

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

**Pikaajalised muutused vegetatsiooniperioodi algus- ja
lõpukuupäevades ning kestuses Eestis perioodil 1951–2012**

Birgit Viru

Juhendaja: prof. Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

allkiri, kuupäev

Tartu 2014

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Varasemad uuringud kasvuperioodi kohta Eestis ja välismaal	6
3. Andmed ja meetodika.....	14
4. Tulemused ja diskussioon.....	16
4.1 Kasvuperioodi statistiliste näitajate analüüs	16
4.2 Kasvuperioodi alguse, lõpu ning kestuse trendid perioodidel 1951–2012 ja 1966–2012	21
Kokkuvõte	28
Summary.....	29
Tänuavaldus.....	31
Kasutatud kirjanduse loetelu	32

1. Sissejuhatus

Maailmas on aina suurenev vajadus toidu järele. Seetõttu otsitakse võimalusi, et suurendada põllukultuuride saagikust olemasolevates tingimustes. Teisalt on aktuaalne globaalne soojenemine. IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*) andmetel on maakera keskmine õhutemperatuur alates 1880. aastast tõusnud $0,85^{\circ}\text{C}$ võrra (IPCC, 2013). Eestis on õhutemperatuur 20. sajandi teisel poolel tõusnud $1,0\text{--}1,7^{\circ}\text{C}$ (olenevalt meteoroloogiajaamast) (Jaagus 2006). Sellest tulenevalt on huvipakkuv, kuivõrd avaldab kliima soojenemine mõju kasvuperioodile, eelkõige selle pikkusele ning aktiivsete temperatuuride summale selle jooksul. Pikem ja soojem kasvuperiood loob tingimused uute kultuuride kasvatamiseks piirkondades, kus see varem võimalik polnud.

Kliimamuutuste ning kasvuperioodi parameetrite (algus, lõpp ja kestus) seotus muudab vegetatsiooniperioodi muutlikkuse oluliseks indikaatoriks kliimamuutuste kohta (Menzel *et al.*, 2003; Ahas & Aasa, 2006; Linderholm *et al.*, 2008). Kasvuperioodi algust/lõppu on võimalik määrata nii temperatuuri lävendite abil kui ka taimede fenoloogiliste faaside saabumise kaudu. Nii näiteks loetakse kliimaatilise kasvuperioodi alguseks kuupäeva, millest alates ületab ööpäeva keskmine temperatuur 5°C (Linderholm, 2006). Püsiva temperatuuri ülemineku tingimuseks on, et positiivsete hälvete summa ületaks negatiivsete hälvete summat. Fenoloogilisteks faasideks võivad olla nt pungade puhkemine, õitsemise algus või lehtede langemine. Muutusi taimefenoloogias on peetud parimaks näitajaks analüüsima taimede reageeringut kliimamuutustele (Linderholm, 2006).

Eestis on kasvuperioodi kliimaatiliste aastaegade alusel uurinud nt. Jaagus (Jaagus 2001; Jaagus, 2006). Analüüsides kliimaatilisi aastaegu perioodil 1946–1998 17 meteoroloogiajaama andmete põhjal, leidis ta muuhulgas, et vegetatsiooniperioodi pikkuse keskmine territoriaalne muutlikkus Eestis on kaks nädalat, olles Tiirikojal 180 ning Vilsandil 194 päeva pikkune. Jaaguse (2001) uurimusest selgus, et kevade (kasvuperioodi) alguse aastatevaheline muutlikkus on keskmiselt 8 päeva ning varasemaksnihkumine kõigest üks päev kogu perioodi (1946–1998) jooksul. Hilissügise alguse (kasvuperioodi lõpu) aastatevaheline varieeruvus vaadeldaval perioodil oli 12 päeva, kuid usaldusväärset vegetatsiooniperioodi lõpukuupäeva nihkumist ei täheldatud. Sarnaseid tulemusi on Jaagus saanud kliimaatilise muutuste uuringus (Jaagus, 2006), kus kevade algus on perioodil 1951–2000 statistiliselt usaldusväärset varasemaks nihkunud vaid rannikujaamades, keskmiselt 9 päeva, ning hilissügise puhul statistiliselt usaldusväärseid muutusi ei esine.

Eestis on tehtud ka mitmeid uuringuid kasvuperioodi kohta fenoloogilisi andmeid kasutades (nt Ahas, 1999; Ahas *et al.*, 2000; Ahas & Aasa, 2006). Ahas (1999) andmetel on kasvuperiood aastatel 1917–1996 pikenenud 8 päeva võrra. Ahas jt (2000) jõudsid mõnevõrra teiste tulemusteni. Nad analüüsid 24 fenoloogilise faasi muutusi perioodil 1948–1996 ning leidsid, et taimede kevadised faasid on nihkunud varasemaks ning sügisesed hilisemaks. Ometigi lühenes kasvuperiood rukki fenoloogiliste faaside põhjal 4 päeva (Ahas *et al.*, 2000). See võib aga olla põhjustatud põllumajandustehnoloogilistest muutustest. Ahas ja Aasa (2006) on uurinud kliimamuutuste mõju taimede, lindude ja kalade fenoloogilistele faasidele perioodil 1948–1999. Tulemustest ilmnes, et ligi 80% uuritud fenoloogilistest faasidest esineb kevadel varem. Kevadperioodil olid statistiliselt oluliselt 5–20 päeva varasemaks nihkunud lindude fenoloogilised faasid ning 10–30 päeva kalade fenoloogilised faasid. Kasvuperiood pikenes vaadeldava perioodi jooksul usaldusväärselt Lääne-Eestis (Ahas & Aasa, 2006). Agrofenoloogilise määratluse alusel on Eestis kasvuperioodi uurinud ka Aasa (2001), kelle andmetel perioodil 1949–1999 toimus märgatavam varasemaks nihkumine sügiseste fenoloogiliste puhul ning kevadiste fenoloogiliste faaside korral oli muutus mõnevõrra väiksem (vt Aasa 2001). Aasa keskendus enam agrofenoloogilise kalendri koostamisele ning taimede fenoloogiliste faaside muutustele, mistõttu pikaajalisi muutusi kasvuperioodis otseselt ei uuritud ning kajastati üksnes vegetatsiooniperioodi territoriaalset muutlikkust.

Euroopas ning Põhja-Ameerikas, vähesemal määral ka Aasias on läbi viidud mitmeid kasvuperioodi uuringuid nii kliimatiliste kui ka fenoloogiliste aastaegade põhjal. Selle teema laiemat uuritust kogu maailmas on käsitletud järgmises peatükis.

Käesoleva töö eesmärgiks on

1. Analüüsida taimekasvuperioodi algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis.
2. Teha kindlaks pikaajaliste muutuste olemasolu nendes näitajates perioodil 1951–2012.

Töö peamiseks hüpoteesideks on kasvuperioodi pikenedamine kogu perioodi vältel (peamiselt kevade varasemaks nihkumise arvelt); kasvuperioodi suur territoriaalne varieeruvus (eeldatavalt on kasvuperiood Lääne-Eesti rannikul ja saartel mere mõju tõttu mandrialast oluliselt pikem) ning suurim varieeruvus kasvuperioodi lõpus.

Töös kasutatud andmed pärinevad Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) andmebaasist. Edasisteks arvutusteks kasutatud andmed olid esialgu ööpäevaste keskmiste temperatuuride kujul. Pikema uurimisperioodi 1951–2012 kohta kasutati 16 vaatlusjaama

andmeid. Lühema perioodi puhul kasutati täiendavalt veel kolme meteoroloogiajaama vaatlusandmeid.

Andmetöötlus viidi läbi *MS Excelis*, kaartide koostamiseks kasutati tarkvara *Surfer 7,0*.

Töö on jagatud kolmeks peatükiks. Esimeses antakse ülevaade antud valdkonna uurimustest Eestis ja välismaal. Teises peatükis kirjeldatakse kasutatud andmestikku ja metoodikat ning kolmas peatükk sisaldab tulemusi ja diskussiooni.

2. Varasemad uuringud kasvuperioodi kohta Eestis ja välismaal

Taimekasvuperioodi kestuse alased uuringud on olnud olulised, sealjuures ka kliima muutumise aspektist. Taimekasvuperioodi iseloomustavate näitajate leidmiseks on kasutatud erinevaid uurimismeetodeid.

Esiteks on vegetatsiooniperioodi muutust uuritud kliimaatiliste aastaegade alusel (Carter, 1998; Menzel *et al.*, 2003; Kozuchowski & Degirmendžic, 2005; Linderholm *et al.*, 2008). Selle meetodi puhul algab kevad (ja vegetatsiooniperiood) maapinnalähedase õhutemperatuuri püsival tõusmisel üle $+5^{\circ}\text{C}$ ning sügis (ja vegetatsiooniperiood) lõppeb õhutemperatuuri püsival langemisel alla $+5^{\circ}\text{C}$. Nende kahe kuupäeva vahelist perioodi käsitletakse kasvuperioodina.

Teiseks meetodiks on fenoloogiliste aastaegade saabumise uurimine (Ahas, 1999; Menzel & Fabian, 1999; Jaagus & Ahas, 2000; Schwartz & Reiter, 2000; Cayan *et al.*, 2001; Ahas *et al.*, 2002; Sparks & Menzel, 2002). Sedalaadi uurimuse käigus võrreldakse, kuidas on muutunud kindlate fenoloogiliste faaside saabumine taimedel, kuid uuritakse ka muid fenoloogilisi protsesse looduses, nt jõgede kevadise suurvee algust (Cayan *et al.*, 2001). Samuti on tehtud uurimusi loomaliikide fenoloogia kohta, nt lindude rände seos kevade algusega (Bradley *et al.*, 1999; Cotton, 2003) ning lindude pesitsuse algus. Vegetatsiooniperioodi seisukohalt on tähtsad need fenoloogilised protsessid, mis märgivad kas kevade algust või sügise lõppu.

Kolmanda meetodina on vegetatsiooniperioodi uurimiseks kasutatud olemasolevate uurimisjaamade andmete võrdlemist kaugseire andmetega (White *et al.*, 1997; Chen *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2011). Neljanda meetodina uuritakse atmosfääri tsirkulatsiooni mõju kliimaatiliste aastaegade algusele (Jaagus *et al.*, 2003; Paluš *et al.*, 2005; Qian *et al.*, 2009). Rohkem on vegetatsiooniperioodi käsitlevaid uurimusi Põhja-Ameerika ja Euroopa kohta, aga neid on tehtud ka Hiinas (Chen *et al.*, 2005) ja Jaapanis (Matsumoto *et al.*, 2003).

Vegetatsiooniperioodi muutumist Põhjamaades kliimaatiliste aastaegade alusel on uurinud Carter (1998). Ta analüüsis, kuidas on muutunud vegetatsiooniperioodi algus, lõpp, kestus ja intensiivsus perioodil 1890–1995. Kasutati üheksa jaama keskmiste õhutemperatuuride andmeid Põhjamaades (Island, Taani, Norra, Rootsi, Soome). Statistiliste järelduste tegemiseks jaotati uurimisperiood omakorda 35 aasta pikkusteks perioodideks. Kasvuperioodi alguseks loeti päeva, millele eelneval viiel päeval ületas õhutemperatuur $+5^{\circ}\text{C}$, ning lõpuks päeva, millele eelnenud kümnepäevase perioodi keskmine temperatuur jäi alla $+5^{\circ}\text{C}$. Keskmiseks vegetatsiooniperioodi pikkuseks saadi 176 päeva (Carter, 1998). Selgus, et

vegetatsiooniperiood on märkimisväärselt pikenenud kõigis vaatlusjaamades perioodidel 1891–1925 ning 1926–1960. Peale seda kuni tänaseni on vegetatsiooniperioodi pikenedamine jätkunud, kuigi aeglasema tempoga, kõigi kaheksa Fennoskandia vaatlusjaama andmete põhjal, üksnes Islandil on vegetatsiooniperiood lühenenud (Carter, 1998). Märkimisväärselt võib pidada, et kuigi vegetatsiooniperiood on pidevalt pikenenud, siis 20. sajandi viimastel aastakümnetel ei ole efektiivsete temperatuuride summa vegetatsiooniperioodil kasvanud, vaid hoopis vähenenud. Erandiks on Turu vaatlusjaam Soomes (Carter, 1998). Vaatlusperioodil 1890–1995 on vegetatsiooniperiood pikenenud keskmiselt 1–9 päeva (Carter, 1998). Vegetatsiooniperiood on pikenenud seetõttu, et selle algus on nihkunud varasemaks ning lõpp hilisemaks.

Linderholm, Walther ja Chen (2008) on vegetatsiooniperioodi uurinud samalaadsete meetoditega Läänemere piirkonnas perioodil 1901–2000, kasutades 48 uurimisjaama andmeid. Sarnaselt Carterile (1998) kasutati temperatuurilävendina $+5^{\circ}\text{C}$, kuid kasvuperioodi lõpuks loeti päeva, millele eelnenud 10-päevase perioodi jooksul oli temperatuur olnud püsivalt alla $+5^{\circ}\text{C}$. Lisaks kogu uurimisperioodile (1901–2000) analüüsiti ka kahte lühemat perioodi: 1901–1950 ja 1951–2000 (Linderholm *et al.*, 2008). Linderholm jt (2008) leidsid, et uurimisala kesk- ja lääneosas on vegetatsiooniperioodi algus nihkunud varasemaks (Kopenhaagenis algab vegetatsiooniperiood varasemaga võrreldes 20 päeva varem), kuid idapoolsetes osades on vegetatsiooniperioodi algus nihkunud hoopiski hilisemaks (Söktövkaris, Venemaal vastavalt 5,7 päeva). Samuti esineb erinevusi vegetatsiooniperioodi lõpu suhtes. Perioodil 1901–2000 on vegetatsiooniperioodi lõpp märkimisväärselt edasi lükkunud Kopenhaagenis, Stockholmis ja Helsingis (vastavalt 12,6; 11,7 ja 10,5 päeva) ning varasemaks nihkunud Arhangelskis ühe nädala võrra (Linderholm *et al.*, 2008). Vegetatsiooniperiood tervikuna on Läänemere piirkonnas Linderholmi jt. andmetel perioodil 1901–2000 selgelt pikenenud ning üksnes Arhangelskis lühenenud 3,6 päeva võrra. Keskmiselt on vegetatsiooniperiood perioodil 1951–2000 36 jaama andmete põhjal alanud 6,3 päeva varem ja lõppenud 1,1 päeva hiljem, seega on vegetatsiooniperiood keskmiselt pikenenud 7,4 päeva võrra.

Erinevalt eelnenutest ei ole Kozuchowski ja Degirmendžić'i (2005) uurimuse põhjal kasvuperiood Poolas perioodil 1951–2000 usaldusväärselt pikenenud. Vaadeldud 5 meteoroloogiajaama andmete põhjal nihkusid varasemaks nii kasvuperioodi algus kui ka lõpp, mistõttu muutust pikkuses ei esinenud. Kui Lääne-Poolas võis täheldada kasvuperioodi pikenedamist, siis Ida- ja Kesk-Poolas esines vastupidine trend (Kozuchowski & Degirmendžić,

2005). Arvestatav kasvuperioodi pikenemine toimus Szczecinis, 5 päeva võrra, ning peamiselt kevade varasemaks nihkumise tõttu. Kesk-Poolas, Lodzis, lühenes kasvuperiood 10 päeva võrra (Kozuchowski & Degirmendžic, 2005).

Muutusi kliimaatilises kasvuperioodis Saksamaal perioodil 1951–2000 on uurinud Menzel jt (2003), kes võrdlesid tulemusi 16 taime fenoloogiliste andmetega teistest Euroopa riikidest (Austria, Šveits, Eesti). Kasutati 41 meteoroloogiajaama temperatuurandmeid ning kasvuperioodi pikkuse määratlemiseks kasutati erinevaid temperatuuri lävendeid. 5°C lävendi puhul on kasvuperioodi algus nihkunud 6,5 päeva varasemaks, lõpp 4,5 päeva hilisemaks ning kasvuperiood pikenenud 11 päeva võrra (Menzel *et al.*, 2003).

Ahas (1999) on analüüsinud pikaajalisi fenoloogilisi aegridasid hindamaks kliimamuutusi Eestis kolme vaatlusjaama andmete (Hellenurme, Paide, Pedaspää) põhjal. Kasutati põldlõokese (*Alauda arvensis*) ja linavästriku (*Motacilla alba*) saabumiskuupäevade andmeid 132 aasta kohta (1865–1996), võsaülase (*Anemone nemorosa*), toominga (*Padus racemosa*), õunapuu (*Malus domestica*) ja sireli (*Syringa vulgaris*) õitsemise andmeid 78 aasta kohta (1919–1996) ning haugi (*Esox lucius*) ja latika (*Abramis brama*) kudemise andmeid 44 aasta kohta (1952–1996). Selgus, et viimase 80aastase perioodi jooksul on kevade algus nihkunud keskmiselt 8 päeva võrra varasemaks ning viimase 40 aasta jooksul on trend veelgi tugevnenud (Ahas, 1999). Uuritud taimeliikide õitsemine oli vaadeldaval perioodil varasemaks nihkunud 3–14 päeva, enim võsaülase ja sireli puhul (vastavalt 14 ja 9 päeva). Samuti täheldati haugi ja latika kudemise varasemaks nihkumist vastavalt 6 ja 8 päeva võrra. Põldlõokese ja linavästriku puhul võis täheldada aga hilisemat saabumist (vastavalt 5 ja 6 päeva). Seesugune erinevus võrreldes taimede ja kaladega tuleneb sellest, et lineaaranalüüs ei sobi üldjuhul 50 aastast pikemate perioodide puhul (Ahas, 1999).

Sarnaselt Ahasele (1999) on võimalikke muutusi kevade alguskuupäevas erinevate fenoloogiliste näitajate alusel analüüsinud Bradley jt (1999), kes uurisid muutusi põhjakardinali (*Cardinalis cardinalis*) esimeses laulukuupäevas, lindude saabumises ning erinevate taimeliikide õitsemises 61aastasel perioodil (1936–1998) Lõuna-Wisconsinis, USA-s. Fenoloogilised andmeid olid kogutud perioodidel 1936–1947 ning 1976–1998 ja hilisema vaatlusperioodi andmeid hinnati eelnevast täpsemateks. Kasutati 55 erinevat fenoloogilist faasi, mille kohta olid andmed mõlemal perioodil (Bradley *et al.*, 1999). Selgus, et kõigist fenoloogilistest faasidest oli usaldusväärselt varasemaks nihkunud 17 ning 55 uuritud fenoloogilise faasi keskmine muutus kogu perioodil oli 0,12 päeva aasta kohta ehk ligikaudu 7 päeva 61 aasta kohta (Bradley *et al.*, 1999). Suurimat muutust võis täheldada

põhjakkardinali esmase laulu (nihkunud ligikaudu 22 päeva varasemaks kogu perioodi vältel) ning hane (*Branta canadensis*), *Sayornis phoebe* ja *Troglodytes aedon* puhul, kelle saabumine on kogu perioodi vältel nihkunud 29, 18 ja 17 päeva võrra varasemaks, millest võib järeldada, et kevade varasem algus avaldab mõju fenoloogilistele faasidele.

Kinnitamaks kliimamuutusi ning kasvuperioodi pikenemist on Cotton (2003) uurinud lindude rände fenoloogiat. Kui Ahas (1999) ning Bradley (1999) keskendusid lindude puhul eelkõige saabumiskuupäeva muutusele, siis Cotton on lisaks analüüsinud muutusi lindude äralennukuupäevas ning kogu kohaloleku perioodis Oxfordshire'is Suurbritannias 30 aasta jooksul (1971–2000). Ta kasutas 20 rändlinnuliigi andmeid, mis olid valitud tingimusel, et linnud rändavad üle Sahara kõrbe ning olemas on vähemalt 25 aasta andmed 30-st. Tulemustest selgus, et nii lindude saabumine kui ka äralend on nihkunud 8 päeva varasemaks, mistõttu kohalolekuaeg on püsinud muutumatuna (Cotton, 2003).

Menzel ja Fabian (1999) on fenoloogilist andmestikku (harilik robiinia ehk *Robinia pseudoacacia*), mis saadi Rahvusvahelistest Fenoloogia Aedadest, uurides leidnud, et perioodil 1959–1993 on vegetatsiooniperiood Euroopas pikenenud 10,8 päeva võrra, millest 6 päeva tuleb varasemaks nihkunud kevade ning 4,8 päeva hilinenud kasvuperioodi lõpu arvelt. Ainsa erandina võib välja tuua Balkani piirkonna, kus kevade algus on varasemaga võrreldes hilisemaks lükkunud (Menzel & Fabian, 1999).

Sarnaseid tulemusi Menzeli ja Fabianiga (1999) on saanud ka Jaagus ja Ahas (2000), kes uurisid kliimatiliste aastaegade ja fenoloogiliste protsesside vahelisi seoseid Eestis perioodil 1946–1998. Nad kasutasid 23 meteoroloogiajaama andmeid kliimatiliste aastaegade alguse kohta ning 16 jaama fenoloogilisi andmeid, mis saadi Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudist (1964–1995) ning Eesti Loodusuurijate Seltsist (1951–1995). Pikaajalisi kliimatiliste aastaegade kõikumisi ja trende analüüsiti Tartu jaama põhjal, kasutades andmeid ajavahemiku 1891–1998 kohta (Jaagus & Ahas, 2000). Uuriti tolmlamise algust kuuel puuliigil ning rukki erinevaid arengustaadiumeid, kasutades üksnes kevade ja suve fenoloogilisi faase. Pikaajaliste trendide arvutamiseks kasutati Paide uurimisjaama fenoloogilisi andmeid perioodil 1919–1996 (Jaagus & Ahas, 2000). Leidmaks statistilisi seoseid fenoloogiliste faaside ning kliimatiliste aastaegade alguse vahel, kasutasid Jaagus ja Ahas (2000) regressioonianalüüsi usaldusväärse tasemel $p < 0,05$. Tulemustest selgus, et nii kliimatiline kevad kui ka kevadega seotud fenoloogilised faasid levivad Kagu-Eestist loode suunas ning hilissügis algab Lääne-Eesti saartel hiljem kui Ida-Eestis. Kliimatiliste aastaegade ja fenoloogiliste faaside alguse ajaline varieeruvus Eesti territooriumil on kuni

paar-kolm nädalat. Kõige tugevam seos esineb fenoloogiliste faaside (vahtra õitsemine, kase lehtimine) ja kevade alguse vahel (Jaagus & Ahas, 2000). Statistiliselt usaldusväärsete andmete saamiseks jagati vaadeldav periood, kasutades 9 jaama andmeid, omakorda kaheks: 1947–1971 ja 1972–1996. Tulemustest selgus, et esimesel perioodil olid seosed kliimaatiliste aastaegade alguse ning fenoloogiliste faaside vahel tugevamad. Ainsaks erandiks oli seos kevade algusega (Jaagus & Ahas, 2000). Jaaguse ja Ahase (2000) andmetel võib öelda, et vegetatsiooniperiood pikenes Eestis perioodil 1891–1998 Tartu vaatlusjaamas 11 päeva võrra. Fenoloogiliste trendidena võib välja tuua kevadiste fenoloogiliste faaside nihkumise varasemaks, millest statistiliselt usaldusväärsed on sireli ja metsülase õitsemise alguskuupäev. Analüüsi tulemusel ilmnes ka, et kliimaatiliste aastaegade ajalis-ruumiline muutlikkus on Eestis suurem kui fenoloogiliste faaside puhul.

Eelnenutega sarnaseid tulemusi on saanud ka Schwartz ja Reiter (2000) Põhja-Ameerikas. Nad uurisid fenoloogiliste faaside saabumise muutusi kasutades olemasolevat fenoloogilist andmestikku ning modelleeritud andmeid sireli (*Syringa vulgaris*) lehtimise ja õitsemise kohta. Päevased maksimumtemperatuuride andmed saadi USA Daily Historical Climatology Network'-ist ning COOP Network'-ist. Võrdluseks kaasati ka Kanada kliimaandmed. Uurimisel oli perioodiks 1959–1993. Ilmnesid tugevad regionaalsed mustrid sireli õitsemise alguse nihkumises varasemale ajale. Eriti selgelt ilmnes see Edela-Kanadas ning Loode-Ameerikas. Selgus, et kevad on nihkunud 5–6 päeva võrra varasemaks (Schwartz & Reiter, 2000). Statistiliselt usaldusväärse trendina võib Schwartzi ja Reiteri uurimistulemuste põhjal välja tuua sireli lehtimise nihkumise 5,4 päeva ja sireli õitsemise nihkumise 4,2 päeva võrra varasemaks uuritava perioodil.

Muutusi kevade alguses fenoloogiliste faaside põhjal Põhja-Ameerikas, USA lääneosas perioodil 1950–1995 on uurinud ka Cayan jt (2000), kes sarnaselt Schwartzile ja Reiterile (2000) kasutasid sireli õitsemise andmeid ning lisaks kuslapuu (*Lonicera*) õitsemise ja kevadise suurvee alguse kuupäevi. Sirel ja kuslapuu valiti nende laia leviala tõttu. Tulemustest selgus, et sireli ja kuslapuu õitsemise aastatevaheline muutlikkus on 1–3 nädalat ning alates 1970-ndatest on selge nihkumine varasema poole (õitsemine on 5–10 päeva eelnenud perioodiga varasem), samuti oli varasemaksnihkumise trend kevadise suurvee alguse puhul, mis oli sireli ja kuslapuu andmetega heas korrelatsioonis (Cayan *et al.*, 2000).

Ahas jt (2002) on uurinud kevade fenoloogiat Ida- ja Lääne-Euroopas perioodil 1951–1998, kasutades 104 vaatlusjaama andmeid kuue fenoloogilise faasi (sarapuu (*Corylus avellana*), varsakabja (*Tussilago farfara*), sireli (*Syringa vulgaris*), õunapuu (*Malus domestica*) ja pärna

(*Tilia cordata*) õitsemine ning kase (*Betula pendula*) lehtimine) kohta. Selgus, et kevadised faasid on Lääne- ja Kesk-Euroopas nihkunud nelja nädala võrra varasemaks ning Ida-Euroopas kahe nädala võrra hilisemaks. Seesuguste ruumiliste erinevuste põhjuseks on ühelt poolt soojad Atlandi ookeani õhumassid, mis soodustavad varasemat kevade teket Lääne- ja Kesk-Euroopas ning teisalt Siberi maksimum, mis muudab kevade jahedamaks (Ahas *et al.*, 2002). Suurima aastatevahelise muutlikkusega oli varsakabi (11 päeva) ning väiksemaga sirel (8 päeva), ruumiliselt on muutlikkus suurem Lääne-Euroopas (12 päeva) ning väikseim Ida-Euroopas (6–8 päeva) (Ahas *et al.*, 2002).

White jt (1997) töötasid välja ühe võimaliku meetodi vegetatsiooniperioodi määratlemiseks kaugeireandmete põhjal ning võrdlesid saadud tulemusi maapealsete fenoloogiliste mõõtmisandmetega, et selgitada võimaliku vea suurus. Kasutati 56 NOAA-11 AVHRR pilte 20x20 km uurimisala kohta perioodil 1990–1992 USA-s ja Lõuna-Kanadas. Uurimisala koosnes 400 1 km AVHRR pikslist ning kõik 400 NDVI väärtust arvatati ümber $NDVI_{ratio}$ väärtuseks nii, et nende väärtus jääks vahemikku 0 kuni 1 (vt White *et al.*, 1997). Sellest tulenevalt loeti kasvuperioodi alguseks päeva, mil $NDVI_{ratio}$ ületas 0,5 väärtust ning kasvuperioodi lõpuks vastupidist olukorda. Saadud tulemuste võrdlemisel maapealsete vaatlusandmetega selgus, et koguviga kasvuperioodi alguse määratlemisel on 7,2 päeva heitlehise metsa bioomi puhul ja 6,1 päeva rohumaa bioomi puhul ning koguviga kasvuperioodi lõpu puhul on vastavalt 5,3 ja 6,3 päeva (White *et al.*, 1997). Kuna tegemist oli lühikese uurimisperioodiga, siis mingisuguseid järeltusi muutuste kohta kasvuperioodis polnud võimalik teha.

Chen jt (2005) on fenoloogiliste ja NDVI andmete alusel uurinud kasvuperioodi Ida-Hiina parasvöötmes perioodil 1982–1993. Kasutati fenoloogilisi andmeid 173 liigi kohta ning 7 jaama tulemuste põhjal tehti üldistused kogu ala kohta. Vastupidiselt sarnastele uuringutele Euroopas ja Põhja-Ameerikas pikenes kasvuperiood Ida-Hiinas enim sügise hilisemaks nihkumise kui varasema kevade arvelt. Vegetatsiooniperiood pikenes põhjapoolsetes osades kuni 3,6 päeva aasta kohta ning keskmiselt 1,4 päeva kogu uurimisalal (Chen *et al.*, 2005).

Hiljuti on Zhu jt (2011) eelnenutega sarnastel meetoditel uurinud muutusi Põhja-Ameerika kasvuperioodis perioodil 1982–2006. Satelliitpilte võrreldi 73 taimeliigi andmetega 802 vaatlusjaamast. Sarnaselt Chen'i jt leiti, et kasvuperiood on pikenenud peamiselt selle lõpu hilisemaksnihkumise arvelt, 17 päeva kogu perioodi kohta, millest 14 moodustab kasvuperioodi lõpu hilisem algus (Zhu *et al.*, 2011).

Lisaks eelnevatele on uuritud vegetatsiooniperioodi kliimaatiliste aastaegade alusel ning uuritud võimalikku seost atmosfääri tsirkulatsiooniga.

Näiteks Jaagus jt. (2003) uurisid kliimaatilisi aastaagegu Ida-Euroopa platvormil 73 meteoroloogiajaama andmete põhjal perioodil 1946–1995 ja 12 jaama andmete põhjal perioodil 1881–1995. Leiti, et kasvuperiood algab varem edelas ning levib kirde suunas, kasvuperioodi lõpul vastupidiselt. Aastatevaheline muutlikkus perioodil 1946–1995 kasvuperioodi alguse ja lõpu puhul oli vastavalt 10 ja 11 päeva. Samas pikaajalisi muutusi kasvuperioodi alguses praktiliselt ei esine, üksnes Kaspia madalikus võib täheldada varasemat algust (Jaagus *et al.*, 2003). See-eest pikema perioodi puhul (1881–1995) võis täheldada kasvuperioodi märkimisväärselt varasemat algust. Selgus, et kliimaatiliste aastaegade algused on korrelatsioonis atmosfääri tsirkulatsiooni näitajatega. Kasvuperioodi algus on tugevas positiivses korrelatsioonis idatsirkulatsiooniga ning negatiivses korrelatsioonis tsonaalse tsirkulatsiooniga. Kasvuperioodi hiline lõpp leiti olevat seotud läänetsirkulatsiooniga ning varajane lõpp põhjatsirkulatsiooniga.

Paluš jt (2005) on uurinud kliimaatiliste aastaegade seoseid NAO-ga (Põhja-Atlandi ostsillatsioon – vastandmargilised õhurõhu kõikumised Assoori maksimumi ja Islandi miinimumi vahel) Euroopa keskmistel laiustel perioodidel 1901–1999 (viie meteoroloogiajaama põhjal) ning 1775–2001 (kahe meteoroloogiajaama põhjal). Tulemustest selgus, et kasvuperiood on 1990-ndatel võrreldes perioodiga 1950–1980 nihkunud 4–6 päeva varasemaks ning kasvuperioodi lõpus tähelepanuväärseid muutusi ei esinenud (Paluš *et al.*, 2005).

Hiljem on kevade (kasvuperioodi) alguse seost NAO-ga uurinud Qian jt (2009) Stockholmis, Rootsis perioodil 1756–2000. Esmalt leiti temperatuuriandmete põhjal muutused kevade alguses. Selgus, et perioodil 1757–1884 nihkus kevade algus 6,9 päeva sajandi kohta hilisemaks, 1885–1999 aga 7 päeva sajandi kohta varasemaks. Perioodil 1901–1999 algas kevad 100 aasta kohta 8 päeva varem (Qian *et al.*, 2009). Sellest tulenevalt võib väita, et kevade varasemaks nihkumise trend on järjest tugevnenud. Kevade alguse seost NAO-ga täheldati vaid mõnedel kümnenditel kogu uurimisperioodi vältel (Qian *et al.*, 2009).

Kokkuvõttes järeldub, et kasvuperiood on Põhjamaades 20. sajandi jooksul pikenenud keskmiselt 1–9 päeva, erandiks on Island, kus võib täheldada vastupidist. Keskmiseks kasvuperioodi pikkuseks on 176 päeva. Sarnaseid tulemusi on täheldatud Läänemere piirkonnas, kus vegetatsiooniperiood pikenes eelmise sajandi jooksul keskmiselt 7,4 päeva.

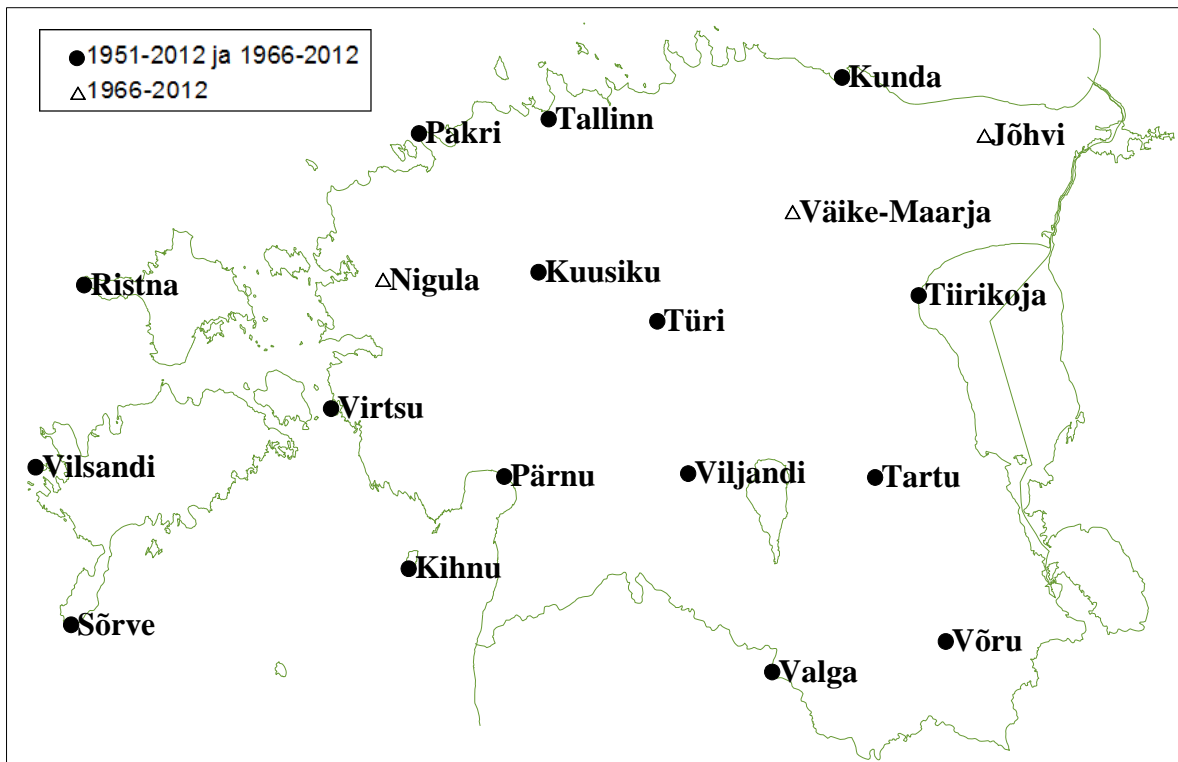
Perioodil 1891–1998 pikenes kasvuperiood Eestis Tartu vaatlusjaama andmetel 11 päeva. Eestis on kasvuperioodi algus aastatel 1919–1996 erinevate fenoloogiliste andmete põhjal nihkunud keskmiselt 8 päeva varasemaks. Saksamaal toimus 20. sajandi teisel poolel kasvuperioodi pikenedamine 11 päeva võrra. Samas Poolas 20. sajandi teisel poolel kasvuperioodi pikenedamist ei täheldatud. Erandiks on ka Loode-Venemaa meteoroloogijaamad, kus on toimunud kasvuperioodi lühenedamine ligi 4 päeva võrra. Üldjoontes on Lääne- ja Kesk-Euroopas kevad (peamiselt fenoloogiliste faaside uurimuste alusel) eelmise sajandi teisel poolel nihkunud ligi kuu aega varasemaks, kuid Ida-Euroopas kahe nädala võrra hilisemaks.

Põhja-Ameerikas on täheldatud eelmise sajandi kuuel viimasel kümnendil fenoloogiliste andmete põhjal Euroopaga võrreldavaid tulemusi ning sealne kasvuperiood algab keskmiselt 7 päeva varem. Põhja-Ameerika loodeosas on eelmise sajandi viimasel neljal kümnendil kevade algus 5–6 päeva varasem. USA lääneosas on täheldatud taimede kevadiste fenoloogiliste faaside nihkumist varasemaks suisa 5–10 päeva võrra.

Hiinas kaugseire ja fenoloogiliste andmete põhjal tehtud uuringust selgus, et aastatel 1982–2006 pikenes sealne kasvuperiood keskmiselt ligi 17 päeva, eelkõige hilisema lõpu arvelt. Seesugune suur erinevus eelnevate uuringutega tuleneb ühelt poolt uurimisperioodi lühidusest ning teisalt kasvuperioodi pikenedamise tendentsi tugevnemisest. Sellist oletust kinnitab ka Zhu jt (2011) samalaadne uurimus Põhja-Ameerikas aastatel 1982–2006, mil kasvuperiood pikenes kogu perioodi vältel 17 päeva.

3. Andmed ja meetodika

Käesolevas uurimuses kasutati Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) temperatuuriandmeid 62-aastase perioodi (1951–2012) kohta Võru, Valga, Viljandi, Tartu, Tiirikoja, Türi, Pärnu, Kihnu, Virtsu, Vilsandi, Sõrve, Ristna, Pakri, Tallinna, Kuusiku ja Kunda vaatlusjaamadest. Lisaks kasutati täiendavalt kolme jaama – Nigula, Väike-Maarja ja Jõhvi – andmeid lühemate perioodide (vastavalt 1964–2012, 1963–2012 ja 1960–2012) kohta. Kokku kasutati töös 19 vaatlusjaama andmeid (joonis 1).



Joonis 1. Töös kasutatud EMHI vaatlusjaamade asukohad.

Andmete töötlemiseks kasutati *MS Excelit* ning kaartide vormistamiseks tarkvara *Surfer 7,0*. Algsed ööpäevased temperatuuriandmed olid *MS Exceli* tabelite kujul.

Kuna perioodi 2001–2012 andmed olid olemas vaid ööpäevaste keskmiste temperatuuridena, siis tuli esmalt leida kasvuperioodi algus- ja lõppkuupäevad. Kasvuperioodi alguskuupäevaks loeti päeva, mil ööpäeva keskmine õhutemperatuur tõusis püsivalt üle $+5^{\circ}$. Kasvuperioodi lõpukuupäevaks loeti vastavalt päeva, mil ööpäeva keskmine temperatuur langes püsivalt alla 5° . Püsivaks üleminekuks loeti kuupäeva, mille puhul üle $+5$ kraadiste päevade keskmise piirväärtuse hälvete summa ületas alla $+5$ kraadiste päevade hälvete summa. Olukorras, kus positiivsete ja negatiivsete hälvete hulk oli võrdne, märkis kasvuperioodi algust kuupäev, mil temperatuur esmakordselt tõusis üle 5 kraadi.

Peale kasvuperioodi algus- ja lõpukuupäevade leidmist kontrolliti nende õigsust kogu perioodi (1951–2012) vältel, võrreldes naaberjaamade andmeid. Kui esines ebaloogilisusi andmetes, siis teostati täiendavad arvutused ning vajaduse korral viidi sisse parandused algus- ja lõpukuupäevades. Peale kasvuperioodi algus- ja lõpukuupäevade määramist arvutati kasvuperioodi pikkus kogu perioodi vältel. Andmete vastavust normaaljaotusele kontrolliti tarkvaraprogrammiga *SPSS Statistics 20*.

Seejärel leiti kasvuperioodi alguse, lõpu ja kestuse kohta olulisemad statistilised näitajad – keskväärtused, äärmusväärtused, mediaan, mood, asümmeetria, ekstsesskordaja ja standardhälve – kõikide jaamade kohta kahel perioodil – 1951–2012 ning 1966–2012. Samuti arvutati *MS Excelis* trendid ning nende usaldusväärsust kontrolliti $p < 0,05$ tasemel.

Leitud kasvuperioodi keskmiste algus- ja lõpukuupäevade ning kestuse andmete põhjal koostati keskmiste kaardid. Kaardid on interpoleeritud krigingi meetodil, kasutades tarkvara *Surfer 7,0*.

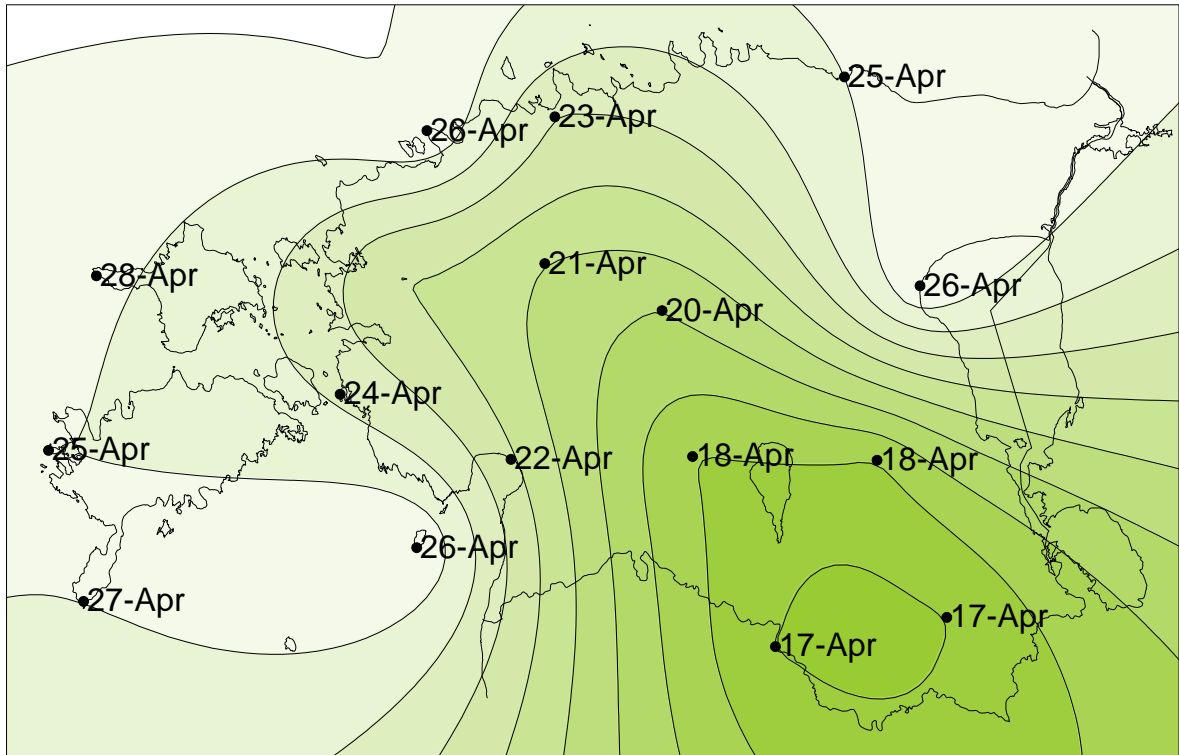
4. Tulemused ja diskussioon

4.1 Kasvuperioodi statistiliste näitajate analüüs

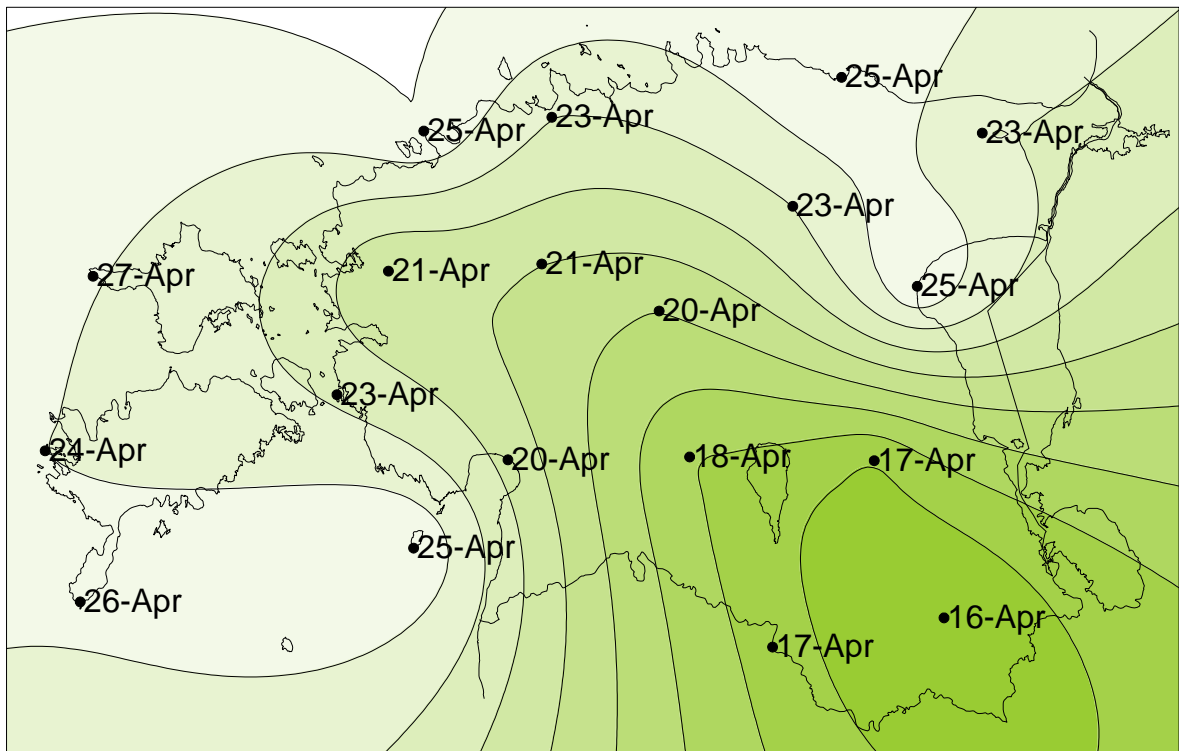
Kasvuperioodi algus- ja lõpukuupäevad ning kestus varieeruvad Eesti territooriumil suuresti. Kasvuperioodi alguse üldine levikusuund on kagust loodesse (joonis 2). Kasvuperiood algab varem Kagu-Eestis ning seal toimub kiire soojenemine. Mere jahutava mõju tõttu algab Lääne- ja Põhja-Eesti rannikualadel ning saartel kasvuperiood hiljem. Ajaline varieeruvus kasvuperioodi alguskuupäevas on suur. Kui Kagu-Eestis algab kasvuperiood keskmiselt 17. aprillil (Valga, Võru), siis Lääne-Eesti saartel ligikaudu ligi kaks nädalat hiljem. Kõige hiljem algab kasvuperiood Ristnas vastavalt 28. aprillil. Kasvuperioodi keskmine alguskuupäev Eestis perioodil 1951–2012 oli 23. aprill ning lühema perioodi 1966–2012 puhul 22. aprill (joonis 3). Samadele tulemustele on jõudnud ka Jaagus (2013) ning mõningaid erinevusi esineb tema varasemate uurimustega (Jaagus, 2001; Jaagus, 2006), sest kasvuperioodi algus on nihkunud varasemaks.

Kasvuperioodi alguse ajaline muutlikkus on kogu Eestis küllaltki ühtlane (tabel 1). Võrreldes kasvuperioodi lõpu ja kestusega on kasvuperioodi alguse ajaline muutlikkus kõige väiksem, standardhälve on keskmiselt 9 päeva, mis on võrreldav Jaagusega (2013) ning mõnevõrra suurem tema varasema uurimusega (Jaagus, 2001) võrreldes. Sellest järeldub, et olenemata sellest, kas talv on pakaseline või pehme, algab kasvuperiood ikkagi küllaltki samal ajal. Suurim aastatevaheline muutlikkus perioodil 1951–2012 esineb Võrus (11 päeva) ning väikseim Jõhvis (7 päeva). Ilmneb, et kasvuperioodi alguse aastatevahelisel muutlikkusel pole olulisi erinevusi saarte ja rannikuäärsete ning maismaa jaamade vahel.

Lühema perioodi (1966–2012) puhul võib täheldada mõningasi erinevusi pikema perioodiga. Nimelt on aastatevaheline muutlikkus mõnevõrra suurem. Kasvuperioodi varaseim algus, 16. märts, registreeriti 1990. aastal Võrus ja hiliseim, 17. mai, 1978. aastal Vilsandil.



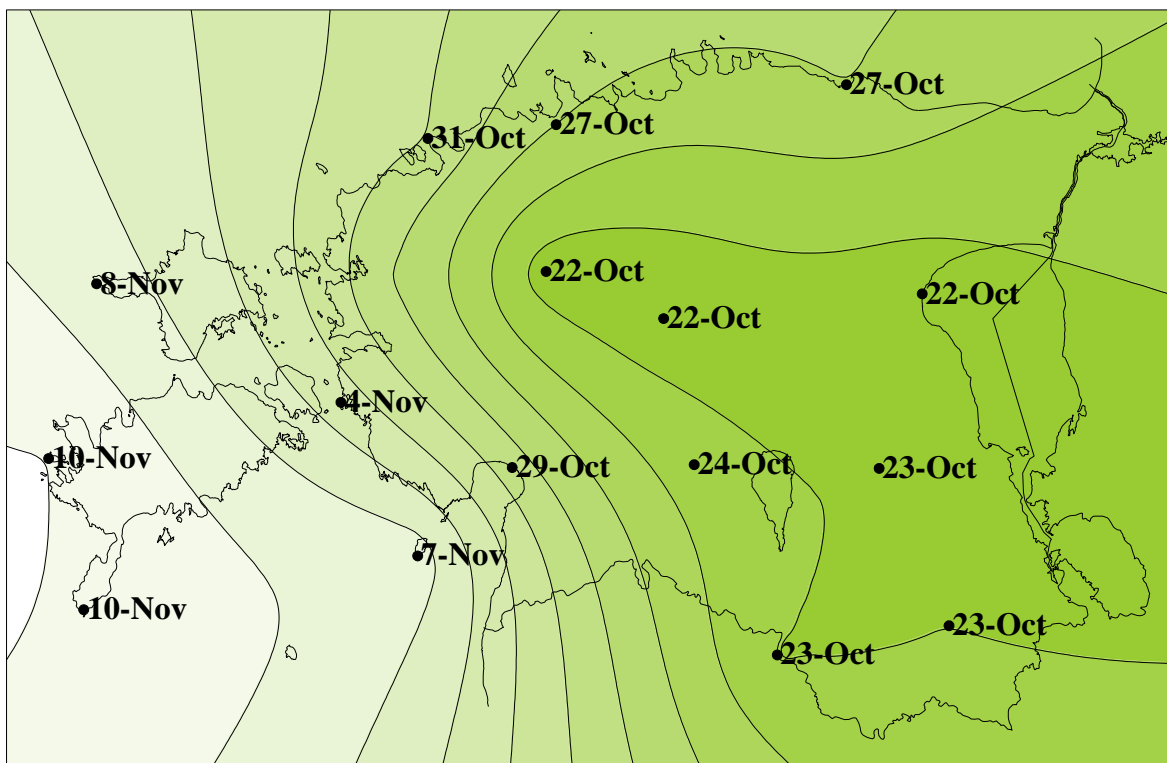
Joonis 2. Kasvuperioodi keskmine alguskuupäev (perioodil 1951–2012).



Joonis 3. Kasvuperioodi keskmine alguskuupäev (perioodil 1966–2012).

Kasvuperioodi keskmise lõpukuupäeva üldine levikusuund perioodil 1951–2012 on idast läände (joonis 4). Kõige varem lõpeb kasvuperiood Peipsi ääres Tiirikojal, Türil ja Kuusikul,

22. oktoobril. Kui sisemaajaamades lõpeb kasvuperiood mõnepäevaste vahedega idast lääne suunas, siis Põhja- ja Lääne-Eesti rannikualadel ja saartel 1–2 nädala võrra hiljem. Hilisemalt saabub kasvuperiood Saaremaa läänerrannikul Sõrve ja Vilsandi jaamades 10. novembril, mis Tiirikojaga võrreldes on ligi kolm nädalat hilisem. Võrreldes Jaagusega (2001) lõpeb kasvuperiood veelgi hiljem, kuni kolme päeva võrra olenevalt meteoroloogiajaamast.

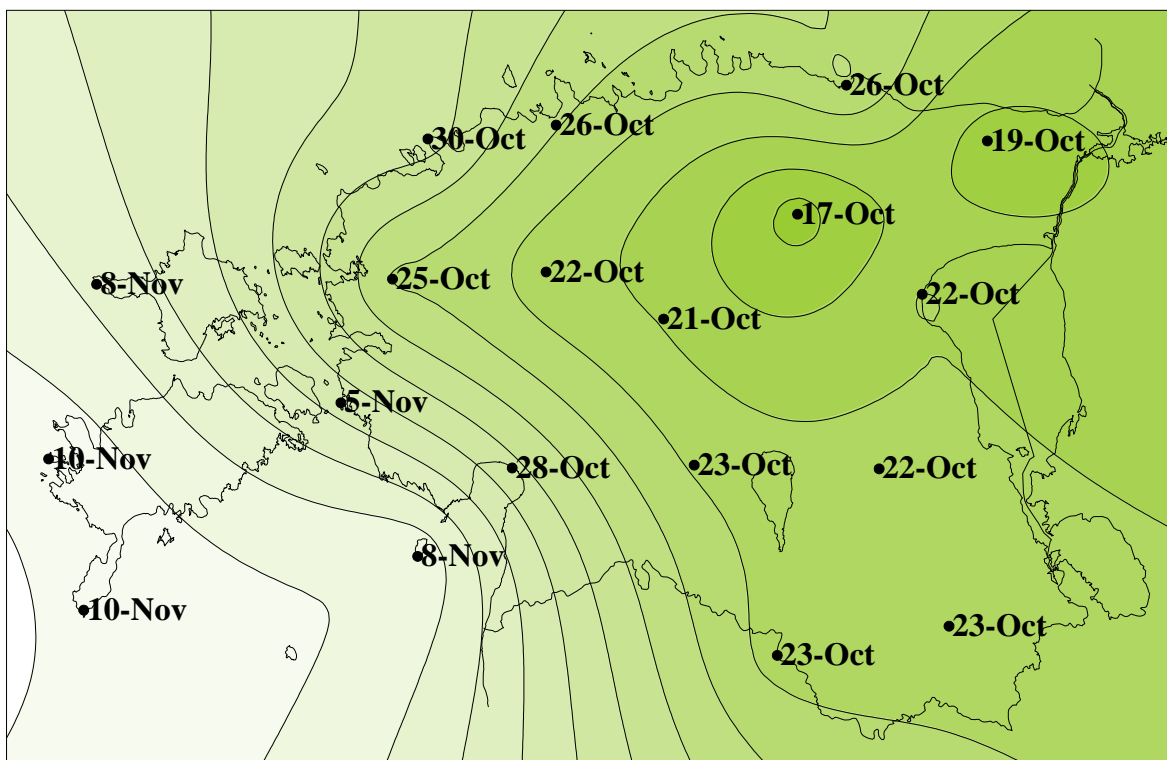


Joonis 4. Kasvuperioodi keskmine lõpukuupäev (perioodil 1951–2012).

Lühema vaatlusperioodi 1966–2012 puhul on kasvuperioodi lõpu alguse muster pikema perioodiga võrreldes veidi erinev, sest täiendavalt on kasutatud Nigula, Väike-Maarja ning Jõhvi jaamade andmeid. Selgub, et sügisene jahtumine saab alguse Kirde-Eestist Pandivere kõrgustikult (joonis 5), kus asuvas Väike-Maarja vaatlusjaamas lõpeb kasvuperiood keskmiselt 17. oktoobril, mis on Kagu-Eestiga võrreldes nädala võrra varasem ning Lääne-Eesti saartega võrreldes ligi kuu aega varasem. Sarnastele tulemustele on jõudnud ka Jaagus (2013), kuid ilmneb, et kasvuperioodi lõpu hilisemaksnihkumise trend tugevneb, sest kõigest kõigest kaks aastat pikema uurimisperioodi puhul käesolevas töös on märgata keskmiselt ühe päeva võrra hilisemat lõppu peaaegu kõigis meteoroloogiajaamades võrreldes eelmainitud tööga.

Kõige varasemalt, 21. septembril, lõppes kasvuperiood Väike-Maarjas 1978. aastal. Kõige hilisemalt lõppes kasvuperiood 11. jaanuaril Vilsandil 2006/2007 aasta talvel. Kasvuperioodi

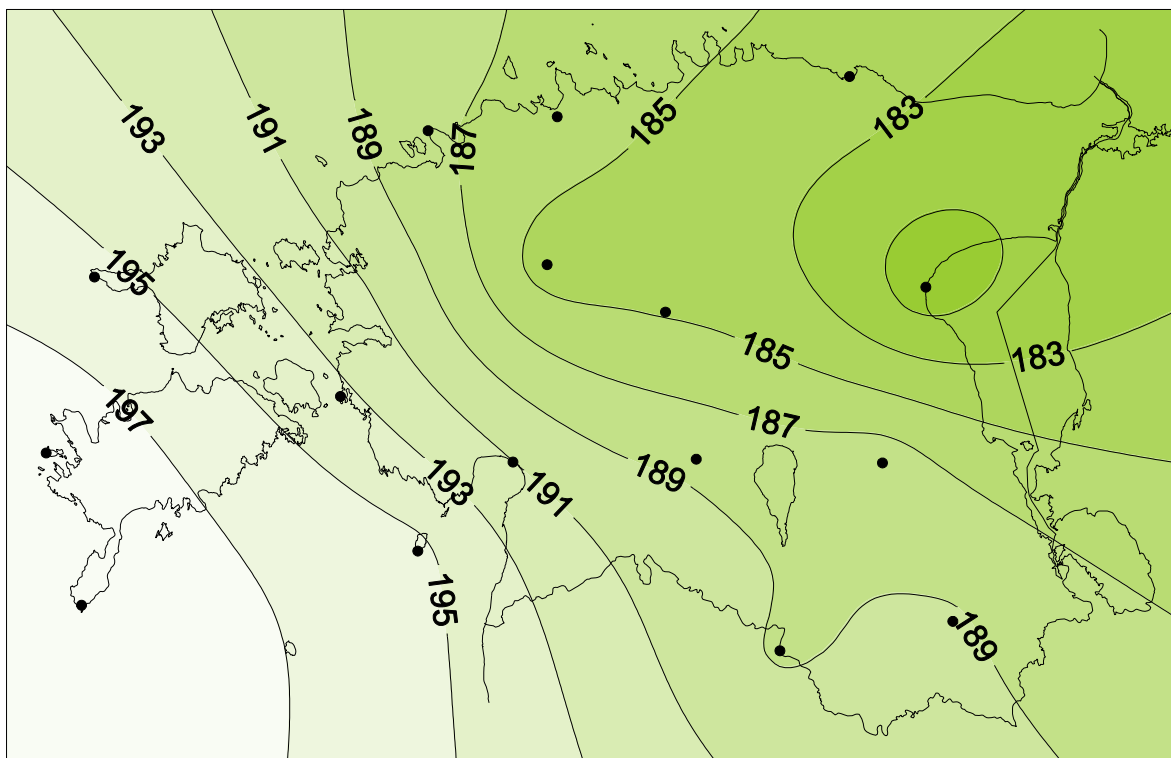
lõpu aastatevaheline muutlikkus on võrreldes kasvuperioodi algusega mõnevõrra suurem (tabel 1). Suhteliselt suuremat aastatevahelist muutlikkust võrreldes kasvuperioodi algusega võib täheldada rannikualade ning saarte jaamades, kus standardhälve võib olla isegi üle kahe nädala (Kihnu, Virtsu, Vilsandi, Sõrve, Ristna ja Pakri). Kõige varieeruvam on kasvuperioodi lõpp Vilsandil, kus kõikumine on 17 päeva, lühemal perioodil (1966–2012) juba 18 päeva. Kasvuperioodi keskmine lõpukuupäev Eestis perioodil 1951–2012 on 28. oktoober ning lühemal perioodil päeva võrra varasem, mis ühtib Jaaguse (2013) poolt leitudga.



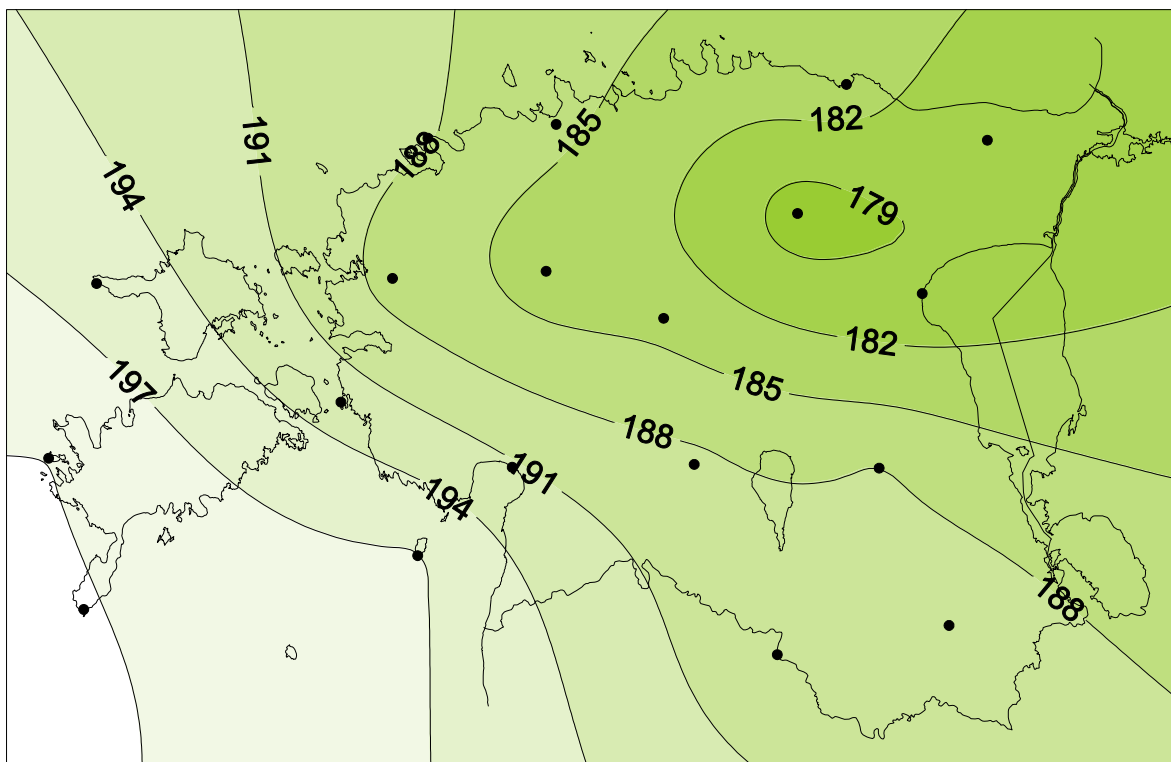
Joonis 5. Kasvuperioodi keskmine lõpukuupäev (perioodil 1966–2012).

Kasvuperiood on kõige lühem Kirde-Eestis ning pikeneb edelasuunaliselt (joonis 6). Kui Kirde-Eestis on keskmiseks kasvuperioodi pikkuseks ligikaudu 180 päeva (Väike-Maarjas Pandivere kõrgustikul 179 päeva), siis Saaremaa lääneosas (Sõrve ja Vilsandi) lühemal perioodil keskmiselt 200 päeva (joonis 7), mida on kolme nädala võrra rohkem. Kõige lühem, 131 päeva ehk veidi üle nelja kuu, oli kasvuperiood 1978. aastal Väike-Maarjas. Pikim on kasvuperiood olnud Vilsandil, kus see 2006. aastal kestis koguni 262 päeva, mis on ligemale 9 kuud. Nii pikaks kasvuperioodiks löi eeldused järgnenud pehme talv ning aeglaselt jahtuva mere soojendav mõju. Keskmiselt on Vilsandil kasvuperiood siiski kahe kuu võrra lühem. Kasvuperioodi keskmine kestus Eestis nii pikemal kui ka lühemal perioodil on 188 päeva, mis ühtib Jaaguse (2013) tulemustega ning võrreldes Jaagusega (2001) on kasvuperiood pikenenud 2–6 päeva võrra.

Kasvuperioodi pikkuse aastatevaheline muutlikkus on taimekasvuperioodi iseloomustavaist statistikute suurim. Standardhälve on kõigis vaatlusalustes jaamades üle kahe nädala ning saartel ja rannikul ulatub ligemale kolme nädalani (Vilsandil 21 päeva) (tabel 1).



Joonis 6. Kasvuperioodi keskmine kestus (perioodil 1951–2012).



Joonis 7. Kasvuperioodi keskmine kestus perioodil (1966–2012).

Tabel 1. Kasvuperioodi alguse, lõpu ja kestuse standardhälve (päevades)

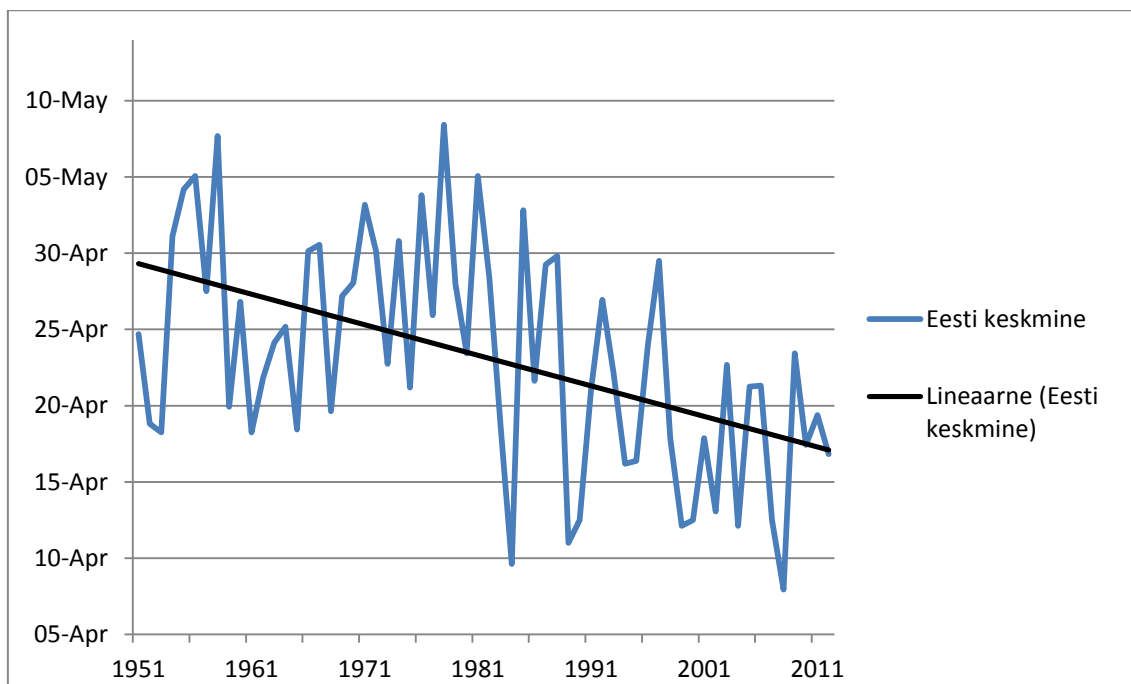
Jaam	Period 1951–2012			Period 1966–2012		
	Algus	Lõpp	Kestus	Algus	Lõpp	Kestus
Võru	10.7	11.1	16.5	11.5	11.3	17.6
Valga	9.4	11.2	15.4	9.9	11.5	16.3
Viljandi	9.7	10.5	15.1	10.1	10.7	15.8
Tartu	9.6	11.0	15.7	10.3	11.3	16.9
Tiirikoja	8.1	10.7	14.6	7.7	10.8	15.0
Türi	8.3	11.5	15.3	8.5	11.8	15.8
Nigula	-	-	-	7.6	12.1	15.3
Pärnu	9.2	11.7	15.2	8.7	12.4	15.6
Kihnu	7.9	15.3	18.1	7.6	16.4	19.0
Virtsu	8.5	15.3	18.2	8.5	16.7	19.3
Vilsandi	8.8	16.6	19.1	8.9	17.9	20.6
Sõrve	7.7	15.0	17.8	7.6	16.5	19.3
Ristna	8.6	15.9	18.8	8.5	16.8	19.9
Pakri	8.7	12.0	15.3	8.7	13.1	16.2
Tallinn	8.7	11.4	16.4	8.9	11.9	17.4
Kuusiku	8.3	11.7	16.0	8.5	11.5	16.5
Väike-Maarja	-	-	-	7.6	12.9	16.7
Kunda	8.1	11.1	14.7	8.5	11.6	15.8
Jõhvi	-	-	-	7.6	10.9	15.5
Keskmine	8.8	12.6	16.4	8.7	13.1	17.1

4.2 Kasvuperioodi alguse, lõpu ning kestuse trendid perioodidel 1951–2012 ja 1966–2012

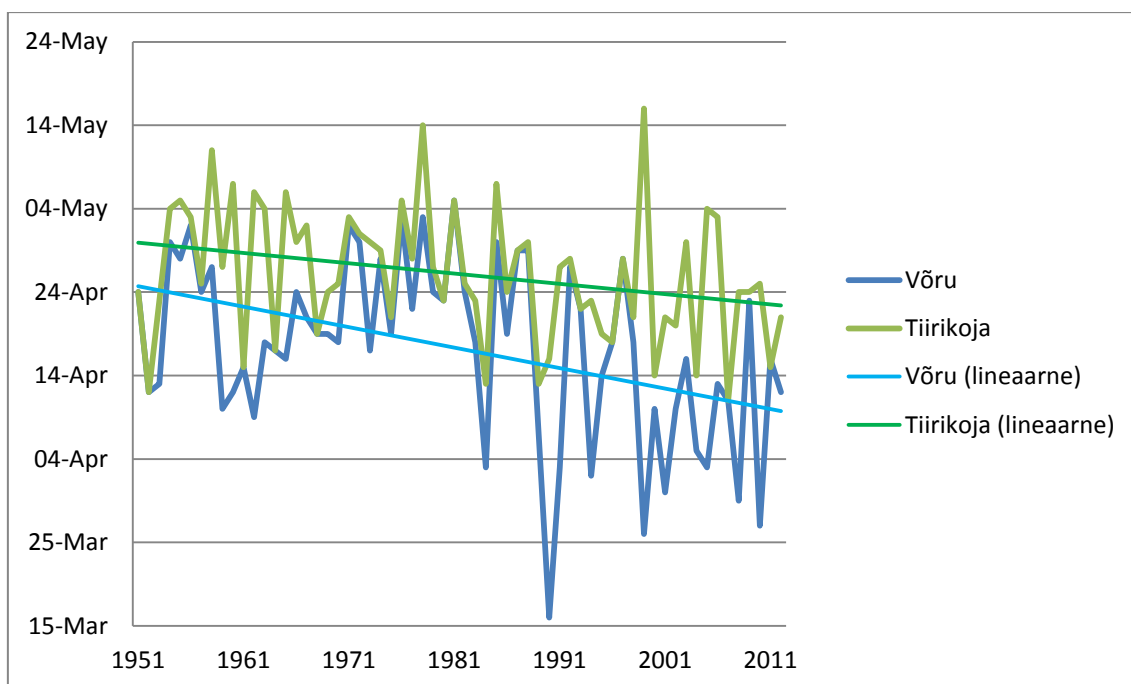
Lisaks kasvuperioodi territoriaalsetele erinevustele on oluline uurida, kuivõrd esineb kasvuperioodi alguse/lõpu varasemaks/hilisemaks nihkumise ning kasvuperioodi pikenemise trendi. Selleks leiti muutus 10 aasta kohta ning trendi usaldusväärsust kontrolliti tasemel $p < 0,05$.

Kasvuperioodi algus perioodil 1951–2012 on usaldusväärselt varasemaks nihkunud 16 jaamas. Kogu perioodil oli see muutus keskmiselt 12–13 päeva 62 aasta kohta (joonis 8, Tabel 2). Suurimat muutust saab täheldada Võru (joonis 9) ja Viljandi puhul, kus kevade (kasvuperioodi algus) algus on iga 10 aastaga keskmiselt 2,45 päeva varasemaks nihkunud.

Kogu perioodi jooksul (1951–2012) on kevade algus mõlemas jaamas nihkunud 15 päeva võrra varasemaks. Samas Jaaguse (2001) uurimuse kohaselt aastatel 1946–1998 muutusi kasvuperioodi alguses praktiliselt ei esinenud. Usaldusväärselt kõige vähem on kasvuperioodi algus varasemaks nihkunud Tiirikojal, kus muutus kümne aasta kohta on keskmiselt üks päev ning kogu perioodi jooksul ligikaudu nädal (joonis 9).



Joonis 8. Muutused kasvuperioodi alguskuupäevas perioodil 1951–2012 Eesti keskmisena.



Joonis 9. Kasvuperioodi alguse trend Võrus ja Tiirikojal perioodil 1951–2012.

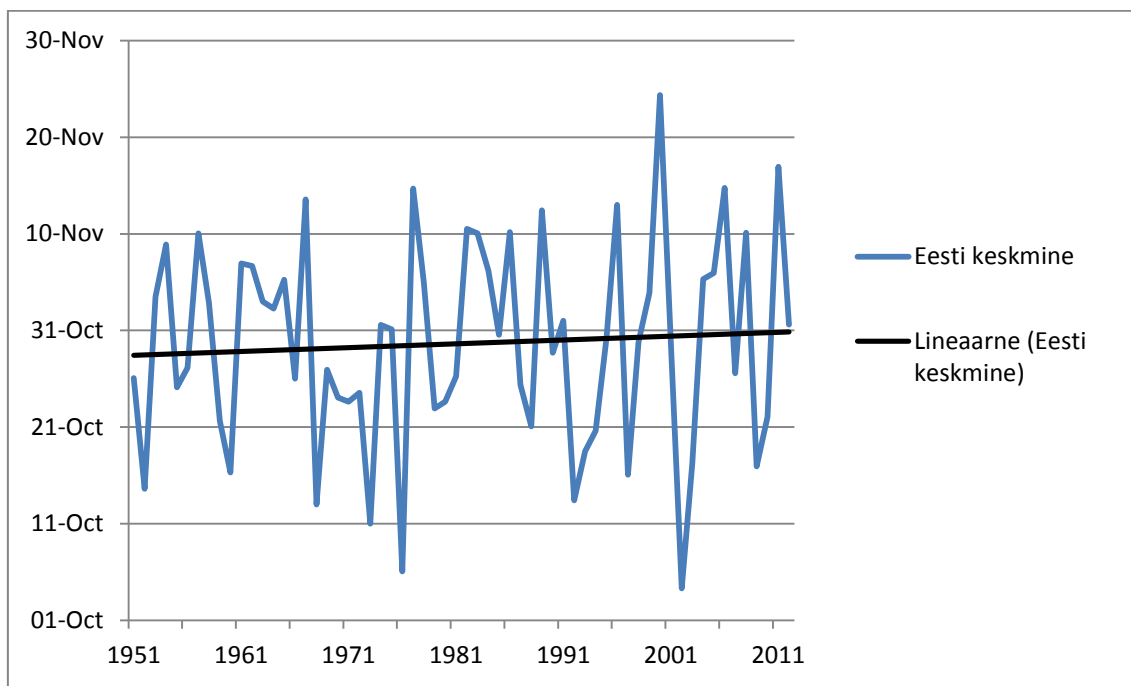
Tabel 2. Kasvuperioodi algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse muutused päevades 10 aasta kohta perioodidel 1951–2012 ning 1966–2012 (Statistiliselt usaldusväärsed muutused *Bold'iga*).

Jaam	Periood 1951–2012			Periood 1966–2012		
	Algus	Lõpp	Kestus	Algus	Lõpp	Kestus
Võru	-2.45	0.13	2.58	-4.41	0.35	4.75
Valga	-2.17	-0.09	2.08	-4.21	0.40	4.61
Viljandi	-2.45	-0.19	2.26	-4.50	0.08	4.58
Tartu	-2.43	-0.15	2.29	-4.52	0.51	5.04
Tiirikoja	-1.24	-0.27	0.96	-1.68	0.41	2.09
Türi	-1.50	-0.45	1.05	-2.87	0.21	3.09
Nigula	-	-	-	-2.50	1.24	3.75
Pärnu	-2.38	-0.64	1.74	-3.21	-0.31	2.90
Kihnu	-2.01	2.00	4.01	-3.08	2.85	5.93
Virtsu	-2.04	1.47	3.51	-2.82	2.23	5.05
Vilsandi	-2.20	1.71	3.91	-3.35	3.04	6.39
Sõrve	-2.27	1.27	3.54	-3.30	2.27	5.57
Ristna	-1.93	1.08	3.01	-2.86	2.58	5.44
Pakri	-2.22	0.54	2.76	-3.05	1.59	4.64
Tallinn	-1.92	-0.11	1.82	-3.39	1.46	4.84
Kuusiku	-1.44	-0.19	1.26	-3.18	0.46	3.64
Väike-Maarja	-	-	-	-1.99	2.87	4.86
Kunda	-1.36	0.25	1.61	-2.10	1.73	3.83
Jõhvi	-	-	-	-1.98	1.67	3.65
Keskmine	-2.00	0.40	2.40	-3.11	1.35	4.46

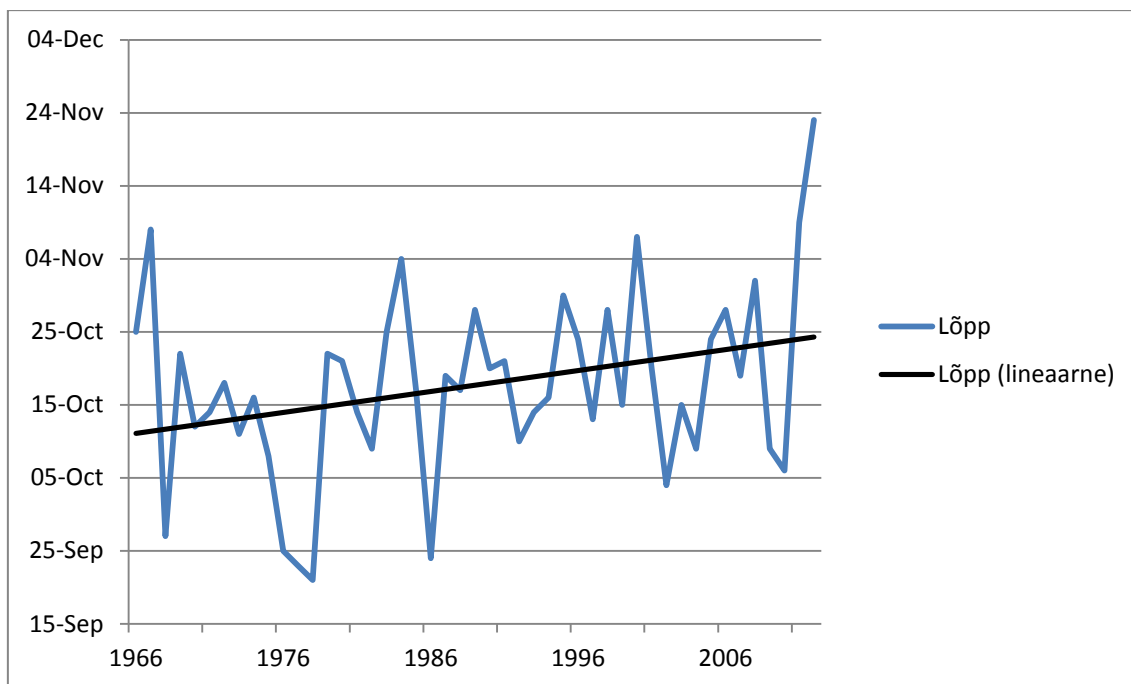
Kasvuperioodi algus on perioodil 1966–2012 usaldusväärsetl varasemaks nihkunud kõigis 19 jaamas. Võrreldes pikema perioodiga (1951–2012) saab kõikide jaamade puhul täheldada ka trendi tugevnemist (tabel 2). Keskmiselt on kasvuperioodi algus vaadeldaval perioodil alanud 3 päeva võrra varem kümne aasta kohta ehk 14 päeva kogu perioodi jooksul, mis on sarnane Jaaguse (2013) näitajatega. Suurim varasemaks nihkumine on toimunud Tartus, kus kasvuperiood on alanud keskmiselt 4,5 päeva varem kümne aasta kohta ning 3 nädalat kogu perioodi jooksul.

Sarnaselt pikemale perioodile on muutus kasvuperioodi alguses väiksem Tiirikojal, kus muutus 10 aasta kohta on 1,68 päeva ning kogu perioodi vältel ligemale kaheksa päeva, mis on Tartuga võrreldes üksnes kolmandik.

Muutused kasvuperioodi lõpukuupäevas ei ole perioodil 1951–2012 usaldusväärsed üheski 17-s jaamas, ehkki võis täheldada selle hilisemaks nihkumist (joonis 10). Perioodil 1966–2012 on kasvuperioodi lõpu edasinihkumine hilisemale ajale statistiliselt usaldusväärne vaid Väike-Maarja jaamas (tabel 2), kus terve perioodi jooksul on kasvuperioodi lõpp ligi kahe nädala võrra hilisemaks muutunud (joonis 11). Kuigi kõigis jaamades (va Pärnu, sest jaam viidi vahepeal mere äärest sisemaale ja seetõttu ei ole aegrida homogeenne) võib perioodil 1966–2012 täheldada trendi tugevnemist (kasvuperioodi lõpu nihkumist hilisemaks), ei ole see siiski statistiliselt usaldusväärne. Eelnimetatud tulemusi kinnitavad ka varasemad uurimused (Jaagus, 2001; Jaagus, 2006; Jaagus, 2013).

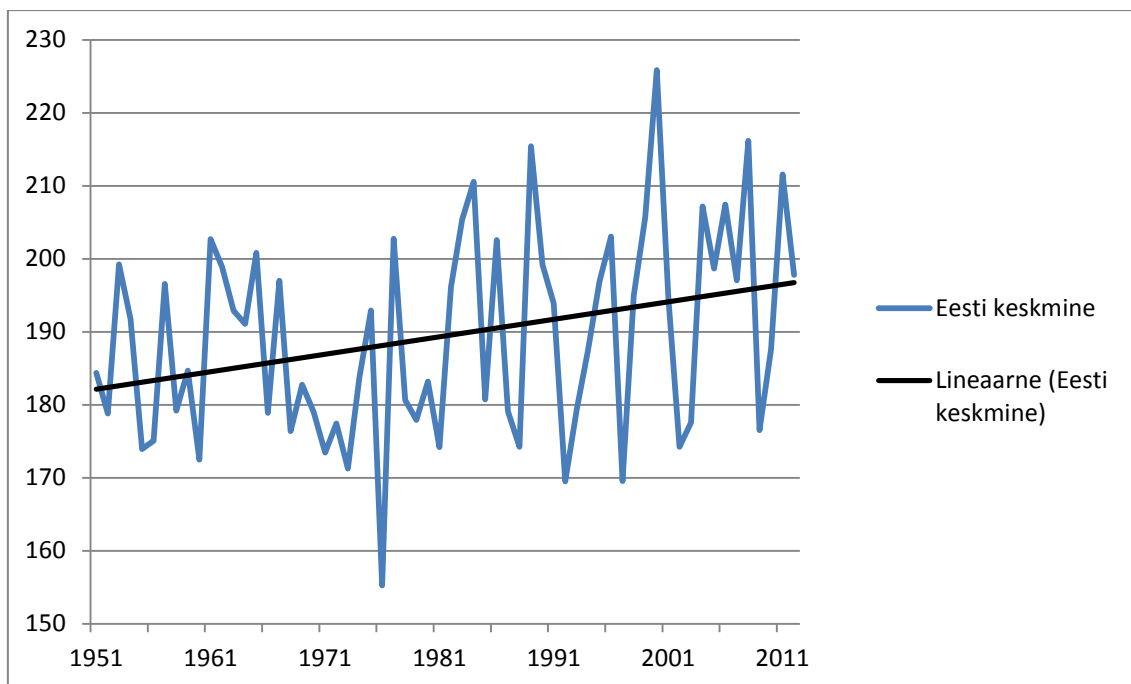


Joonis 10. Muutused kasvuperioodi lõpukuupäevas perioodil 1951–2012 Eesti keskmisena.

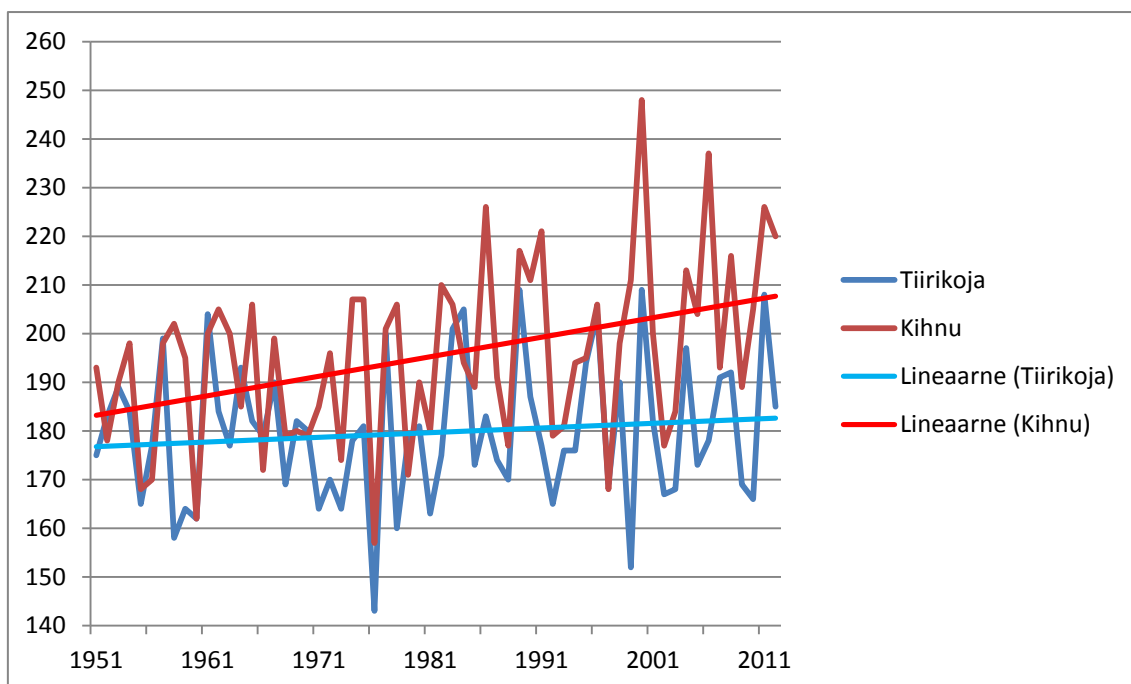


Joonis 11. Kasvuperioodi lõpp ja selle trend Väike-Maarjas perioodil 1966–2012.

Kasvuperioodi kestus perioodil 1951–2012 on usaldusväärselt pikenenud 10 jaamas (eranditeks on Jõhvi, Kunda, Kuusiku, Tallinn, Pärnu, Nigula, Türi, Tiirikoja ja Valga). Keskmine kestus on 188 päeva. Kogu uurimisperioodi vältel on kasvuperiood pikenenud 15 päeva võrra (joonis 12). Enim on kasvuperiood pikenenud Kihnus, kus taimekasvuks soodne aeg on kümneni kohta 4 päeva pikem. Kogu perioodi jooksul on sealne vegetatsiooniperioodi kestus 25 päeva võrra pikenenud (joonis 13). Kasvuperioodi pikenedust kinnitavad ka varasemad fenoloogiliste faaside uurimused (Ahas, 1999; Ahas et al., 2000; Jaagus & Ahas, 2000; Ahas & Aasa, 2006). Olenevalt uurimisperioodi pikkusest on ka muutused kasvuperioodi pikkuses erinevad. Selgelt ilmneb kasvuperioodi pikeneduse trendi tugevnemine viimastel aastakümnetel.

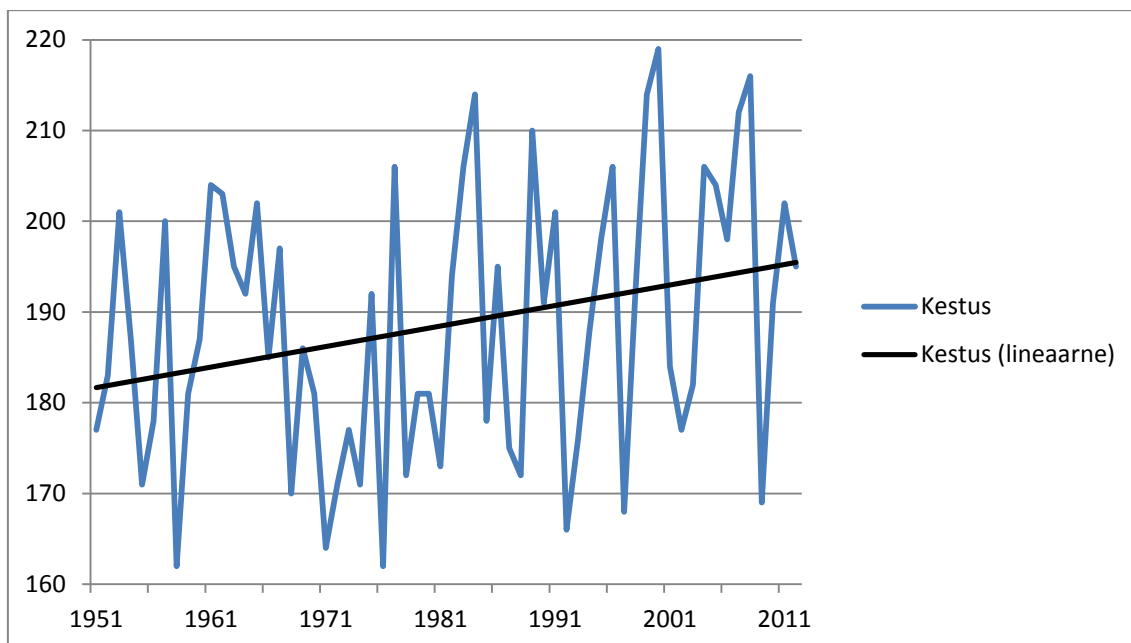


Joonis 12. Kasvuperioodi keskmine kestus perioodil 1951–2012 Eesti keskmisena.



Joonis 13. Kasvuperioodi kestus ja trend Kihnus ning Tiirikojal perioodil 1951–2012.

Väiksem kasvuperioodi pikenemine, mis on statistiliselt usaldusväärne, on toimunud Viljandis. Sealne taimekasvuperioodi kestus on keskmiselt 2 päeva võrra pikem ning terve perioodi jooksul on toimunud 2-nädalane taimekasvuperioodi pikenemine (joonis 14). Üleüldiselt pikenes kasvuperiood kõige vähem Tiirikojal, kuid see muutus polnud statistiliselt usaldusväärne (joonis 13).



Joonis 14. Kasvuperioodi kestus ning trend Viljandis perioodil 1951–2012.

Kasvuperioodi pikenedamine perioodil 1966–2012 on usaldusväärtne 16 jaamas (eranditeks on Tiirikoja, Türi ja Pärnu). Keskmiselt pikenes taimekasvuks soodne aeg kolme nädala võrra. Mainitud perioodil on kasvuperiood enim pikenenud, keskmiselt kuus päeva kümne aasta kohta, Vilsandil (tabel 2). Perioodi algusega võrreldes on kasvuperiood Vilsandil 30 päeva pikem.

Usaldusväärselt kõige vähem on kasvuperiood pikenenud Kuusikul, kus pikenedamine kümne aasta jooksul on 3,64 päeva ning terve perioodi vältel 17 päeva (tabel 2).

Võrreldes pikema perioodiga saab täheldada trendi tugevnemist kõigis jaamades ehkki statistiliselt usaldusväärselt saab seda väita 10 jaama kohta.

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida taimekasvuperioodi algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis ning teha kindlaks pikaajaliste muutuste olemasolu nendes näitajates perioodil 1951–2012. Tehes vajalikke arvutusi ööpäevaste keskmiste temperatuuriandmetega jõuti järgmistele järeldustele:

- kasvuperioodi keskmine alguskuupäev on 23. aprill, lõpukuupäev 28. oktoober ning kestus 188 päeva;
- kasvuperioodi alguse standardhälve on 9 päeva, mis on kasvuperioodi iseloomustavate näitajate puhul väikseim. Suurim aastatevaheline muutlikkus esineb läänerrannikul ning Lääne-Eesti saartel. Kasvuperioodi lõpu aastatevaheline standardhälve on keskmiselt kuni 13 päeva ning kestuse puhul kuni 16 päeva;
- kevadine soojenemine saab alguse Kagu-Eestist levides kirde suunas ning lõppedes kõige hiljem Lääne-Eesti saartel, kasvuperiood lõppeb varem Kirde-Eestis ning hiljem Lääne-Eesti saartel, kus avaldub mere soojendav mõju ;
- Kasvuperioodi algus on kogu uurimisperioodi (1951–2012) vältel nihkunud keskmiselt 12 päeva varasemaks ning trend on viimastel aastatel veelgi tugevnenud. Kasvuperioodi lõpp vaadeldaval perioodil usaldusväärselt muutunud ei ole, üksnes Väike-Maarjas lõppeb kasvuperiood lühema perioodi lõikes hiljem. Kasvuperiood on kogu uurimisperioodi jooksul usaldusväärselt pikenenud 9 jaamas ning lühemal perioodil 16 jaamas. Pikemal perioodil pikenes kasvuperiood keskmiselt 15 päeva võrra ning lühemal perioodil ligi kolme nädala võrra. Enim on kasvuperiood pikenenud Lääne-Eesti saartel;
- kasvuperioodi pikenedamine toimub enamjaolt selle alguse varasemaks nihkumise arvelt.

Varasemate uuringutega võrreldes (Ahas, 1999; Ahas *et al.*, 2000; Jaagus, 2001; Jaagus, 2006) on kasvuperioodi pikenedamine trend veelgi tugevnenud.

Long-term changes in start and end dates and in duration of the growing season in Estonia during 1951–2012

Birgit Viru

Summary

The aim of this study was to analyze spatial and temporal variability of start and end dates and duration of the growing season in Estonia and to determine the presence of long-term changes of these parameters during the period 1951–2012. Daily average near-surface air temperature series from 16 meteorological stations for the long period and three additional stations for short period were processed in order to obtain reliable estimates of changes in the growing period.

The growing season begins when the diurnal average temperature permanently crosses $+5^{\circ}\text{C}$ and ends when it falls permanently below $+5^{\circ}\text{C}$. Once the temperature threshold has been reached, positive and negative deviations of daily temperature are summed separately. If the absolute value of the sum of positive deviations is higher than the sum of negative deviations, then the first crossover of the temperature threshold is the starting point of the growing season, unless it is not so, then searching of proper start date continues. The duration of the growing season is calculated as the difference between the beginning and the end of these dates.

The following was concluded:

- on the average, the growing season start date was April 23, the end date was October 28 and the duration resulted in 188 days in Estonia;
- the standard deviation of the beginning of the growing season was nine days, which was the smallest among the parameters characterizing the growing season. The largest interannual variability occurred on the western coast and on islands of western Estonia. The standard deviation of the end date of the growing season varied from year to year up to 13 days and duration up to 16 days;
- warming in spring begins in Southeast Estonia, spreads on to northeasterly direction and ends on the West-Estonian islands, where there is a sea warming effect;
- During the whole study period (1951–2012) the start of the growing season has shifted earlier by 12 days in the average, and the trend has strengthened in recent decades.

The end of the growing season has not significantly changed. The growing season tends to end later only in Väike-Maarja during the shorter period (1966–2012). Duration of the growing season has significantly prolonged at 9 stations in 1951–2012 and at 16 stations in 1966–2012. During the longer study period, the growing season prolonged by 15 days and during the shorter period by nearly three weeks. The highest increase was observed on the islands of the West-Estonian archipelago.

- the prolongation of the growing season has occurred mostly due to moving earlier the start dates.

Comparing the results of this study with that of the previous studies (Ahas, 1999; Ahas et al., 2000; Jaagus, 2001; Jaagus, 2006) it can be concluded that the trend has strengthened even more.

Tänuavaldus

Oma töö valmimise, sellesse panustatud aja ning nõuannete eest tänan oma juhendajat prof. Jaak Jaagust.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- Aasa, A. (2001). Eesti agrofenoogiline kalender. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*(90), 139-163.
- Ahas, R. (1999). Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological time-series analyses in Estonia. *International Journal of Biometeorology*(42), 119-123.
- Ahas, R., Aasa, A., Menzel, A., Fedotova, V. G., & Scheifinger, H. (2002). Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology*(22), 1727-1738.
- Ahas, R., Jaagus, J., & Aasa, A. (2000). The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*(44), 159-166.
- Ault, T. R., Macalady, A. K., Pederson, G. T., Betancourt, J. L., & Schwartz, M. D. (2011). Northern Hemisphere Modes of Variability and the Timing of Spring. *Journal of Climate*(00), 1-12.
- Bradley, N. L., Leopold, A. C., Ross, J., & Huffaker, W. (1999). Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*(96), 9701-9704.
- Carter, T. (1998). Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science of Finland*(7), 161-179.
- Cayan, D. R., Dettinger, M. D., Kammerdiener, S. A., Caprio, J. M., & Peterson, D. H. (2001). Changes in the Onset of Spring in the Western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*(82), 399-415.
- Chen, X., Hu, B., & Yu, R. (2005). Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Global Change Biology*(11), 1118-1130.
- Christidis, N., Stott, P. A., & Brown, S. (2007). Human Contribution to the Lengthening of the Growing Season during 1950–99. *Journal of Climate*(20), 5441-5454.

- Cotton, P. A. (2003). Avian migration phenology and global climate change. *The National Academy of Sciences of the USA*(100), 12219-12222.
- IPCC 2013. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Eds. P.M. Midgley et al.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jaagus, J. (2001). Kliimakalender. *Publicationes Instituti Geographici Universitas Tartuensis*(90), 9-25.
- Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*(83), 77-88.
- Jaagus, J. (2013). *Nüüdiskliima. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval*. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus.
- Jaagus, J., & Ahas, R. (2000). Space-time variations of climatic seasons and their correlation with the phenological development of nature in Estonia. *Climate Research*(15), 207-219.
- Jaagus, J., Truu, J., Ahas, R., & Aasa, A. (2003). Spatial and temporal variability of climatic seasons on the East European Plain in relation to large-scale atmospheric circulation. *Climate Research*(23), 111-129.
- Kozuchowski, K., & Degirmendžic, J. (2005). Contemporary changes of climate in Poland: trends and variation in thermal and solar conditions related to plant vegetation. *Polish Journal of Ecology*, 283-297.
- Linderholm, H. W. (2006). Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*(137), 1-14.
- Linderholm, H., Walther, A., & Chen, D. (2008). Twentieth-century trends in the thermal growing season in the Greater Baltic Area. *Climate Change*(87), 405-419.
- Matsumoto, K., Ohta, T., Irasawa, M., & Nakamura, T. (2003). Climate change and extension of the Ginkgo biloba L. growing season in Japan. *Global Change Biology*, 9(11), 1634-1642.
- Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*(397), 659.

- Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R., Scheinger, H., & Estrella, N. (2003). Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *International Journal of Climatology*(23), 793-812.
- Paluš, M., Novotna, D., & Tichavsky, P. (2005). Shifts of seasons at the European mid-latitudes: Natural fluctuations correlated with the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Research Letters*(32), L12805.
- Qian, C., Fu, C., Wu, Z., & Yan, Z. (2009). On the secular change of spring onset at Stockholm. *Geophysical Research Letters*(36), L12706.
- Schwartz, M. D., & Reiter, B. E. (2000). Changes in North American spring. *International Journal of Climatology*(20), 929-932.
- Sparks, T., & Menzel, A. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology*(22), 1715-1725.
- White, M. A., Thornton, P. E., & Running, S. W. (1997). A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2), 217-234.
- Zhu, W., Tian, H., Xu, X., Pan, Y., Chen, G., & Lin, W. (2011). Extension of the growing season due to delayed autumn over mid high latitudes in North America during 1982-2006. *Global Ecology and Biogeography*(21), 260-271.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Birgit Viru (sünnikuupäev: 22.02.1992),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pikaajalised muutused vegetatsiooniperioodi algus- ja lõpukuupäevades ning kestuses Eestis perioodil 1951-2012“, mille juhendaja on Jaak Jaagus,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **19.05.2014**