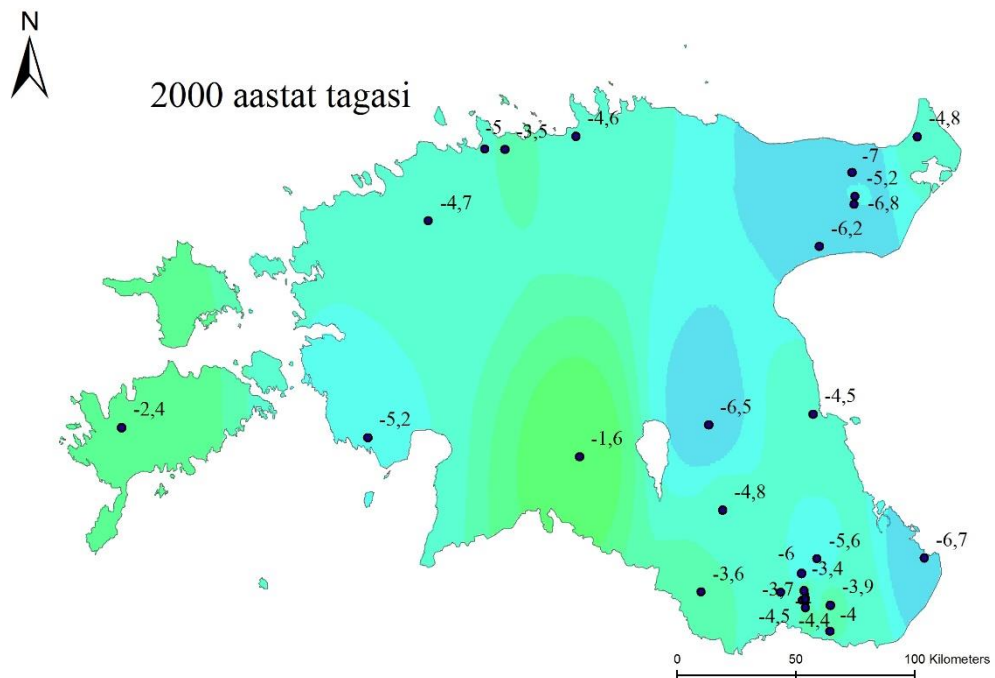
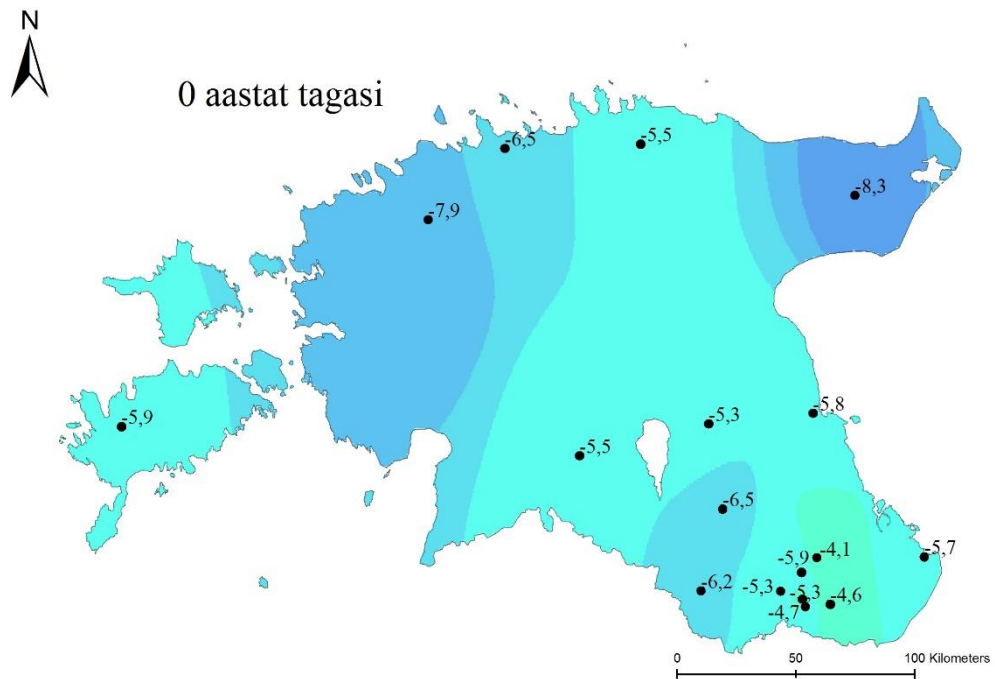






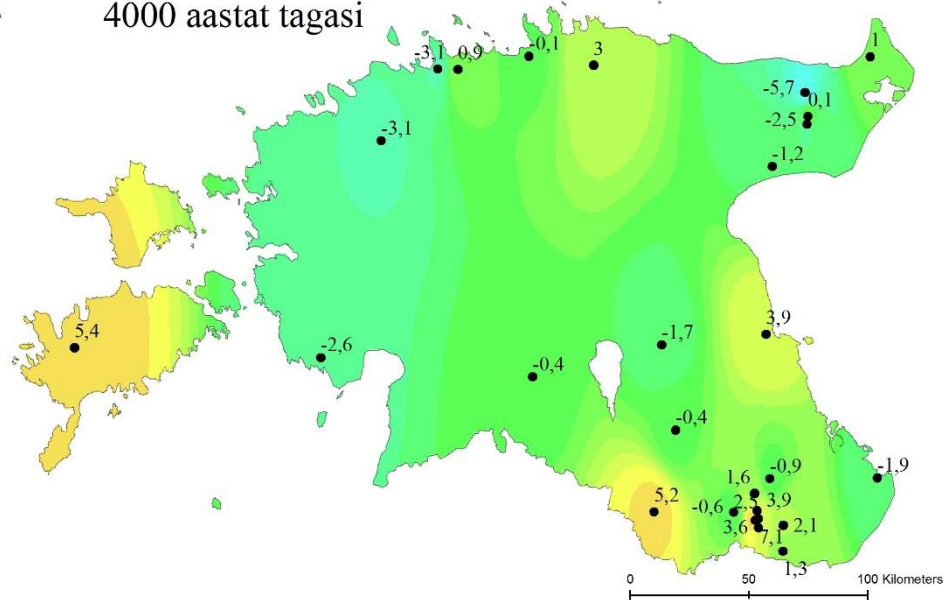


**Lisa 6. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud talvekuude (detsember-veebruar) temperatuur 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.**

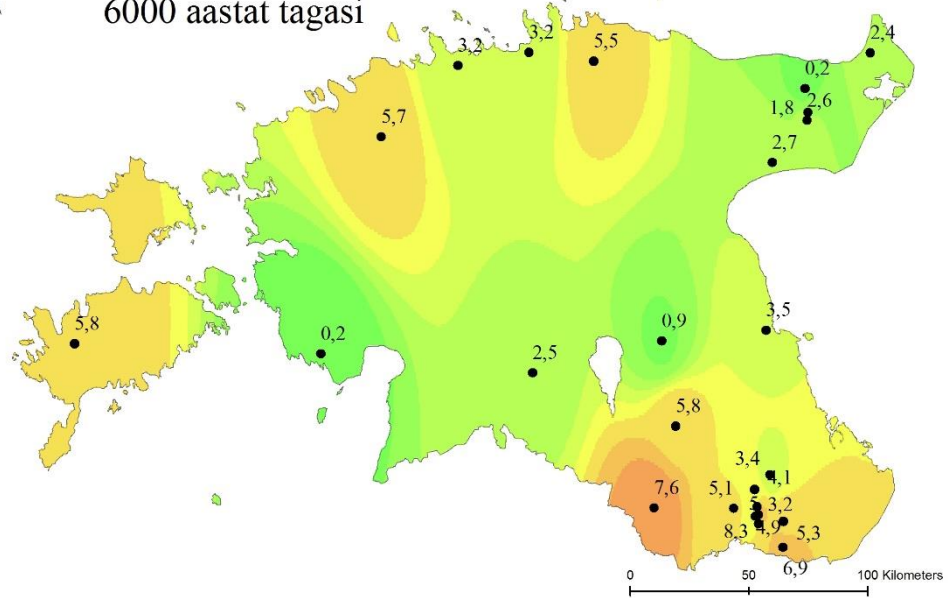


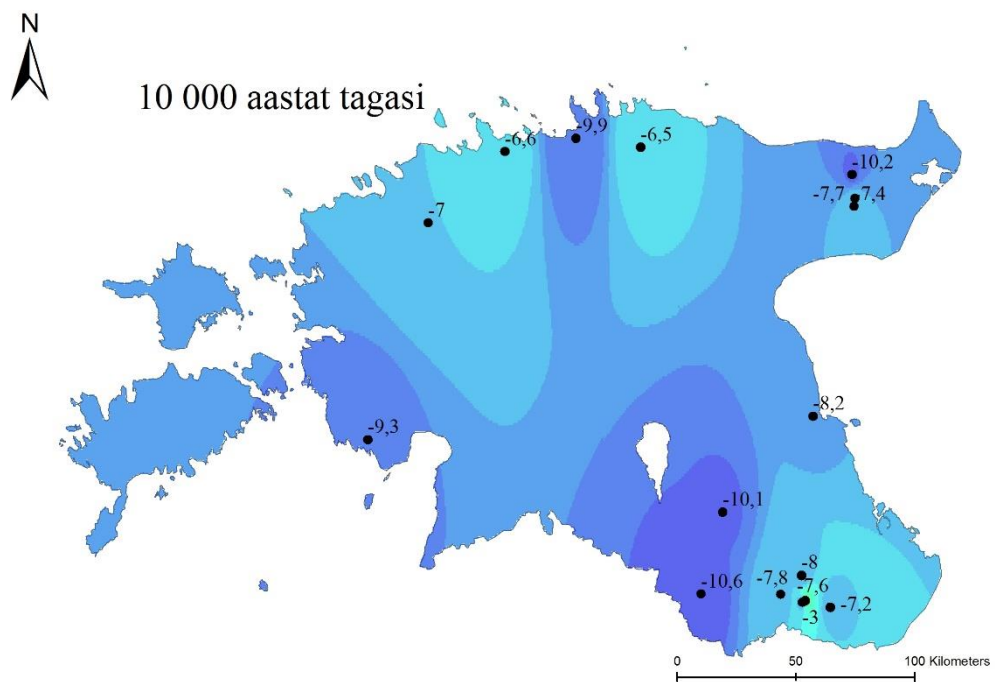
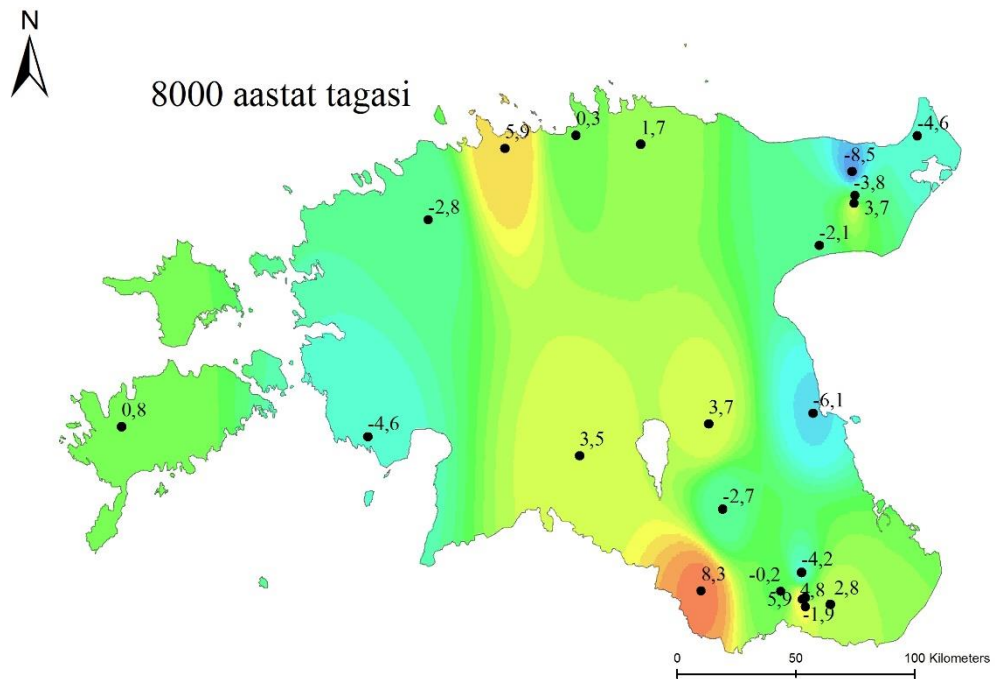


4000 aastat tagasi

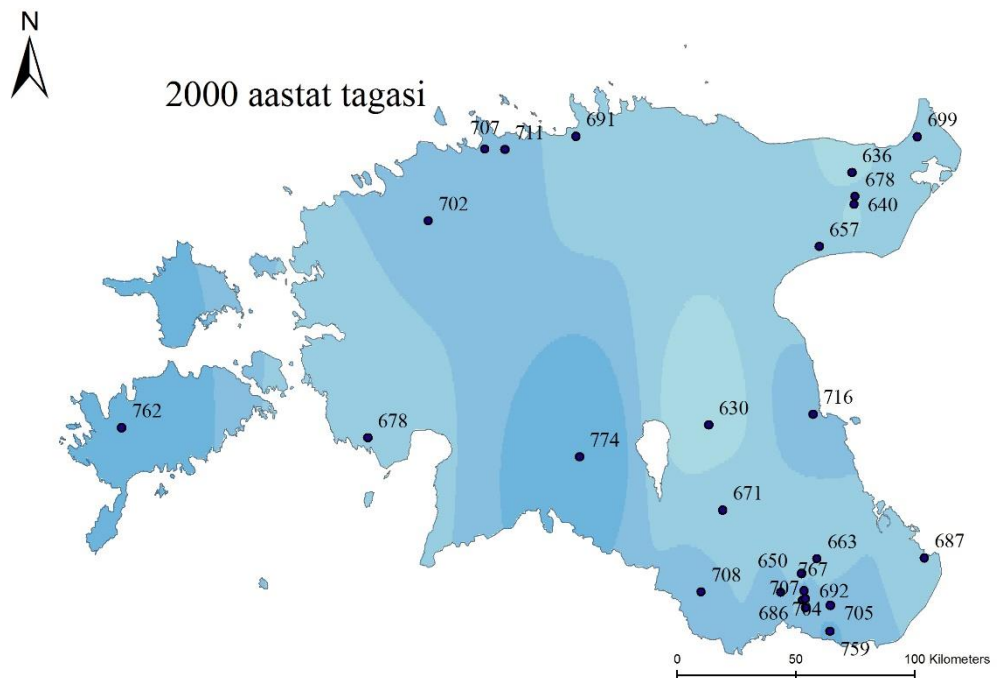
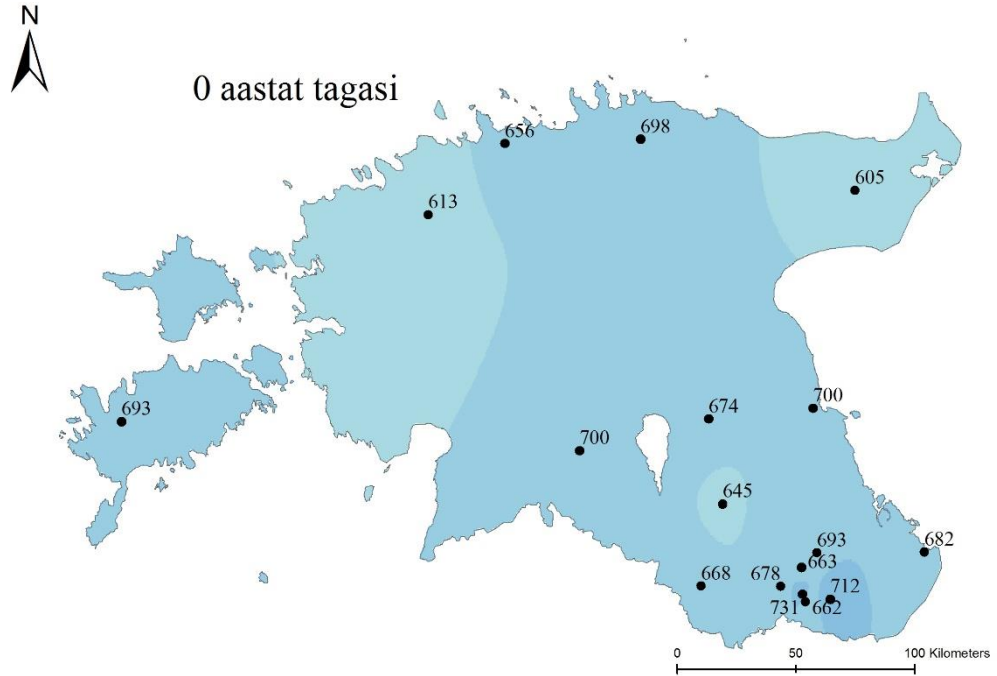


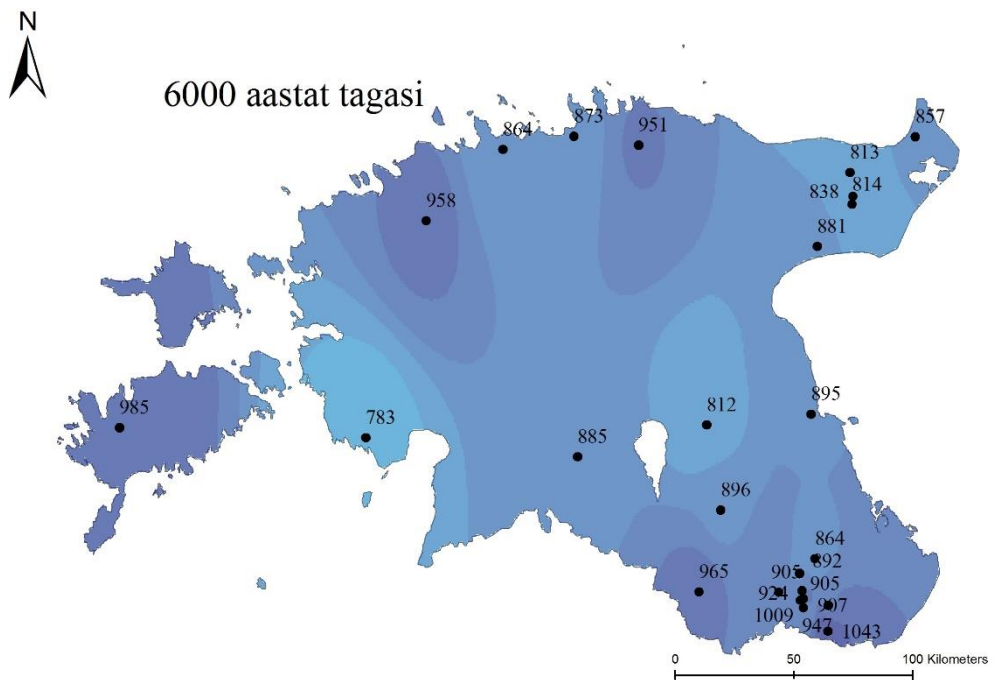
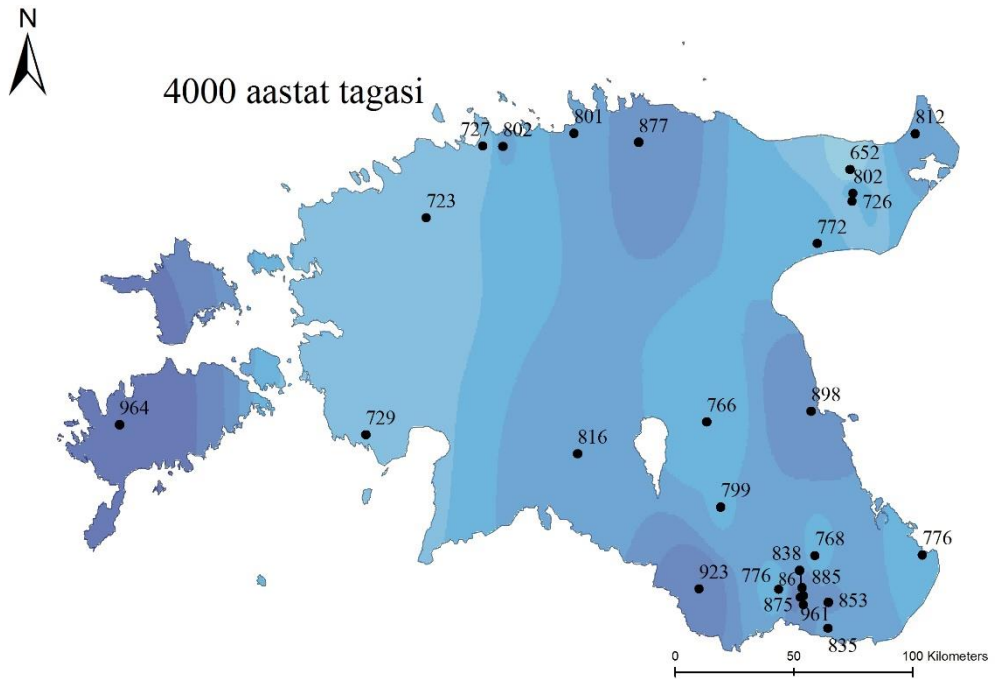
6000 aastat tagasi



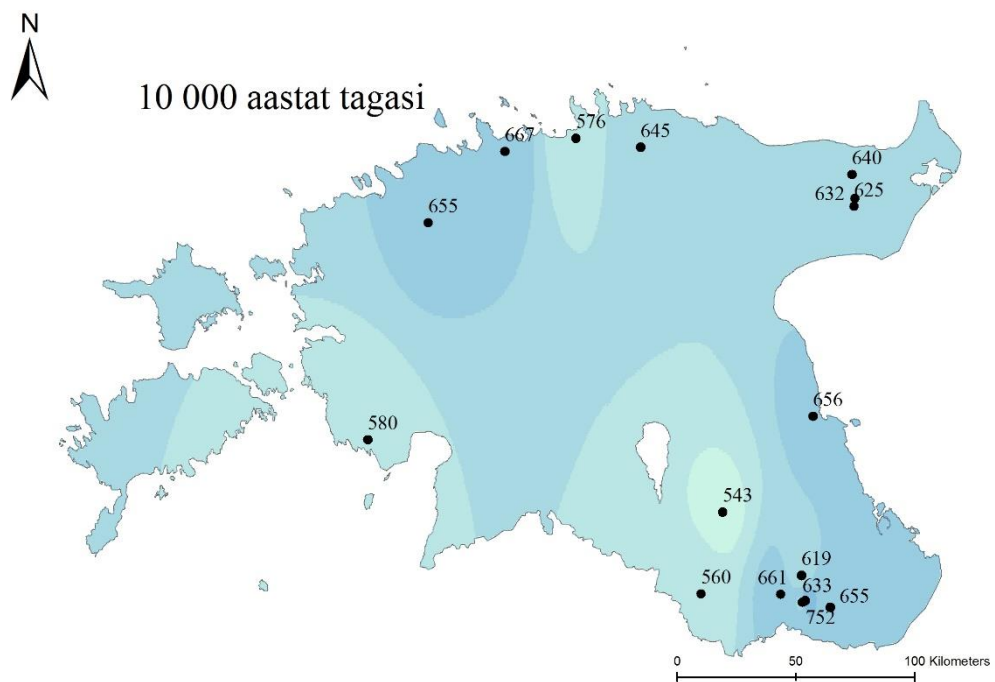
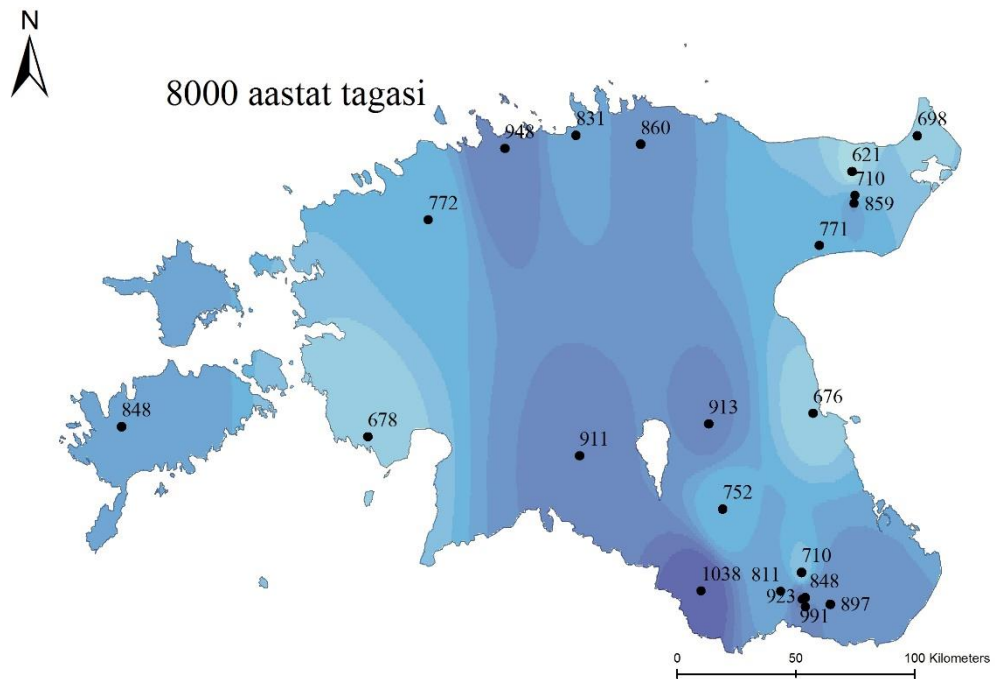


Lisa 7. Õietolmu andmete põhjal rekonstrueeritud aasta keskmine sademete hulk 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ja 10 000 aastat tagasi.









## **Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks**

Mina Bärbel Vandel (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 26.08.1992 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
EESTI KLIIMA VIIMASE 10 000 AASTA JOOKSUL. ÕIETOLMUPÕHISED  
KLIIMAREKONSTRUKTSIOONID JA NENDE KASUTUSVÕIMALUSED,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on Anneli Poska,

*(juhendaja nimi)*

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

\_\_\_\_\_ (*allkiri*)

\_\_\_\_\_ (*kuupäev*)