

# Projekti „Kliimamuutuste mõju põllukultuuridele, lõpparuanne Lisa1

## Sisukord

### Sissejuhatus

- 1 Toimunud muutused 1965-2013
  - 1.1 Vegetatsiooniperiood ja selle pikenemine
  - 1.2 Soojusega varustus
  - 1.3 Sademed
  
- 2 Kliima soojenemise prognoosid
  - 2.1 EURO-CORDEX stsenaariumid
  - 2.2 AR4 stsenaariumid B1 ja A2
  - 2.3 Kokkuvõtvalt
  
3. Kliimamuutuse võimalik mõju põllukultuuride kasvatamisele
  - 3.1. Vegetatsiooniperioodi pikenemine
  - 3.2. Võimalused kasvatatavate kultuuride mitmekesisistumiseks
  - 3.3. Kõrgemad temperatuurid
  - 3.4. Rohkem sademeid
  - 3.5. Pehmeamad talved
  - 3.6. Varieeruvus ja ekstreemumid
  - 3.7. Taimehaigused ja kahjustajad
  - 3.8. Saagile kõige kahjulikumad ilmastikufaktorid
  
4. Agrokliimaatiliste ressursside oodatavad muutused Eestis
  - 4.1 Vegetatsiooniperioodi pikenemine
  - 4.2. Soojusressursid
  - 4.3 Sademed
  - 4.4. Saagid (kartul)
  
- 5 Kohanemine ja edasine uurimisvajadus
  - 5.1 Kohanemine
  - 5.2. Edasine uurimisvajadus

## Sissejuhatus

Ilm, kliima, agro- ning mikrokliima on põllumajanduslikus tootmises tähtsad tegurid. Mida paremini sobivad kultuuride kasvunõuded kokku kohaliku kliima tingimustega, seda paremini kultuurid kasvavad ja seda suuremaid saake neilt saame. Põllukultuuride saakide iga-aastased kõikumised, mis võivad ulatuda kordadesse, on korrektse agrotehnika korral umbes 80% ulatuses seotud ilmastiku mõjuga. Seetõttu on just põllumajandussektor kliimatingimuste muutumisest väga otseselt ja tugevalt mõjutatud. Kliima muutumine on juba põllumajandust mõjutanud/mõjutamas (Peltonen-Sainio et al. 2007, 2009b, 2010, 2014, Supit et al., 2010, Olesen et al. 2011), ning seda peetakse peamiseks põhjuseks, miks näiteks hoolimata sordiaretuse jätkumisest ei ole Euroopas niusaagid enam suurenenud (Brisson et al. 2010). On väga tõenäoline, et kliimamuutus mõjutab põllumajandussektorit tulevikus üha rohkem (Olesen et al. 2011). Muutused on Euroopa erinevates osades küllalt erinevad (Trnka, et al. 2011a) ning võivad oluliselt varieeruda ka ajalisel skaalal (Trnka et al. 2011b). On üldiselt aktsepteeritud arvamus, et Põhja-Euroopas produktiivsus suureneb, samal ajal kui Lõuna-Euroopas kujuneb kliima soojenemine kultuuride produktiivsusele pigem kahjulikuks. Saakide varieeruvus arvatakse suurenevat üle kogu Euroopa, tänu nii ekstreemsete ilmasündmuste sagenemisele kui ka näiteks haiguste ja taimekahjurite laiemale levikule (Ferrise et al. 2011, Kristensen et al. 2011).

Peamised muutujad, mis mõjutavad põllukultuuride potentsiaalseid ja tegelikke saake, on taimedele kättesaadav soojus, kasvuperioodi pikkus ja tähtsamate fenoloogilise faaside ajal/vahel esinevad temperatuurid, samuti sademete hulk ja nende jaotus (Porter ja Semenov 2005, Lobell ja Field 2007, Peltonen-Sainio et al. 2009c, Saue et al. 2010, 2012, Trnka et al. 2011a,b). Eesti kliimale on väga iseloomulik, et ilmaolud varieeruvad väga tugevalt nii aastate vahel kui ka ühe kasvuperioodi jooksul, samuti esinevad märkimisväärsed territoriaalsed erinevused (Saue ja Kadaja 2009, Saue et al. 2010, Sepp ja Saue 2012, Saue ja Kadaja 2014, Saue 2015). Peamised raskused, mis meie põllumajandusettevõtete toimetulekut raskendavad, ei tulene mitte niivõrd üldistest põhjamaisest kliimast tulenevatest piirangutest, vaid eelkõige ilmastikutingimuste suurest ajalisest ja ruumilisest muutlikkusest põhjustatud ebakindlusest, ennustamatusest. See olukord ei muutu ka kliima soojenedes, pigem peaks arvestama ilmastiku varieeruvuse suurenemisega, millega kaasneb ekstreemsete ilmastikutingimuste sagenemine, sh kuumalained, põuad ja tugevad sajud (Hartmann et al. 2013).

Järgmise saja aasta jooksul on tõenäoliselt oodata globaalse temperatuuri märkimisväärset tõusu, kaasnev muutus sademete summas ja jaotuses ei ole nii kindel. Käesoleva lühiprojekti eesmärgiks oli erinevate allikate põhjal kirjeldada, kuidas kliimatingimuste areng võiks mõjutada põllukultuuride kasvatamist Eestis ja defineerida lähemat uurimist vajavad probleemid. Järgnevas kokkuvõttes kirjeldame teaduskirjanduse põhjal lühidalt taimekasvatuse seisukohalt olulisemaid näitajaid – õhutemperatuuri ja sademeid, nende senist ja oodatavat muutust nii globaalsel kui kohalikul skaalal. Kuna viimane trükkis ilmunud Eesti territooriumi agrokliimaatiline iseloomustus jääb aastasse 1976 (Eesti NSV agrokliima ressursid, 1976), siis esitame ka olulisemad agrokliimaatilised näitajad, mis iseloomustavad põllumajanduskultuuride soojusega kindlustatust Eesti erinevates osades. Juhime tähelepanu meie agrokliima ebasoodsatele külgedele.

## 1. Seni toimunud muutused

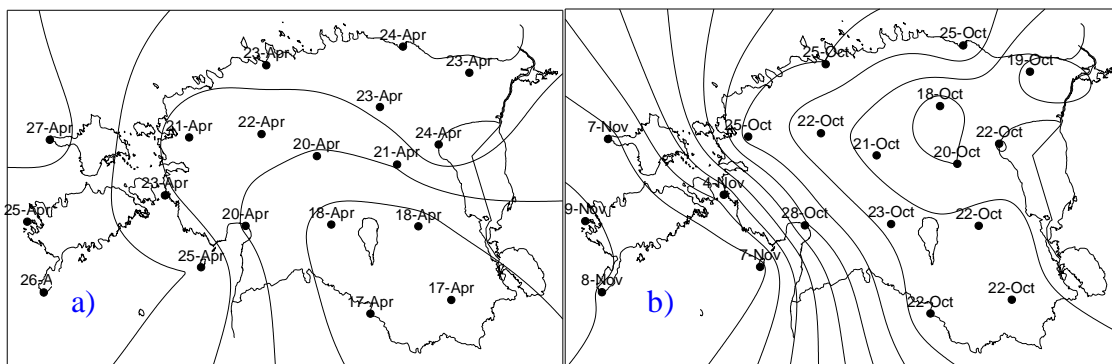
### 1.1. Õhutemperatuur

Õhutemperatuur on kõige olulisem kliimanäitaja väljendamaks piirkonna soojusressursse. Õhutemperatuuri poolt on suures osas määratud kogu looduse iseloom ning kasvatatavate kultuurtaimede ja sortide valik. Temperatuurirežiimi muutused toovad enesega vältimatult kaasa muudatusi kogu eluslooduses (Tarand et al. 2013). Aluspinnalähedase temperatuuri muutus on otseselt seostatav kasvuhoonegaaside põhjustatud lisanduva pikalainelise kiirgusega. Seda kinnitavad ka globaalsed temperatuuri mõõtmised, mille alusel on valdav osa teadlasi veendunud, et suurem osa 20. sajandi teisel poolel aset leidnud globaalsest temperatuuri tõusust on seostatav inimtegevusest põhjustatud kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni kasvuga. IPCC AR5 (Hartmann et al. 2013) kohaselt on kindel, et globaalselt keskmistatud maapinnalähedane õhutemperatuur on tõusnud 19. sajandi lõpuaastatest alates ning soojenemine on olnud märkimisväärne alates 1970-datest aastatest. Globaalse maapinnalähedase keskmise temperatuuri trendi hinnangud erinevad eri uurimiserühmade puhul mõneti, kuid võib öelda, et perioodil 1951–2012 oli see 0,12 °C dekaadi kohta.

Eestis on olnud aasta keskmise temperatuuri tõus möödunud sajandi keskpaigast isegi mõnevõrra kiirem kui maakeral tervikuna. Maapinnalähedase õhutemperatuuri meteoroloogiliste aegriidade trendianalüüsi on meteoroloogiliste vaatluste baasil läbi viinud Eesti eelmise sajandi teise poole kohta Jaagus (1999, 2006), kes raporteerib aasta keskmise temperatuuri trende 0,2–0,3 °C dekaadi kohta. Männik et al. (2015) jõudsid järelanalüüsi andmebaasi BaltAn65+ põhjal sarnastele aasta keskmise temperatuuri trendidele (0,32±0,12 °C dekaadi kohta) ajavahemiku 1965–2005 jaoks. Kuude lõikes erinevad trendide hinnangud erinevatel autoritel märkimisväärselt, kuid talve, eriti jaanuari, soojenemistrend on kõige selgemini väljendunud.

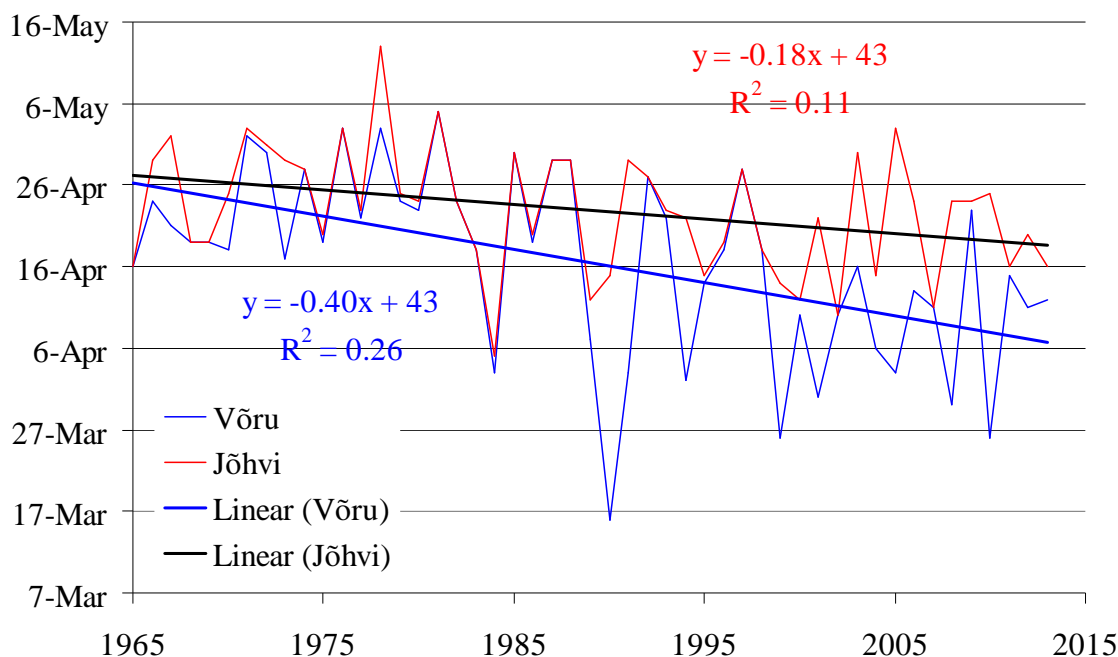
### 1.2. Vegetatsiooniperiood ja selle pikenemine 1965-2013

Eestis on lühike vegetatsiooniperiood ning põllumajanduskultuuridele kättesaadav vähene soojushulk olulisemaid taimekasvatust piiravaid tegureid. Taimede vegetatsioon algab siis, kui ööpäeva keskmine õhutemperatuur ületab püsivalt 5 °C, kõige varem juhtub see Kagu-Eestis, kõige hiljem Lääne-Eestis (joonis 1a). Suhteliselt hilja saabub kevad ka Põhja-Eestis ja Peipsi järve kaldal. Kevade alguse kaart väljendab selgesti soojema õhu liikumise suunda kagust loodesse. Sügisel märgib vegetatsiooniperioodi lõppu õhutemperatuuri püsiv langemine alla 5 °C, mis toimub Mandri-Eestis kuni nädala jagu varem, rannikul hiljem (joonis 1b). Vegetatsiooniperioodi pikkust määratakse kui perioodi nende kahe täärmini vahel, enamasti kestab see periood Eestis ligi 6 kuud, pikenedes põhjast lõuna suunas.



**Joonis 1.** Vegetatsiooniperioodi alguse (a) ja lõpu (b) kuupäevad perioodi 1965-2010 keskmisena (Tarand et al. 2013).

Hinnates vegetatsiooniperioodi alguse, lõpu ja kestuse muutust trendi järgi, leidsime, et perioodil 1965-2013 on vegetatsiooniperioodi algus nihkunud vaadeldud 11 jaama keskmisena umbes 2 nädalat varasemaks, kusjuures suurim kevade varasemaks nihkumine on toimunud Kagu-Eestis (Võru, Tartu, Viljandi: 20 päeva), väiksem Kirde-Eestis (Jõhvi: 9 päeva) (joonis 2). Rannikul ja Kesk-Eestis on see keskmiselt 11-13 päeva. Kui uuritava perioodi algusosas (ja ka perioodi keskmisena) algas vegetatsiooniperiood keskmiselt aprilli teisel poolel, siis viimastel aastakümnetel on see saanud juba aprilli esimesel poolel, paaril aastal isegi märtsi lõpus (joonis 2). Ühtlasi näeme aastatevahelise varieeruvuse suurenemist alates 1980ndatest.



**Joonis 2.** Vegetatsiooniperioodi alguse kuupäeva aegrida ja trend Võrus ja Jõhvis 1965-2013.

Vegetatsiooniperioodi lõpu kuupäev ei ole enamuses meie vaadeldud jaamades perioodil 1965-2013 usaldusväärset muutunud, erandiks on siin vaid Jõhvi, kus kasvuperioodi lõpp on trendi järgi 11 päeva hilisem ja see nihe on statistiliselt usaldusväärne  $p < 0,05$  tasemel. Kuigi sarnases mastaabis muutused on aset leidnud ka läänerranniku saartel Kihnu ja Ristna näitel, siis seal ei osutunud see muutus statistiliselt usaldusväärseks. Kogu vegetatsiooniperiood on nimetatud perioodi jooksul meie vaadeldud jaamade keskmisena pikenenud 21 päeva võrra, kusjuures eelkõige tuleneb see vegetatsiooniperioodi alguse nihkumisest varasemaks. See pikenedamine ei ole siiski statistiliselt usaldusväärne Kesk-Eestis (Kuusikul ja Türil) (tabel 1), kus nii kevadine kui sügisene nihe on teiste jaamadega võrreldes suhteliselt väiksemad.

Suurema osa soojusest saavad taimed aktiivse vegetatsiooni perioodil, mil ööpäeva keskmine õhutemperatuur püsib üle  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Üle  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatuuriga perioodi kestusest ja soojusest sel ajal sõltub kultuuride kasv, arenemine, valmimine ja saagi suurus. See on kultuuride põhiline kasvuperiood, mis kestab keskmiselt 4 kuud. Aktiivse vegetatsiooniperioodi ( $t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pikkus on Põhja- ja Kesk-Eestis keskmiselt 130 päeva, Lõuna-Eestis ja läänerrannikul 140 päeva (tabel 1). Külma kevade ja varajase sügisega aastatel kestab aktiivne vegetatsiooniperiood kõigest 90-110 päeva, soojadel aastatel võib see periood kesta 160-170 päeva. Aktiivse vegetatsiooni periood on vaadeldud aastate vahemikus (1965-2013) pikenenud samuti keskmiselt 3 nädala võrra, ka see muutus on suurem Lõuna- ja väiksem Põhja-Eestis.

### 1.3. Taimede soojusega varustatus

Aktiivse vegetatsiooniperioodi (üle  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ööpäeva keskmiste õhutemperatuuride summa ehk aktiivsete õhutemperatuuride summa loetakse üheks tähtsamaks näitajaks, millega mingi piirkonna soojusega kindlustatust iseloomustada. Aktiivsete temperatuurisummade jaotumuses avaldub seaduspärasus: summad suurenevad Eesti territooriumil põhjast lõunasse, samuti mõjuvad mere lähedus ja suurem kõrgus merepinnast summastid vähendavalt. Keskmised aktiivsete temperatuuride summad on  $1790\text{--}2085^{\circ}$  (tabel 2), siin on näha kuni  $300^{\circ}$  territoriaalseid erinevusi.

Teine taimekasvu seisukohalt oluline soojurežiimi iseloomustav näitaja, mis iseloomustab taimedele kättesaadavat soojust, on efektiivne temperatuur. Efektiivseks temperatuuriks nimetatakse ööpäeva keskmist temperatuuri, millest on lahutatud lävitemperatuur. Sagedamini vaadeldud lävitemperatuurideks on  $5, 10$  või  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kõige sagedamini kasutatakse lävitemperatuurina  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kuna üldiselt on selline meil traditsiooniliselt kasvatatavate kultuuride bioloogiline miinimumtemperatuur. Efektiivset üle  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatuuri nimetatakse ka taimedele kasulikuks temperatuuriks või füsioloogiliselt aktiivseks temperatuuriks. Tavaliselt summeeritakse üle  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatuure alates kevadisest vegetatsiooni algusest kuni sügisese vegetatsiooni lõpuni, s.o. perioodil, mil temperatuur püsib üle  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vegetatsiooniperioodi vältel koguneb Eestis efektiivseid üle  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatuure keskmiselt  $1400\text{--}1600^{\circ}$ . Sarnaselt aktiivsetele temperatuurisummadele esinevad ka efektiivsete temperatuuride jaotuses märgatavad territoriaalsed erinevused (joonis 3). Et meil on soojust suhteliselt vähe, siis on taimekasvatuse seisukohast küllalki oluline, kas temperatuuride summa on  $100\text{--}200^{\circ}$  väiksem või suurem. Kogu vegetatsiooniperioodi soojusrežiimi vaadeldes tuleb arvesse

võtta, et mere mõjul tekivad olulised erinevused kevade ja sügise vahel. Lõuna- ja Kagu-Eestis on soe ja varajane kevad, Lääne-Eestis koguneb rohkem soojust sügisel.

Soojussummad erinevad oluliselt ka üksikute aastate kaupa. Erinevused perioodi pikkuses võivad olla kuni 2 kuud, efektiivsete üle 5 °C temperatuuride summades kuni 700, aktiivsete temperatuuride summades kuni 1000°.

Soojalembeste kultuuride kasvatamisel on vaja teada ka efektiivsete üle 10° ja 15° C temperatuuride summasid (joonis 4 Kuusiku andmetel). Neid temperatuure koguneb meil vegetatsiooniperioodi jooksul keskmiselt vastavalt 600-800° ja 150-250°.

Perioodil 1965-2013 võime näha olulist temperatuurisummade suurenemist (tabel 2). Aktiivse kasvuperioodi temperatuuride summa on vahemikus 1965-2013 suurenenud keskmiselt 400 kraadi võrra. Taimedele kättesaadava soojuse hulk (efektiivsete >5 °C temperatuuride summa) on suurenenud keskmiselt 300 kraadi võrra. Efektiivsete üle 10° ja 15° C temperatuuride summad on muutunud keskmiselt vastavalt 200 ja 100 kraadi võrra. Muutused nii aktiivsete kui efektiivsete temperatuuride summades on trendi järgi usaldatavad kõikides vaadeldud jaamades vähemalt tasemel  $p < 0,05$ . Temperatuurisummade suuremad muutused on toimunud Lõuna- ja Edela-Eestis, väiksemad Põhja-Eestis.

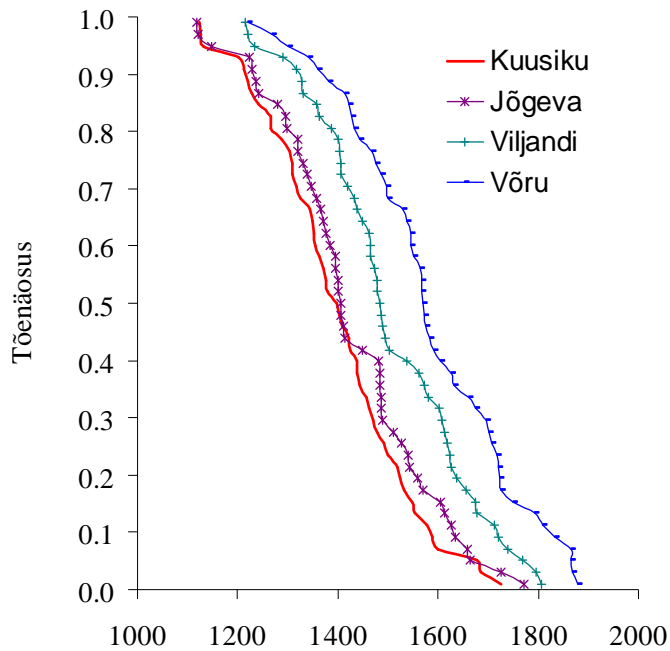
**Tabel 1.** Vegetatsiooniperioodi ja aktiivse taimeksvuperioodi algus, lõpp ja kestus perioodi 1965-2013 keskmisena ja nende näitajate muutus trendi järgi päevades. \* tähistab statistiliselt olulist muutust ( $p < 0,05$ )

JAAM	Periood õhutemperatuuriga püsivalt üle 5 °C						Periood õhutemperatuuriga püsivalt üle 10 °C					
	Algus	Muut	Lõpp	Muut	Kestus	Muut	Algus	Muut	Lõpp	Muut	Kestus	Muut
Tallinn	23.04	-12*	26.10	+6	186 (160-232)	+18*	17.05	-14*	23.09	+3	129 (96-168)	+17*
Jõhvi	22.04	-9*	19.10	+11*	180 (133-213)	+19*	16.05	-9	21.09	+10	128 (89-168)	+19*
Nigula	21.04	-14*	26.10	+8	189 (162-232)	+21*	15.05	-14*	23.09	+8	132 (96-168)	+22*
Kuusiku	21.04	-13*	22.10	+3	184 (145-218)	+16	15.05	-16*	21.09	+8	130 (91-167)	+24*
Türi	20.04	-12*	22.10	+3	185 (145-219)	+15	11.05	-17*	22.09	+8	134 (92-168)	+24*
Jõgeva	20.04	-13*	20.10	+9	182 (132-215)	+22*	11.05	-16*	21.09	+11*	133 (92-161)	+27*
Viljandi	18.04	-20*	24.10	+2	189 (162-226)	+21*	08.05	-19*	23.09	-8	138 (109-167)	+26*
Tartu	17.04	-20*	23.10	+4	189 (145-225)	+24*	09.05	-17*	23.09	+8	137 (108-168)	+25*
Võru	16.04	-20*	23.10	+6	190 (145-226)	+26*	06.05	-15*	24.09	+8	141 (109-168)	+23*
Kihnu	25.04	-12*	09.11	+14	198 (157-248)	+26*	17.05	-14*	04.10	+10	140 (97-178)	+25*
Ristna	27.04	-11	08.11	+12	195 (162-244)	+23*	26.05	-7	03.10	+12	129 (88-155)	+19*

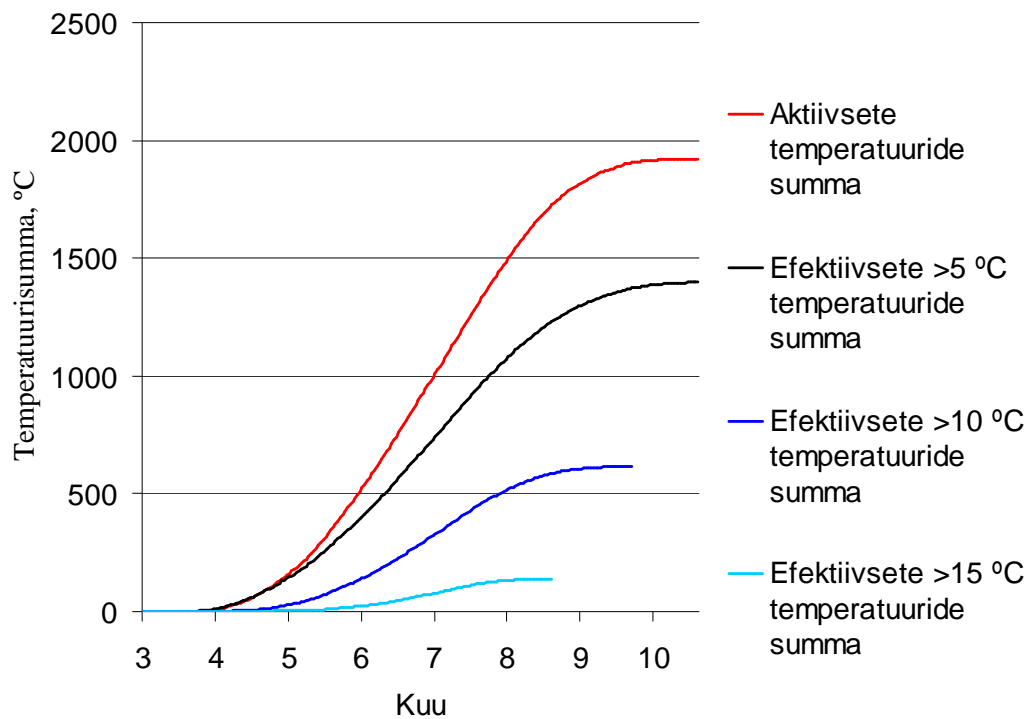
Tabel 2. Temperatuuride summad ja nende suurenemine perioodi 1965-2013 trendi järgi. Temperatuurisummade muutused on statistiliselt olulised muutust  $p < 0,05$  juures kõigis vaadeldud jaamades.

	Aktiivsete >10 °C temperatuuride summa					Efektiivsete >5 °C temperatuuride summa				
JAAM	Keskmine	St.dev	Min	Max	Muutus	Keskmine	St.dev	Min	Max	Muutus
Tallinn	1844	237	1300	2389	272	1422	149	1146	1760	248
Jõhvi	1791	232	1315	2300	350	1376	153	1077	1691	288
Kuusiku	1816	235	1323	2298	397	1399	144	1124	1726	289
Türi	1898	231	1387	2364	410	1448	149	1160	1749	301
Jõgeva	1850	227	1361	2380	412	1425	152	1118	1771	294
Tartu	1973	235	1653	2492	489	1512	167	1174	1865	367
Viljandi	1972	222	1609	2395	404	1506	150	1215	1807	290
Võru	2069	226	1680	2493	441	1584	164	1220	1880	329
Nigula	1871	233	1361	2387	397	1445	148	1135	1765	292
Ristna	1862	234	1255	2243	388	1451	162	1087	1855	327
Kihnu	2084	227	1516	2512	445	1600	159	1262	1969	342
	Efektiivsete >10 °C temperatuuride summa					Efektiivsete >15 °C temperatuuride summa				
JAAM	Keskmine	St.dev	Min	Max	Muutus	Keskmine	St.dev	Min	Max	Muutus
Tallinn	644	116	391	898	153	159	70	35	334	73
Jõhvi	625	117	383	895	182	157	72	33	393	87
Kuusiku	632	112	390	872	194	154	68	41	364	93
Türi	672	120	414	918	205	178	74	49	387	100
Jõgeva	660	118	414	910	185	173	72	52	393	79
Tartu	717	130	481	976	250	199	81	71	431	131
Viljandi	714	120	455	955	186	199	76	60	415	84
Võru	778	129	536	1028	220	236	82	94	465	113
Nigula	657	117	379	897	188	164	72	28	347	92
Ristna	645	128	336	920	211	151	75	22	323	117
Kihnu	761	130	466	1022	231	212	86	50	408	137





**Joonis 3.** Efektiivsete (üle 5 °C) temperatuurisummade tagatus 1965-2013 andmetel erinevates jaamades.



**Joonis 4.** Keskmiste temperatuurisummade kogunemine Kuusikul 1965-2013.

#### 1.4. Sademed

Teiseks agrokliima seisukohalt väga oluliseks näitajaks on sademed, millega iseloomustatakse niiskusrežiimi kõige üldisemal kujul. Eesti paikneb liigniiskes vööndis, kus aastane sademete hulk ületab aastase aurumise. See ei tähenda aga, et liigniisked tingimused valitsevad aastaringselt.

Sademed on Eestis üks kõige suurema ajalise ja territoriaalse muutlikkusega kliimanäitaja. Üksikute päevade, nädalate, kuude, aastaegade ja aastate sademete hulgas on väga suured kõikumised. Ka lähestikku asetsevate paikade sademete erinevused võivad olla märkimisväärsed, eriti suvel. Eesti sademete režiimi on põhjalikult uuritud, nii sademete territoriaalset jaotumist (Jaagus ja Tarand 1998, Jaagus 1999, Jaagus et al. 2010), pikaajalisi kõikumisi (Jaagus 2006) kui ka sademete äärmusi (Post ja Päädam 2010, Päädam ja Post 2011). Nii äärmuslikult tugevaid sademeid kui ka põuda on Eestis uurinud Tiina Tammets (Tammets 2007, 2010; Tammets ja Jaagus 2007, 2013, Tammets et al. 2011). Nimetatud tööde põhjal võib välja tuua järgmised üldistused.

Perioodi 1966-2010 jooksul on sademete trendid erinevates jaamades üsna erinevad. Üldine sademete hulk on suurenenud Kirde-Eestis, samuti Lõuna- ja Kagu-Eestis, Peipsi madalikul ning Liivi lahe rannikualal. Muudes piirkondades ei saa sademete suurenemisest rääkida. Kuude lõikes torkab silma sademete hulga tõus jaanuaris ja juunis, mõnes jaamas ka veebruaris-märtsis. Aprilli ja septembri sademetele on iseloomulik hoopis kahanemistendents. On ka kindlaks tehtud, et sademete äärmuslikkus Eestis on viimase poole sajandi jooksul kasvanud, suurenenud on nii ekstreemsete sündmuste sagedus kui intensiivsus.

#### 2. Prognoositavad muutused

Järgneva kokkuvõtte eesmärgiks on anda ülevaade võimalikest projektsioonidest ja hinnangutest tuleviku kliimale Eestis kuni aastani 2100.

Aastal 1992 avaldas IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) esimese variandi kasvuhoonegaaside stsenaariumitest, mida nimetati IS92 (Emissions Scenarios 92). Aastal 2000 tehti uus stsenaariumite kogum, SRES (Special Report on Emissions Scenarios), mida on kasutanud ÜRO kliimapaneeeli varasemad aruanded IPCC TAR (Third Assessment Report) ja IPCC AR4 (Fourth Assessment Report) ja mis on teaduskirjanduses seni kõige sagedamini kasutatav vahend kliimamuutuste illustreerimiseks. Uusim raport AR5 (Fifth Assessment Report) kasutab mõistet RCP (Representative Concentration Pathway). Kui SRES stsenaariumid võtsid aluseks sotsiaal-majandusliku stsenaariumi ja arvutasid selle baasil võimalikud kasvuhoonegaaside emissioonid, siis RCP-de puhul on püütud arvesse võtta ka kliima muutuse tagasisidet ühiskonna arengule. Vastavad tulemused on Euroopa jaoks kohandatud ja avaldatud projekti EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain) raames.

## 2.1. EURO-CORDEX

IPCC AR5 kokkuvõtete põhjal võib väita, et globaalne keskmine temperatuuri muutus perioodil 2016–2035 (võrreldes perioodiga 1986–2005) jääb kõigi stsenaariumite korral tõenäoliselt vahemikku 0,3 kuni 0,7 °C. Perioodiks 2081-2100 on soojenemise projektsioon juba oluliselt erinev erinevate stsenaariumite vahel, 0.3°C - 1.7°C (RCP2.6), 1.1°C - 2.6°C (RCP4.5), 1.4°C - 3.1°C (RCP6.0) ja 2.6°C - 4.8°C (RCP8.5). Soojenemine Arktika regioonis ületab globaalse keskmise ning soojenemine maapinna kohal ületab soojenemise ookeanide kohal. Väga tõenäoliselt sageneb ekstreemselt kõrgete temperatuuride esinemine, samal ajal kui ekstreemselt madalate temperatuuride esinemine väheneb, kuumalained ja põuad sagenevad ning vältavad pikemat aega.

Temperatuuri tõusu regionaalne modelleerimine on keerulisem ja tulemused ei ole nii kindlad. Mudelite abil saadud hinnang viitab siiski, et temperatuuri kasv on suurem kõrgetel laiustel. Projektsioonid näitavad soojenemist ka kõikidel aastaegadel Euroopas, seejuures on enim mõjutatud Lõuna-Euroopa suved ning Põhja-Euroopa talved (Kjellström et al. 2011). Suviseid kuumalaineid võimendavaks faktoriks on õhutemperatuuri tõusust põhjustatud kuivemad pinnasetingimused (Seneviratne et al. 2010, Hirschi et al. 2011). Euroopa talvede muutlikkus võib aga olla seotud jääkatte vähenemisega Barentsi ja Kara meredel (Petoukhov ja Semenov 2010). Kliima soojenemise tõsisemad tagajärjed Euroopas on sagenevad ekstreemsed ilmastikunähtused ja nende tagajärjed, näiteks metsatulekahjud, rekordilised kuumalained ja üleujutused Kesk-Euroopas, mis on viimaste aastate jooksul tugevnenud (CAN-E 2014). Tuleb siiski meeles pidada, et Eesti asetseb suhteliselt kaugel põhjas, kus arktiliste õhumasside sissetungide tõenäosus on ja jääb suhteliselt suureks. See aga tähendab, et ka kliimamuutuste puhul peame arvestama, et ka sajandi lõpus võib esineda mõned aastad, kus talvel kestavad pakaselised ilmad nädala või kauem. Ka RCP8.5 rakendumisel ei muutu meie kliima nii soojaks, et päevi, mil miinimumtemperatuur langeb alla -12 °C, enam üldse ei esineks (Sepp 2015).

Eesti jääb piirkonda, kus temperatuuri kasv on eeldatavalt suurem kui globaalne keskmine. Samas muudab siinse olukorra hindamise keerulisemaks asjaolu, et Eesti temperatuur ei ole määratud mitte globaalse keskmisega, vaid on mõjutatud eelkõige tsirkulatsioonimustrist - kas valitsevaks on Siberi kõrgrõhkkond või Atlantilt tulevad tsüklonid. Kokkuvõttes võib siiski öelda, et Eesti kohta käiv temperatuuri muutuse prognoos – Eesti keskmine temperatuur suureneb rohkem kui globaalne keskmine ja aastaegade lõikes pigem talvel ja kevadel – on praeguste teadmiste kohaselt parim võimalik ning ei saa eeldada, et see lähiajal palju peaks muutuma. Keerulisem on prognoosida temperatuuri kasvu täpset ulatust.

Eesti Keskkonnaagentuur soovib oma 2014 aasta raportis (Luhamaa et al. 2014), mida järgnevalt refereerime, lähtuda Eesti kliimamuutuste mõjudega kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku koostamisel kahest RCP stsenaariumist:

- RCP4.5 – soovitatav põhiststsenaarium; mõõdukas, riikide poolt olulisi leevendavaid meetmeid eeldav stsenaarium
- RCP8.5 – soovitatav lisastsenaarium; pessimistlik, nõrk riikidevaheline koostöö ja valdavalt süsinikul põhinev majandus

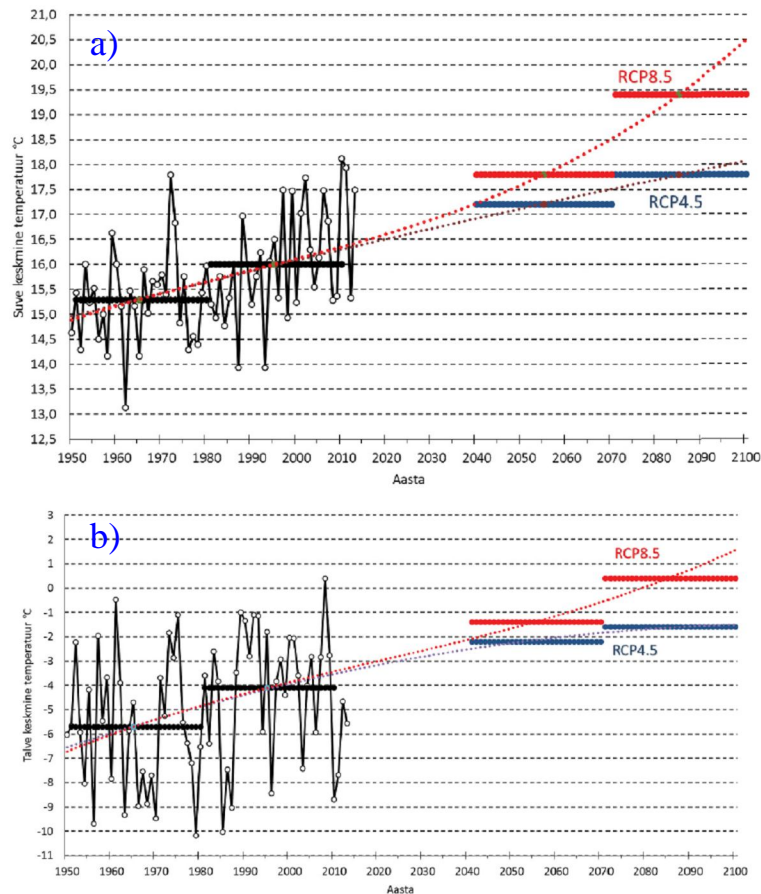
Temperatuuri muutus on nimetatud projektsioonide põhjal suurem sajandi lõpuks ja suurema kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni (RCP8.5) korral. Kõigi stsenaariumite ja

perioodide kombinatsioonide korral on temperatuuri tõus kõige suurem kevadkuudel, millele järgnevad talvekuud (tabel 3). Kui pool sajandit tagasi oli näiteks märts talvekuu, siis nüüd on see klimatoloogilises mõttes kevad (Tarand et al. 2013). Meil on juba olnud talv (2008), mille keskmine õhutemperatuur oli võrdne RCP8.5 ennustatava keskmise talve temperatuuriga. See tähendab, et 2008. aasta laadsed soojad talved on tulevikureaalsuses keskmiseks ehk normiks. See omakorda tähendab, et tulevikus ootavad meid ees ka mõned talved, mil vegetatsiooniperiood ei katke. Suvised muutused ei ole nii suured (joonis 5), praktikas võib see aga tähendada, et mõni suvi võib kujuneda selliseks, kus kuu või kaks püsivad enamuse kultuuride jaoks ülemäära kõrged ööpäeva maksimumtemperatuurid (>+27 °C) (Sepp 2015).

**Tabel 3.** Prognoositav Eesti keskmine 2 m õhutemperatuuri muutus (°C) 21. sajandi keskpaigaks ja lõpuks võrreldes perioodiga 1971–2000 EURO-CORDEX mudelansambli alusel (Luhamaa et al. 2014).

Periood	2040-2070		2070-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Talv (DJV)	2,3	3,1	2,9	4,9
Kevad (MAM)	2,4	3,4	3,1	4,9
Suvi (JJA)	1,6	2,2	2,2	3,8
Sügis (SON)	1,7	2,2	2,2	3,6
Aasta keskmine	2,0	2,7	2,6	4,3

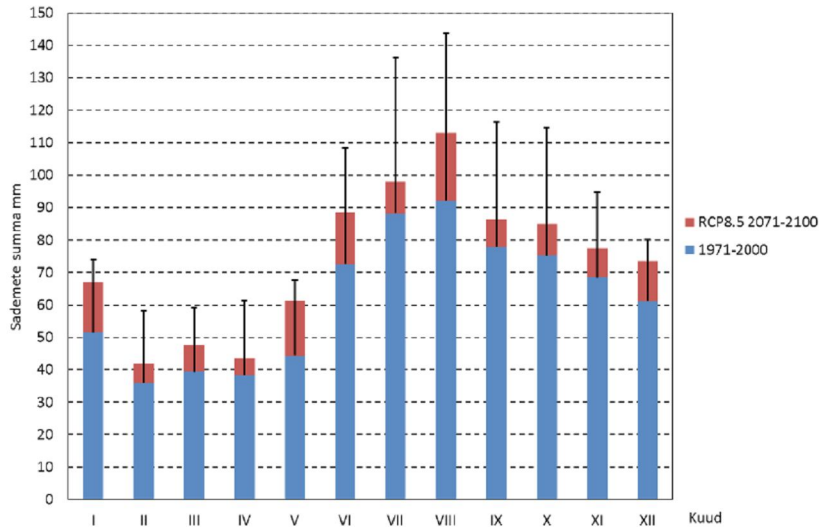
Sademe jaoks projitseeritakse kasvu kõigi aastaegade ja kõigi stsenaariumi/perioodi kombinatsioonide kohta. Sademete kasv on suurem RCP8.5 korral. Aastaegade vahel on erinevused: RCP8.5 põhjal kasvavad kõige rohkem kevadised, RCP4.5 põhjal suvised sademed (tabel 4). Sademete hulga muutustest tulenevate võimalike mõjude hindamisel tuleb silmas pidada, et sademed on kompleksne kliimategur, mis on klimatoloogiliselt üsnagi raskesti käsitletav ja mille puhul tuleb arvestada suure ruumilise varieeruvuse ja juhuslikkuse osakaaluga (Päädam ja Post 2011). Väga oluline on, kuidas kujuneb sademete jaotus. Kui eeldada, et lisamillimeetrid jaotuvad kõikide jaotusklasside vahel ühtlaselt, siis ei teki ühegi tulevikustsenaariumi rakendamisel olulisi probleeme – lisanduv sajuhulk jääb standardhälbe sisse ning reaalses elus praktiliselt märkamatuks (joonis 6). Oluline mõju lisandub sademete summa suurenemisel siis, kui see tõus realiseerub läbi sajupäevade arvu tõusu või ekstreemsete sademete sageduse.



**Joonis 5.** Suve (a) ja talve (b) keskmine temperatuur Türi l periodil 1951-2013 ja tulevikuprognosis perioodi 2041-2070 ja 2071-2100 kohta (Sepp 2015). Must joon tähistab vaatlusandmeid, punasega on tähistatud stsenaarium RCP8.5, sinisega RCP4.5

**Tabel 4.** Muutus keskmises sademete hulgas (%) aastaegade ja terve aasta lõikes, mis on saadud erinevate kliimamudelite põhjal aastateks 2040–2070 ja 2070–2100 võrreldes perioodiga 1971–2000 Eesti ala jaoks (Luhamaa et al. 2014).

Period	2040–2070		2070–2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Talv (DJV)	9	16	15	22
Kevad (MAM)	10	21	16	24
Suvi (JJA)	11	15	18	19
Sügis (SON)	10	11	8	12
Aasta keskmine	10	16	14	19



**Joonis 6.** Keskmine kuu sademete summa perioodil 1971-2000 (sinine osa) ja tulevikustsenaariumi RCP8.5 alusel ennustatav keskmine sademete summa tõus perioodil 2071-2100 (punane osa) Türil. Püstjoon tähistab perioodi 1971-2000 standardhälvet (Sepp 2015).

Mudelid projitseerivad ka ekstreemsete sademete juhtumite hulga suurenemist (tabel 5), kuid arvestades nende väga väikest esinemise tõenäosust enamuses osas aastast, on muutus oluline ainult suvel. Sademed tugevusega üle 30 mm ööpäevas on harv sündmus, nagu näitab veerg “kontroll”. Erakordsete sademete mõju puhul tuleb arvestada ekstreemsete sündmuste esinemissagedust, sajuhulka, aga eriti saju intensiivsust (Päädam ja Post 2011). Näiteks ööpäeva sademete summa 30 mm võib tähistada vägagi erinevaid mõjusid. Kui need millimeetrid langevad ühtlaselt 24 tunni jooksul, siis võib öelda, et oli äärmiselt vihmane päev, mille puhul võivad negatiivsed mõjud ilmnedavad ebasoodsate asjaolude kokkulangemisel. Kui aga need 30 mm sajavad maha hoovihmana ühe tunni jooksul, siis kaasneb sellega pea vältimatult märkimisväärne majanduslik kahju ja potentsiaalne oht inimestele: tekivad kohalikud üleujutused, hävib saak jne.

**Tabel 5.** Ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise sageduse projitseeritud suhtelised muudatused (%) aastaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa (Luhamaa et al. 2014). Kontroll näitab sündmuse esinemise tõenäosust kindlas punktis ühel päeval.

Periood	2040–2070		2070–2100		Kontroll
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	
Talv (DJV)	201	141	231	435	0.01
Kevad (MAM)	158	207	209	244	0.08
Suvi (JJA)	124	137	139	165	0.54
Sügis (SON)	188	184	174	245	0.16

## 2.2. AR4 stsenaariumid

Paralleelselt (ja rohkemgi) uute RCP stsenaariumitega on teadustegevuses ja -kirjanduses jätkuvalt kasutusel ka AR4 stsenaariumid (meie piirkonna jaoks kõige olulisemalt ka BACC II Author Team 2015). Edasine arutelu põhinebki käesoleva projekti raames AR4 stsenaariumitega tehtud arvutustel. Temperatuuri ja sademete muutuste arvutamiseks kasutasime tarkvara MAGICC/SCENGEN (*Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change/SCENario GENERator*) (Wigley ja Raper 1992, Hulme *et al.* 2000, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc>, 14.08.2015). Antud töös on kliimanäitajate muutused arvutatud kahe stsenaariumi kohta - A2 (rõhk regionaalsel majandusel, mõõdukas tehnoloogiline areng, elanikkond kasvab piiramatult) ja B1 (kiire majanduskasv, orienteeritus globaalsetele keskkonna- ja ressursisäästlikele tehnoloogiatele, elanikkonna kasv pidurdub).

MAGICC/SCENGEN andmebaasis on Eesti hõlmatud kolme võrguruuduga, keskpunktiga 58,8N/21,3E (Saarte läänerannik: Ristna), 58,8°N/23,8°E (Lääne-Eesti: Kihnu, Tallinn, Nigula, Kuusiku) ja 58,8°N/26,3°E (Ida-Eesti: Jõhvi, Türi, Jõgeva, Tartu, Viljandi, Võru). Käesolevas projektis kasutasime nii temperatuuri kui sademete võimalike muutuste hindamiseks mõlema stsenaariumi korral 4 kliimamudeli (tabel 6) prognoose. Mudelite valikul toetusime hiljutisele uurimusele (Jaagus ja Mändla 2014), milles tehti kindlaks, millised mudelid arvutavad seniseid temperatuuri- ja sademetemuutusi Eestis kõige täpsemalt. Käesolevas töös leidsime kuu keskmised temperatuuri- ja sademete muutused aastateks 2050 (vastavana perioodile 2035–2065) ja 2100 (2085–2115) võrrelduna kontrollperioodiga 1985-2005. Kui eeldada, et ennustatavas tulevikus säilib samasugune ilmade struktuur ja muster nagu kontrollperioodi, võib võtta kontrollperioodi ööpäeva õhutemperatuuri andmed ja neile liita tulevikustsenaariumis esitatud vastava kuu soojenemise koefitsient. Selle liitmistehte alusel nihkunud temperatuuride alusel saab leida mitmeid rakendusülesannetes vajalikke õhutemperatuuri indekseid, sh 30-aastase perioodi keskmisi sesoonide algus- ja lõpukuupäevi, vegetatsioonij- jt vastavate perioodide pikkusi soojal poolaastal. 30-aastase perioodi keskmiste tasemel on tulemused suhteliselt usaldusväärsed ja võimalik viga väike. Siiski tuleb tähele panna, et talve ja külma poolaasta temperatuuride nagu ka sademete andmete puhul selline mehaaniline liitmine ei tööta, kuna mängu tuleb nii-öelda jaotuste küsimus.

**Tabel 6.** Projektis kasutatud kliimamudelid.

Mudel	Mudeli loonud instituut	Riik
NCAR_CC3SM-3	<i>NationalCenterforAtmosphericResearch</i>	USA
NIES_MIROC3	<i>CCSR/NIES/FRCGC</i>	Jaapan
MPIM_ECHAM5	<i>Max Planck InstituteforMeteorology</i>	Saksamaa
UKMO_HadGEM	<i>HadleyCentreforClimatePrediction and Research</i>	UK

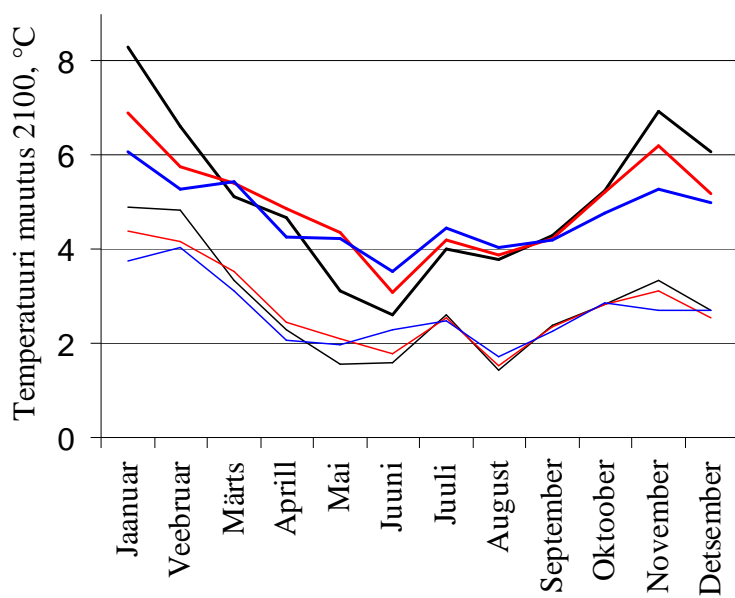
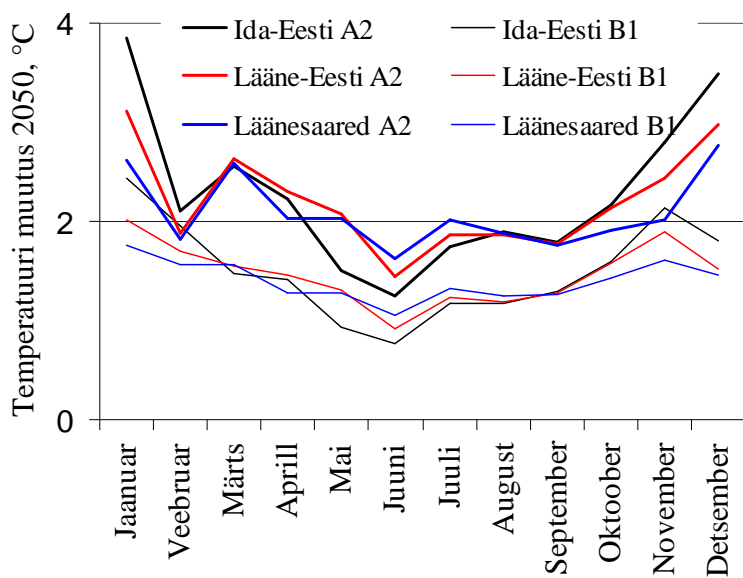
### 2.2.1. Temperatuuri ja sademete muutused.

Keskmiistatuna üle kliimamudelite prognoosivad mõlemad stsenaariumid aasta keskmise õhutemperatuuri tõusu (tabel 7). Suurim soojenemine jääb külmale poolaastale, samas kui taimekasvuperioodil, aprillist septembrini, jääks soojenemine tagasihoidlikumaks, sajandi keskpaigaks 1,3–2,2 °C ja sajandi lõpuks 2,2–4,9 °C (joonis 7). Ka aasta keskmine sademete hulk võib prognoosi järgi suureneada, kuid kuude kaupa varieerub sademete muutus erinevate mudelite ja stsenaariumide korral tugevalt ja on seega vähem kindel kui temperatuuri muutus. Kliimamudelite arvutused kinnitavad arvamust, et talvise temperatuuri tõustes peaks meil talvisel poolaastal jääma domineerima tsüklonaalne ilm, millega kaasnevad sajud. Keskmiselt võib oodata sademete tugevamat suurenemist jaanuaris ja novembris. Sooja poolaasta kohta on mudelarvutuste tulemused aga väga erinevad, ennustuse kohaselt suureneb suvekuudest sajuhulk kõige rohkem juunis, augustis-septembris võib oodata vaid marginaalset sajuhulga kasvu, mõne stsenaariumi kohaselt ka sademete vähenemist. Prognoositav suvise poolaasta keskmine sademete kasv on 4–8% sajandi keskpaigaks ja 5–14% sajandi lõpuks. Kõik nimetatud kliimamuutuse tendentsid on jälgitavad ka juba eelmise sajandi teises pooles (Jaagus 1998, 1999, 2006).

**Tabel 7.** Muutused aasta keskmises õhutemperatuuris ja sademete hulgas arvatuna kahe kliimamuutuste stsenaariumi jaoks keskmiistatuna üle 4 GCM ja kolme võrgustikuruudu. Sulgudes on antud projektsioonide maksimaalne ulatus (min–max).

Periood (ennustus)	Stsenaarium	Temperatuuri muutus, °C	Sademete muutus, %
2050	B1	1,45 (0,9 – 1,9)	6,0 (–1,9 – 24,7)
	A2	2,19 (1,3 – 2,8)	9,5 (–3,0 – 37,1)
2100	B1	2,75 (2,0 – 3,3)	10,8 (–0,9 – 36,8)
	A2	4,91 (3,0 – 6,2)	20,2 (–7,9 – 82,4)





**Joonis 7.** MAGICC/SCENGEN tarkvara abil prognoositud muutused kuu keskmises õhutemperatuuris (°C) aastaks 2050 (a) ja 2100 (b) võrreldes baasperiodiga 1985-2005 kolmes Eesti piirkonnas, arvatud 4 GCM keskmisena stsenaariumide A2 ja B1 jaoks.

### 2.3. Kokkuvõtvalt

Viimastel kümnenditel on juba toimunud kliima märkimisväärne soojenemine, järgnevatel kümnenditel see järjest kiireneb. Kui realiseerub tugevamat soojenemist prognoosiv stsenaarium siis 21. sajandi lõpuks on aasta keskmine õhutemperatuur ca 9°C, mis on samas suurusjärgus kui praegu Šoti põhjaranniku saartel (Sepp 2015). Aga ka antud juhul tuleb arvestada, et meil ei hakka sadama nii palju kui Šotimaal ning suved muutuvad oluliselt kuumemaks.

Tulevikuprojektsioonid ennustavad eelkõige talvede soojenemist, nende pikaajaline keskmine võib tõusta üle 0 °C. Tulevikus hakkab seega esinema talvesid, mil vegetatsiooniperiood ei katkegi. Tänu Eesti geograafilisele asendile ei kao siiski täielikult ei erakordsed külmalained ega ohtra lumikattega talved. Küll võib aga eeldada, et kõige tavalisemaks kujunevad talvel 0 °C lähedaste temperatuuridega pilvised ja vihmased ilmad. Järgnevate kümnendite uueks reaalsuseks muutuvad arvatavasti 2008. aasta sooja talve laadsed talved. On oodata ka seni suhtelise mõõdukana püsinud suviste keskmiste õhutemperatuuride järsku tõusu. Kuumalained muutuvad juba lähikümnenditel igasuviseks probleemiks.

Kliima üldine soojenemine toob loogiliselt kaasa ka sademete hulga tõusu. Sademete puhul tuleb aga arvestada väga suurt ajalist ja ruumilist muutlikkust nagu ka suurt juhuslikkuse komponenti, mistõttu ka tulevikuprognoside puhul tuleb arvestada üsna suure määramatusega. Väga oluliseks kujuneb küsimus, millisesse jaotuse ossa sademete lisa lisandub. Kaudsete andmete (praeguste tendentside ja kiirgusrežiimi muutuste) alusel võib eeldada, et talvel lisandub senisest rohkem sajupäevi, kuid suvel hakkab sagedamini esinema paduvihmasid (Sepp 2015), prognoositakse nii erakordsete sademete järsku tõusu kui ka põuaperioodide intensiivistumist.

### 3. Kliimamuutuse võimalik mõju põllukultuuride kasvatamisele põhjamaistes tingimustes

Põllumajandus on oma olemuselt küllalt spetsiifiline ja erinevatest faktoritest mõjutatud valdkond, mistõttu on üldiste kliimamudelite tulemuste põhjal konkreetseid mõjusid keeruline ennustada. Seetõttu on ka teaduskirjanduses avaldatud küllaltki vastukäivaid hinnanguid. Peamine läbiv sõnum on, et ka tulevikus ei vähene põllumajandussektoris ilmastikust põhjustatud/mõjutatud piirangud olulisel määral, isegi kui üldine saagipotentsiaal suureneb. Kõrgemate laiuskraadide, sh Eestis jaoks prognoositavad keskmised muutused on põllumajanduse seisukohalt üldiselt positiivsed, eelkõige tänu vegetatsiooniperioodi ja selle füsioloogiliselt aktiivse osa pikenedele ja soojusressursside suurenemisele (nt Carter et al. 1996, IPCC 2007a, Peltonen-Sainio et al. 2009a, Supit et al. 2010, Olesen et al. 2011). Samas, enamasti ei ole neis uuringutes kaasatud ilmastikutingimuste suurenevat varieeruvust. On kahtlusi, et tulemused ei ole nii positiivsed, kui kliima kujuneb praegusest oluliselt muutlikumaks ja sordiaretus ning agronoomia ei suuda selle muutlikkusega kohanemiseks pakkuda piisavalt kiiresti piisavalt efektiivseid meetmeid (Peltonen-Sainio et al. 2009d, Rötter et al. 2011a). Samuti tuleb arvestada, et kliimamuutus mõjutab erinevaid taimeliike ja sorte ning nende tootlikkust erinevalt. Mõned põllukultuurid saavad soojenevast kliimast rohkem kasu, samas võivad teised liigid ja sordid sattuda tõsisesse raskustesse. Järgnevalt toome teaduskirjanduse põhjal välja mõned peamised aspektid. Kokkuvõttev hinnang teraviljade saake kõige rohkem kahjustavate ilmastikunähtuste ja nende võimaliku muutuse kohta on toodud tabelites 8 ja 9.

#### 3.1. Vegetatsiooniperioodi pikenedamine

Kõrgetel laiuskraadidel, sh Eestis ja lähiriikides on peamised kultuuride ja sortide valikut mõjutavad ning kultuurtaimede saagikust piiravad tegurid sinne lühike vegetatsiooniperiood, seda veelgi piiravad hilised ja varased öökülmad ning kasvuperioodil kogunevad suhteliselt madalad temperatuurisummad (Põiklik 1977, Kivi 1998, Peltonen-Sainio 2012, Peltonen-Sainio et al. 2014). Nagu eelnevalt välja tõime, on vegetatsiooniperiood Eestis viimase 50 aasta jooksul juba tunduvalt pikenenud, seda eelkõige kevadel, mis võimaldab mitmete põllukultuuride varasemat külvi. Kliima üldisel soojenemisel võib eeldada ka öökülmapäeva perioodi pikenedamist (Kaukoranta et al. 2010, Trnka et al. 2011a, Sepp 2015). Näitena spontaanselt kohanemisvõimest on põllumajandustootjad juba hakanud mitmeid kultuure varem külvama (Kaukoranta ja Hakala 2008, Olesen et al. 2011), sama tendentsi näeme ka Eestis.

Peamine positiivne efekt saakidele tulenebki varasemast kevadisest külvivõimalusest, mitte niivõrd valmimise ja koristuse hilisemaks muutumisest (Peltonen-Sainio 2012). Tuleviku kõrgemad soojussummad kogunevad nii tänu pikemale vegetatsiooniperioodile kui kõrgematele ööpäeva keskmistele temperatuuridele. Samas on liiga kõrged temperatuurid mitmete kultuuride kasvu ja saagi kujunemise jaoks ebasoodsad (Peltonen-Sainio et al. 2009a, 2011a, Rötter et al. 2011a, Hakala et al. 2012, Ingvordsen et al. 2015a). Et kasvuperioodi pikenedamisest ja soojusressursside suurenemisest tulenev kasu „raisku” ei läheks või koguni kahjulikuks ei pöörduks, on vajalik adapteerumine sordiaretuse kaudu (Peltonen-Sainio et al. 2009c, Ingvordsen et al. 2015b).

### 3.2. Võimalused kasvatatavate kultuuride mitmekesisistumiseks

Põhilisemate kultuurtaimede kasvupinnad hinnatakse Põhjamaades märkimisväärselt suurenevat, seda eelkõige tänu nende põhjapoolse levipiiri nihkumisele (Peltonen-Sainio et al. 2009a, 2014, Peltonen-Sainio 2012). See avab uued võimalused ka viljavahelduseks (Peltonen-Sainio ja Niemi 2012). Näiteks võimaldaks kevadise vegetatsiooniperioodi varasemat algust maksimaalselt ära kasutada püsirohumaade ja taliviljade kasvatamise laiendamise – need kultuurid alustavad kasvu niipea, kui võimalik; kasutavad ära talvel kogunenud veevarud; saavad kasu eelkultuurist mulda jäänud toitainetest; pääsevad tänu varasemale arengule ohtlikult kõrgetest temperatuuridest olulistest arengufaasides ja neil on ka üldiselt suurem saagipotentsiaal. Reidsma et al. (2010) näitasid, et üle Euroopa reageerivad farmerid juba praegu muutuvatele oludele väga efektiivselt just viljavahelduse muutmise kaudu.

Lisaks tekib soojusressursside prognoositaval suurenemisel võimalus uute kultuuride ja pikema kasvuaajaga ja/või suurema soojusvajadusega, saagikamate sortide kasutuselevõtmiseks (Olesen ja Bindi 2002, Ewert et al. 2005, IPCC 2007a). Näiteks võiks mais muutuda laialdaselt kasvatatavaks teraviljaks Rootsis (Elsgaard et al. 2012) või ka Eestis (Käremaa ja Saue 2015), Soomes saaks seda sajandi lõpuks kogu riigis silomaisina kasvatada (Peltonen-Sainio et al. 2009a).

Teiselt poolt, kuna kliima soojenemisega ennustatakse ka ekstreemsete ilmastikunähtuste sageduse suurenemist samuti taimehaiguste- ja kahjustajate laiemat levikut, siis suureneb kokkuvõttes põllumajandusliku tootmise ebakindlus. Selle negatiivseks tulemuseks võib hoopis olla, et tootjad saavad/julgevad usaldada ainult kõige stabiilsemaid kultuure ja sorte, mis tähendab, et põllumajanduskultuuride bioloogiline mitmekesisus satub kliima soojenemisel löögi alla (Reidsma ja Ewert 2008).

### 3.3. Kõrgemad temperatuurid

Kui põllukultuuri temperatuurioptimum ületatakse, siis saagikus langeb. Kõrgemad temperatuurid on kahjulikud eelkõige teraviljade ja rapsi saakidele nii kogu Euroopas (Reidsma ja Ewert 2008, Peltonen-Sainio et al. 2010) kui ka Põhjamaades (Peltonen-Sainio et al. 2010, 2011a, Kristensen et al. 2011, Tao et al. 2015). Mitmete erinevates kliimaregioonides läbiviidud uuringute tulemusel võib kokkuvõtlikult öelda, et kasvatatavad sordid on kohastunud üpris kitsale temperatuurivahemikule ning isegi suhteliselt mõõdukas ja/või lühiajaline keskmise ja/või maksimaalse temperatuuri tõus vähendab saake.

Eriti kahjulikud on kuumalained – pikema perioodi vältel kestav kõrge temperatuur. Kombineerituna põhjamaiste pikkade päevadega põhjustavad need arengu liigset kiirenemist, kui esinevad loomise eel või öitsemise ajal (Ingvordsen et al. 2015a); või liiga varast valmimist, kui esinevad tera täitumise perioodil (Peltonen-Sainio et al. 2011a, Hakala et al. 2012). Raps on eriti tundlik kõrgetele temperatuuridele seemne täitumise ajal (Peltonen-Sainio et al. 2007, Frenck et al. 2011). Kõrgemad temperatuurid esinevad sageli koos põuaga, mis veelgi võimendab saagikadu (Ingvordsen et al. 2015a). Taliteraviljade saake võivad mõjutada ka sügised ja talvised temperatuurid (Kristensen et al. 2011, Peltonen-Sainio et al. 2011b), kuid see seos ei ole lineaarne, vähenemist põhjustavad nii liiga soojad kui liiga külmad talved. Küll halvendavad pikad ja soojad sügised külvide karastumist.

Sageli märgitakse atmosfääri CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni kasvu positiivset mõju taimede kasvule ja on arvatud, et teatud piirini kompenseerib CO<sub>2</sub> suurenemine temperatuuride kasvust tingitud negatiivset mõju. Kust see piir jookseb, selle kohta on erinevaid hinnanguid. Põhjamaiste olude jaoks on näiteks Frenck et al. (2011) näidanud, et 770 ppm ei suuda enam kompenseerida keskmise temperatuuri tõusu 5 °C, Hakala (1998) leidis, et 700ppm kompenseerib osaliselt temperatuuri tõusu 3 °C jne.

#### 3.4. Rohkem sademeid, suurem varieeruvus

Põllumajanduskultuuride kasvatamist mõjutab oluliselt mulla niiskusrežiim, seda nii põua kui liigniiskuse kujul. Kliima soojenemisega kaasnev muutus sademetes ei ole väga üheselt prognoositav, eriti suur on kindlusetus regionaalsel skaalal, kuid eeldada võib varieeruvuse suurenemist, sealhulgas ekstreemsete olukordade sagenemist ja intensiivistumist (IPCC 2012).

Arvestades talvise õhutemperatuuri drastilist kasvu tugevama stsenaariumi realiseerumisel, võib oodata, et enamik tavistest sademetest hakkab maha jõudma vihmana. Väheneva lumikatte tõttu väheneb kevadine ja varasuvine mulla veevaru (IPCC 2007b, Ylhäisi et al. 2010). Pidev niiskus ja asjaolu, et pinnas ei külmu läbi (või tekivad sagedased, kuid lühiajalised jäätumis-sulamistsükliid), võib tekitada lisaprobleeme kuluuride talvitumisel. Vaatamata sademete hulga suurenemisele võib tänu püsiva lumikattega päevade järsule vähenemisele süveneda ka kevadise põua tendents. Kuna lumi sulab aina varem, siis pikeneb kevadine veevaene periood – ajavahemik, mis jääb lumesulamise ja esimeste kevadsuviste vihmade vahele. Aprillis-mais püsivate päikesepaisteliste ja suhteliselt soojade ilmadega põllud küll tahenevad, kuid kui lumi sulab varem või lumikatet ei teki, siis venib vihmade-eelne periood sedavõrd pikaks, et on reaalne oht kevadise põua kujunemiseks (Tammets ja Jaagus, 2007; 2013).

Suurem osa suurenevast sademete hulgast ennustatakse väljapoole kasvuperioodi, seega võib arvata, et põllumajandusele sellest määravat kasu ei tõuse. Hinnanguliselt ei suurene kasvuperioodi sademete hulk piisavalt, et kompenseerida kõrgema temperatuuri ja sellest tuleneva suurema biomassi tingimustes suurenevat evapotranspiratsiooni (Ylhäisi et al. 2010., Peltonen-Sainio et al. 2013).

Sademete hulga keskmisest muutusest palju olulisem on sademete ajastus ja jaotus. Varasuviste sademete suurenemine mõjuks taimekasvatusele positiivselt, samas kui rohkem sademeid augustis-septembris toob kaasa negatiivse mõju, raskendades viljade valmimist, koristust ja vähendades saagi kvaliteeti (Ylhäisi et al. 2010). Kui aga sajud hakkavad edaspidi olema pigem harvemad ja tugevamad, ei ole sellised sademed taimede poolt nii efektiivselt kasutatavad. Teiselt poolt võivad hoogsademed põhjustada mulla liigniiskust, lamandumist, pidurdada valmimist, halvendada kvaliteeti ja raskendada koristust. Seega on sademete muutuste analüüsil on väga olulisel kohal sademete jaotuste probleemil, ehk millisesse jaotuse ossa tulevikustsenaariumite järgi ennustatavad lisamillimeetrid lähevad. Variante on mitmeid ning erinevate versioonide realiseerumisel on muutuste mõju erinev.

Sademete suurem varieeruvus tähendab ka sagedasemaid ja intensiivsemaid põuaperioode. Kuigi tänini on Põhjamaades põllumajanduslik tootmine reeglina toimunud looduslike sademete baasil, siis tulevikus võib eeldada reaalse niisutusvajaduse kujunemist. Maksimaalse kasu saamiseks peaks kultuuride niisutamine olema osa hästi läbimõeldud, komplekssest veemajandussüsteemist, mis sisaldab nii niisutust, kuivendust

kui veekaitsest aspekti (Saue ja Kadaja 2013, 2014, Kadaja ja Saue 2016, Peltonen-Sainio et al. 2015a,b).

### 3.5. Pehmemad talved

Soojenemise käigus muutuvad ka tingimused talikultuuride talvitumiseks. Soojemad ja lühemad talved võiksid olla talikultuuridele soodsamad, kuna leeveneb otsese ära külmumise tõenäosus, samuti väheneb lumikatte vähenemisel ka haudumise oht. Samas jäävad haudumine ja vettimine lumiste talvede korral endiselt arvestatavaks talvitumisriskiks.

Samas jääb meie laiuskraadil kindlasti alles ka tõenäosus tugevate külmade esinemiseks (Jylhä et al. 2008). Sügisene sademete suurenemine ja kasvuperioodi sügisene pikenedamine mõjutavad talikultuuride talvekindluse kujunemist negatiivselt. Seega on taimed tõenäoliselt külmale vastuvõtlikumad (Belanger et al. 2012).

Kokkuvõttes on võimalik, et lähitulevikus muutuvad talvised tingimused taliviljade edukaks kasvatamiseks liiga varieeruvaks, enne kui need jätkuval soojenemisel taas paranevad. Prognoositavas soojemas kliimas esineb tüüpilise talve jooksul senisest sagedamini nii sooja- kui külmaperioode, sagenevad külma-sula perioodid ja nullilähedased temperatuurid, mil öösel külmetab ja päeval sulatab (Jylhä et al. 2008). Selline tingimuste kõikumine raskendab oluliselt viljade talvitumist ja suurendab talvekahjustusi (Hakala et al. 2011, Peltonen-Sainio et al. 2011b).

### 3.6. Varieeruvus ja ekstreemumid

Lisaks kasvuperioodi kõrgematele keskmistele temperatuuridele toob kliima soojenemine kaasa ka tingimuste suurema varieeruvuse ja sellega koos võime oodata sagedasemaid, intensiivsemaid ja kauemkestvaid ekstreemseid sündmusi, nagu näiteks kuumalained, põuad, paduvihmad (Beniston et al. 2007, IPCC 2007b, Nikulin et al. 2011), mis toovad kaasa uusi määramatusi, lisavad uusi riske ning muudavad olemasolevaid riske. IPCC 2012 aasta raporti kohaselt on just kliimaatilistel ekstreemumitel äärmiselt oluline mõju põllumajandusele. See on teema, mis on Euroopas alles viimastel aastatel tõeliselt fookusesse tõusnud ja mis vajaks kindlasti ka Eesti kontekstis põhjalikumalt analüüsi. Põllumajanduse ja taimekasvatuse seisukohalt on see üks keerulisemaid aspekte, millega kohaneda.

### 3.7. Taimekahjustajad

Lisaks otseselt ilmastikust tulenevatele riskidele peab soojenemise foonil arvestama ka taimekahjurite ja -haiguste laiema levikuga (Hakala et al. 2011). Ennustatavad muutused kliimatingimustes suurendavad riske, mis on seotud taimehaiguste ja -kahjuritega. Ühelt poolt saavad meie juurde jõuda soojematele tingimustele kohastunud kahjustajad, teiselt poolt elavad tulevased pehmemad talved paremini üle ka vanad tuttavad pahalased. Need riskid ei ole praeguste teadmiste juures selged ega ühesed, kuna ka kahjurid ja patogeenid adapteeruvad ja kohanevad.

Veel üks dimensioon seoses tulevikus kujunevate vajadustega taimekaitse valdkonnas on seotud võõrliikide levikuga meie agroökosüsteemidesse, kui tingimused muutuvad neile soodsaks.

### 3.8. Saagile kõige kahjulikumad ilmastikusündmused

Esitame kokkuvõtavad tabelid teraviljade saaki kõige enam mõjutavate ilmastikusündmuste kohta ning hinnangu, kuidas võiks nende sündmuste tõenäosus kliima muutumisel muutuda. Sarnane hinnang tuleks edaspidi koostada ka teiste kultuuride jaoks, samuti oleks vajalik ka arvuliselt hinnata kirjeldatud sündmuste esinemise tõenäosusi ja nende territoriaalseid erinevusi praeguses ja prognoositavas kliimas.

**Tabel 8.** Kirjanduse põhjal hinnatud kadu suviteraviljade saagile erinevate ilmamuutujate tõttu. Küsimärk (?) näitab, et täpset mõju saagile ei ole võimalik hinnata, kuid kahju on väga tõenäoline.

Ebasoodne ilmasündmus	Hinnanguline saagi vähenemine	Kirjanduse viide	Tõenäosus kliima soojenemisel
Külvi viibimine: hiline maapinna sulamine ja/või tahenemine, tugevad sajud külvi perioodil	Oder: 20-35 kg ha <sup>-1</sup> päeva kohta	Hakala et al. 2012, Peltonen-Sainio ja Jauhiainen 2014.	Väheneb
Põud peale külvi	Oder: 250 kg ha <sup>-1</sup>	Hakala et al. 2012, Peltonen-Sainio et al. 2009b	Suureneb
Liigniiskus peale külvi	Oder: 350-500 kg ha <sup>-1</sup>		?
Öökülmad	?		Väheneb
Kõrge temperatuur enne loomist	70-160 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup>	Mukula ja Rantanen 1987,	Suureneb
Põud enne loomist	50-60 kg ha <sup>-1</sup> -10 mm	Peltonen-Sainio et al. 2011a, Ingvordsen et al. 2015a, Peltonen-Sainio et al 2014	Suureneb
Kõrge temperatuur tera täitumise perioodil	80-140 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup>		Suureneb
Tugevad sajud tera täitumise perioodil	Lamandumine, ?		Suureneb
Tugevad sajud peale valmimist	Koristuskahjud, ?		Suureneb
Taimehaigused ja – kahjustajad	?		Suureneb

**Tabel 9.** Kirjanduse põhjal hinnatud kadu taliteraviljade saagile erinevate ilmamuutujate tõttu. Küsimärk (?) näitab, et täpset mõju saagile ei ole võimalik hinnata, kuid kahju on väga tõenäoline.

Ebasoodne ilmasündmus	Hinnanguline saagi vähenemine	Kirjanduse viide	Tõenäosus kliima soojenemisel
Külvi viibimine eelneva kultuuri koristuse hilinemise tõttu	Liiga hilja, et külvata, asendatakse suviviljaga: 1000 kg ha <sup>-1</sup> Viivitus: 500-3500 kg ha <sup>-1</sup>	Mukula ja Rantanen 1987, 1989a, b, Peltonen-Sainio et al. 2011a	Eelnev kultuur koristatakse varem ja talivilja külv nihkub hilisemaks
Kõrge temperatuur enne loomist	110-190 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup>	Mukula ja Rantanen 1987, Peltonen-Sainio et al. 2011a	Suureneb
Öökülmad	?		Väheneb
Tugevad sajud loomise ajal	300 kg ha <sup>-1</sup>		Suureneb
Tugevad sajud tera täitumise ajal	Rukis: 750 kg ha <sup>-1</sup>		Suureneb
Üleujutus ja jääkahjustused tänu muutlikele talvetingimustele (sulakülm)	>10%: 700-1000 kg ha <sup>-1</sup> >25%: 1200-1700 kg ha <sup>-1</sup> kuni täielik häving	Peltonen-Sainio et al 2011b	Suureneb
Taimehaigused ja – kahjustajad	?		Suureneb

Riiklike sordivõrdluskatsete ja Kuusiku pikaajalise komplekskatse saakide andmete põhjal saadi projekti käigus esialgsed hinnangud ka Eesti tingimuste ja saakide seoste kohta. Kuna fenoloogiliste andmete koondamine võtab eeldatust kauem aega, siis käesolevas aruandes esitame kasvufaase kasutavaid tulemusi suviteravilja kohta (tabel 10).



**Tabel 10.** Mõningate ilmaparameetrite mõju suviteraviljade saagile. \* näitab, et mõju on statistiliselt usaldusväärne ( $p < 0,05$ )

Ebasoodne ilmasündmus	Mõõdik	Kultuur	Mõju saagile
Kõrge temperatuur tera täitumise perioodil	Temperatuurisumma	Oder	-76 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
	akumuleerumise kiirus (päevas)	Kaer	-215 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
	loomisest vahaküpsuseni	Nisu	-244 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
	Päevade arv perioodil 1 nädal enne kuni 2 nädalat pärast loomist, mil keskmine temperatuur ületas 21 °C	Oder	-58 kg ha <sup>-1</sup> päev <sup>-1</sup> *
		Kaer	-89 kg ha <sup>-1</sup> päev <sup>-1</sup> *
		Nisu	-71 kg ha <sup>-1</sup> päev <sup>-1</sup> *
Kõrge temperatuur enne loomist	Temperatuurisumma 3-4 nädalal peale külvi	Oder	-29 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
		Kaer	-34 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
		Nisu	-28 kg ha <sup>-1</sup> deg <sup>-1</sup> *
Põud/liigniiskus enne külvi	Sademete summa 1 kuu enne külvi	Oder	+0.4 kg ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup>
		Kaer	-22 kg ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup> *
		Nisu	+5.5 ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup>
Põud/liigniiskus peale külvi	Sademete summa (kolmes grupis*) 0–3 nädalat peale külvi	Oder	+1049/+846
		Kaer	+399/+90
		Nisu	+250/+122
Põud enne loomist	Sademete summa 3–7 nädalal peale külvi	Oder	+66 ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup>
		Kaer	+40 ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup>
		Nisu	+33 ha <sup>-1</sup> 10mm <sup>-1</sup>

\*Sademeid vaadeldi kolmes grupis: 0-18,2 mm, 18,3-33,6 mm ja 33,7-122,4 mm. Mõju saagile on väljendatud kui alumise (vähe sademeid) ja ülemise (palju sademeid) grupi erinevus võrreldes keskmise, mõõduka sajuhulga grupiga.

Lisaks tabelis 10 toodud negatiivsetele võib Kuusiku andmete põhjal välja tuua ka mõningad positiivsed aspektid. Positiivne korrelatsioon temperatuurisummadega 1 kuu enne külvi, näitab, et hiline ja/või külm kevad mõjub saakidele halvasti. See seos temperatuuridega on tugevam küntud variantidel võrreldes miinimumharimisega (miinimumharimine kui külvi järgsete madalate temperatuuride ohu kõrvaldaja?), ja vähem väetatud variantidel. Kliima soojenemise eeldusel võib see piirang saakidele tulevikus leeveneda, kui kevadised olud muutuvad. Samas, tingimuste varieeruvus jääb ja eeldatavalt suureneb.

Siin analüüsis ei ole vaadeldud erinevate ilmafaktorite koosmõju ega seda, kuidas saagid erinevates asukohtades reageerivad. Põhjalikum ja enamaid kultuure haarav analüüs võimaldaks viia näidatud tulemused üle tulevikku ja hinnata selle kaudu tulevase saagipotentsiaale.

#### 4. Eestile prognoositavad muutused agrokliimaatilistes ressurssides

Järgnevalt esitame mõned numbrilised hinnangud, kuidas võiks kliimastenaariumite realiseerumisel Eestis agrokliima ressursid kujuneda.

##### 4.1. Vegetatsiooniperioodi pikenedamine

Üldise temperatuuritõusu taustal on oodata vegetatsiooniperioodi jätkuvat pikenedamist (tabel 11). Ennustused erinevad mudelite ja stsenaariumite lõikes päris tugevasti, mis näitab selliste ennustuste suhtelist ebakindlust. Siiski võib üldistatult öelda, et isegi kui üldine soojenedamine jääb mõõdukaks (stsenaarium B1), võime oodata vegetatsiooniperioodi pikenedamist sajandi keskpaigaks 17-20 päeva võrra, tugevam stsenaarium ennustab juba keskmiselt kuu aega pikemat kasvuperioodi. Arvutuste kohaselt algab vegetatsiooniperiood aastal 2050 keskmiselt 6-8 kuni 11-13 päeva varem (vastavalt stsenaariumitele B1 ja A2), samas lõpeb see periood 10-12 (15-21) päeva hiljem. Seega, kui senini on vegetatsiooniperiood pikenenud eelkõige kevade arvelt, siis temperatuuride jätkuval tõusmisel võib oodata taimede kasvuks soojuslikult sobiliku perioodi pikenedamist ka sügise arvel. Temperatuuri püsimine taimede kasvuks sobivas vahemikus ei tähenda ilmtingimata seda, et taimede kasvuperiood tegelikult kogu sel perioodil efektiivselt toimib. Ei ole tõenäoline, et selline sügise pikenedamine kultuuride kasvatamisele oluliselt kasu tooks, kuna üldise soojenedamisega ei muutu meie geograafilises asukohas sügisene vähene valguse intensiivsus ja lühikesed päevad (GAISMA 2015), mis jäävad lisanduvateks taimekasvu piiravateks teguriteks (Saikkonen et al. 2012.). Pikema prognoosiperioodi jaoks, st vaadates tulemusi keskmistauna aastaks 2100, muutuvad nii stsenaariumite kui mudelite vahelised lahknevused juba oluliselt suuremaks, kasvuperiood võib pikeneda maksimaalselt kuni kolme kuu võrra. Ristnasse ja mujale saartele ning läänerannikule võib oodata ka talvesid, kus temperatuur püsib aastaringselt üle 5 °C.

**Tabel 11.** Keskmise muutuse vegetatsiooniperioodi alguse ja lõpu kuupäevades ning kestuses aastatel 2050 ja 2100 võrreldes perioodiga 1965-2014 kahe kliimamuutuse stsenaariumi jaoks. Märk,-“ tähistab kuupäeva nihkumist varasemaks, „+“ kuupäeva nihkumist hilisemaks. Kestuse lahtris tähistab märk „+“ kestuse pikenemist. Võrreldes perioodiga 1965-2013 on kõikides jaamades on kõik prognoositavad muutused statistiliselt olulised  $p < 0,05$  juures.

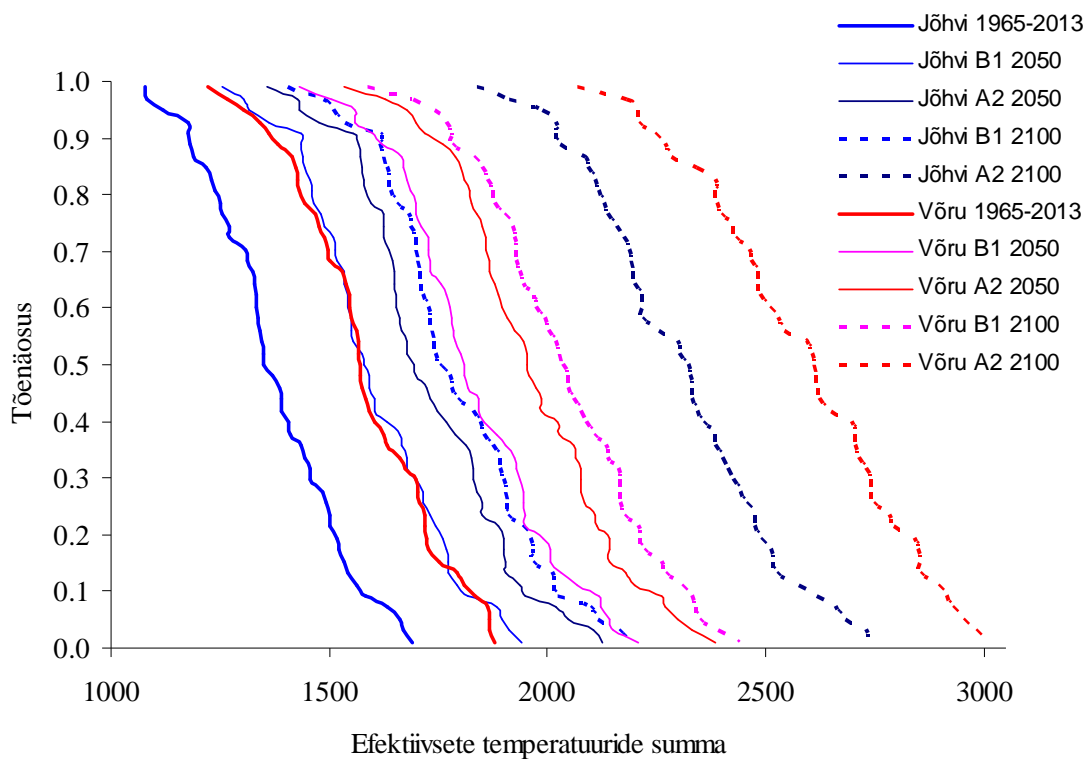
JAAM	Prognoositav aasta	2050			2100		
		Stsenaarium	Algus	Lõpp	Kestus	Algus	Lõpp
Tallinn	B1	-7	+11	+18	-23	+17	+39
	A2	-13	+15	+28	-43	+38	+81
Jõhvi	B1	-6	+12	+18	-14	+19	+33
	A2	-11	+17	+29	-35	+41	+76
Kuusiku	B1	-8	+12	+20	-16	+18	+34
	A2	-12	+16	+28	-36	+38	+75
Türi	B1	-7	+12	+19	-17	+18	+35
	A2	-13	+17	+29	-42	+41	+83
Jõgeva	B1	-6	+12	+19	-16	+20	+35
	A2	-12	+18	+30	-37	+42	+79
Tartu	B1	-6	+11	+17	-18	+18	+36
	A2	-11	+17	+28	-39	+40	+79
Viljandi	B1	-6	+11	+17	-17	+18	+35
	A2	-12	+16	+28	-41	+40	+81
Võru	B1	-8	+12	+20	-21	+19	+40
	A2	-13	+18	+31	-41	+40	+81
Nigula	B1	-7	+12	+19	-20	+19	+39
	A2	-13	+16	+29	-43	+37	+80
Ristna	B1	-8	+12	+20	-30	+25	+55
	A2	-17	+21	+37	-58	+36	+94
Kihnu	B1	-8	+10	+18	-20	+20	+40
	A2	-13	+19	+31	-51	+35	+86

#### 4.2 Soojusressursside suurenemine

Kliima soojenemisel võime eeldada soojusressursside suurenemist (tabel 12). Keskmisest muutusest olulisem on siiski hinnata temperatuurisummade tagatust ehk teatud summade esinemise tõenäosust (joonis 8). Soojusressursid jäävad ka soojemas kliimas erinevates Eesti osades erinevaks. Nii võime eeldada, et kui kirjeldatud stsenaariumid realiseeruvad, siis võivad sajandi keskpaigas näiteks Jõhvi soojusressursid olla võrreldavad praeguste Võru tingimustega. Tabeli 13 alusel võime teoretiseerida, et mõõduka soojenemise korral võime oodata soojalembeste kultuuride, nagu mais, tomat ja kurk (avamaal seemnest, ilma katmata) valmimiseks piisavalt soojust keskmiselt igal teisel aastal, Kagu-Eestis ka peaaegu igal aastal. Erinevate sortide puhul erineb soojusvajadus siiski oluliselt, kultuuri kasvatamise võimalikkuse hindamisel tuleb kindlasti arvestada konkreetse sordi omadusi. Puuvilla ja apelsinide kasvatamine ei muutu meil aga võimalikuks ka tugevat soojenemist prognoosiva stsenaariumi realiseerumisel.

**Tabel 12.** Eesti keskmised eeldatavad muutused soojusressurssides (°C)

Aasta	2050		2100	
Stsenaarium	B1	A2	B1	A2
Efektiivsete üle 5°C temperatuuride summa	248	375	452	998
Efektiivsete üle 10°C temperatuuride summa	159	243	290	637
Aktiivsete üle 10°C temperatuuride summa	299	449	544	1177



**Joonis 8.** Efektiivsete (>5 °C) temperatuuride jaotus Jõhvis ja Võrus perioodi 1965-2013 keskmisena ja aastateks 2050 ja 2100 kahe erineva stsenaariumi põhjal.

**Tabel 13.** Minimaalsed aktiivsete temperatuuride summad (>10 °C), mida on vaja erinevate soojelembeste suvikultuuride edukaks kasvatamiseks põhjamaistes pika päeva tingimustes ja nende tagatus kliimamuutuste tingimustes.

Kultuur	Minimaalne vajalik aktiivsete temperatuuride (>10 °C) summa	Tagatus praeguses kliimas		Tagatus 2050 (B1)		Tagatus 2100 (B1)		Tagatus 2100 (A2)	
		Võru	Jõhvi	Võru	Jõhvi	Võru	Jõhvi	Võru	Jõhvi
Tatar	1200	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Mais	Piimküpsus 1800	0,1	0	0,2	0,1	0,5	0,4	1,0	1,0
	Täisküpsus 2100	0	0	0,1	0	0,4	0,1	1,0	0,8
Tomat	1800	0,1	0	0,5	0,1	0,9	0,4	1,0	1,0
Päevalill	1600	0,6	0,1	0,95	0,5	0,97	0,9	1,0	1,0
Soja	1800	0,2	0	0,6	0,2	0,9	0,5	1,0	1,0
Riis	2000	0	0	0,2	0	0,6	0,2	1,0	0,95
Suhkrupeet	2100	0	0	0,1	0	0,4	0,06	1,0	0,8
Puuvill (varane)	2700	0	0	0	0	0	0	0,4	0,04
Tsitruselised	3500	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 4.3 Sademeterežiimi muutuste mõned nüansid

Nagu eespool välja toodud, on sademeterežiimi muutuste praktiliselt kasutatava täpsusega ennustamine praeguse modelleerimise taseme juures saavutamata. Kuigi üldiselt on soojem atmosfäär võimeline siduma rohkem niiskust ja seega võime temperatuuri tõustes eeldada ka sajuhulga kasvu, siis sademete regionaalne ja ajaline muutus erineb erinevate mudelite ja stsenaariumide vahel tugevalt. Peamine tendents, millega peab arvestama, on sademete varieeruvuse muutus.

Viimastel aastakümnetel on kõrgematel laiuskraadidel varasuvine pöud tegelikult mõnevõrra juba leevenenud, nii Soomes (Ylhäisi et al. 2010) kui Eestis (Jaagus 2006) esineb juunikuu sademetes kasvav trend. Sellesse perioodi langeb mitmete kultuuride jaoks kõige kriitilisem arenguperiood. Samas, tulevikus oleks vaja veel oluliselt jõulisemat varasuviste sademete kasvu, et vastata taimede vajadustele suurenenud saagipotentsiaali (suurem biomass) ja kõrgeenenud temperatuuride taustal (Ylhäisi et al. 2010). Loide (2015) näitas, et sademetevaene mai ja juunikuu on teraviljadele

ebasoodsad, kusjuures eriti tundlikud on suviteraviljad, eriti oder. Ka kartuli jaoks on sarnane analüüs (Saue et al. 2010) näidanud kevadiste sademete olulisust saagi kujunemisele.

Nagu selgus kartuli kohta tehtud mudeluuringus (Saue ja Kadaja 2013, 2014, Kadaja ja Saue 2016), vähendab praegustes kliimatingimustes saake nii vee puudus kui ülejääk. Kahepoolne veerežiimi reguleerimise ja niisutuse positiivne mõju osutus märkimisväärseks, kliima muutumisel ning sademete varieeruvuse suurenemisel võib seega eeldada reaalse niisutusvajaduse kujunemist. Siit võime järeldada, et kui tahame kasvuperioodi pikenemisest ja CO<sub>2</sub> tõusust tulenevat võimalikku positiivset mõju tõepoolest saavutada, tuleks tähelepanu pöörata ka veerežiimi reguleerimise vajalikkusele. Sealjuures on hädavajalik võtta arvesse Eesti piires esinevaid agrokliimaatilisi erinevusi. Tulevikuprognosis, mis ennustab sagedasemaid põudasid ja hoogsadusi, toob kaasa ka meile vajaduse seni suhteliselt tähtsusetute niisutussüsteemide järele. Samuti peab kindlasti säilitama olemasolevat drenaažisüsteemi.

#### 4.4. Saagipotentsiaali hindamine vajab lisauuringuid.

Millisteks kujunevad eespoolkirjeldatud võimalike muutuste tulemusel meie põllukultuuride saagid, sellele küsimusele ei olnud antud uuringu käigus veel võimalik vastata. See küsimus nõuab mahukaid mudelarvutusi, mis on seni läbi tehtud ainult kartuli jaoks mudeliga POMOD (Kadaja ja Saue 2011a,b, Saue ja Kadaja 2011). Leidsime, et kliima soojenemine omab varajase kartuli kasvatamisele Eestis negatiivset mõju. Kõrgemat temperatuuri tõusu ennustavad stsenaariumid põhjustavad suuremad saagikaod, seda peamiselt arengu kiirenemise, väiksemaks jääva lehepinna ja kasvuperioodi lühenemise tõttu. Sademete hulga suurenemisega kaasnev väike positiivne efekt jääb märgatavalt alla temperatuuri tõusu negatiivsele mõjule. Hilisele kartulisordile osutub mõõdukas kliima soojenemine kasulikuks, pikendades võimalikku kasvuperioodi. Suurem kliima soojenemine hakkab aga ka hilise sordi jaoks agrokliimaatilisi ressursse kahandama.

Hindamiseks kliimamuutustega kaasnevaid võimalikke muutusi teiste kultuuride saakidele ning võimalike kohanemismeetmete mõju, tuleks kindlasti lisaks katseandmete detailsele analüüsile liikuda edasi mudeleksperimentide juurde. Eesti tingimustes oleks mõistlik kasutada olemasolevaid mudeleid, mida on hinnatud ja kalibreeritud Soome oludes, näiteks WOFOST (van Diepen et al. 1989, Rötter et al. 2011b) ja FAO loodud AQUACROP.

## 5. Kohanemine ja täiendava uurimise vajadus

### 5.1. Kohanemise vajalikkus ja võimalikkus

Üks põllumajandusteaduse peamised pikaajalised eesmärged on kohaneda kliima muutumisega. Meie laiuskraadile ennustatakse seoses kliima soojenemisega teatud positiivseid arenguid, kuid need ei realiseeru iseenesest. Kliimamuutustega kaasnevate positiivsete muutuste ära kasutamiseks ja negatiivsete ilmingute mõju vähendamiseks osutuvad vajalikuks kohanemismeetmed. Kohanemine on võtmefaktor, millest sõltub, millised ja kui tugevad saavad olema kliima edasise muutumise mõjud põllumajandustootmisele.

Edukaks kohanemiseks on kindlasti vajalik põhjalikum uuring. Näiteks võimaldaks ja nõuaks prognoositav soojuressursside suurenemine uute põllukultuuride ja – sortide kasutuselevõtmist, kuid antud uuringus vaatasime võimalikku tulevast potentsiaali, lähtudes ainult projekteeritud kasvuperioodi pikenedisest ja taimedele kättesaadava soojuste hulga suurenemisest. Arvesse ei ole võetud põllumajandusmaa olemasolu, mullast või reljeefist, veerežiimist tulenevaid piiranguid jms. Lisaks tuleb meie oludes arvestada kevadise-suvise tugeva valguse intensiivsuse ja pikkade päevadega, mis koos kõrgemate temperatuuridega võivad osutada paljudele sortidele/liikidele sobimatuks.

Üldisest soojenemisest ja sellega kaasnevast suurenevast saagipotentsiaalst hoolimata jäävad Eesti ilmastikule ka tulevikus iseloomulikuks suur muutlikkus, mis tähendab tingimuste olulist varieeruvust nii aastate vahel kui ka ühe kasvuperioodi jooksul, samuti ruumilist ebahomogeensust. Arvestama peab ilmastiku varieeruvuse suurenemisega, millega kaasneb ekstreemsete ilmastikutingimuste sagedasemine, sh kuumalained, põuad ja tugevad sajad.

Kliimamuutustega kohanemisel võib üldjuhul abi olla mõnest lihtsast põhimõttest: eelpoolnimetatud spontaansed kohanemise näited (varasem külv, muutused viljavahelduses, uute sortide kasutuselevõtt). Samuti peavad tootjad tulevikus veelgi enam teadvustama „tunne-oma-põldu“-printsiipi – näiteks, kui piirkonnas on suurem üleujutuste risk, tuleb panustada pigem kuivendussüsteemide arendamisse; põuariski korral aga niisutussüsteemi. Samas spontaanselt kohanemisest alati ei piisa, kohati on vaja ka riiklikku sekkumist. Väga oluline on tootjate teavitamine - oluline on teadusasutuste ja põllumajandusettevõtete tihedam koostöö. Ennustatav kasvutingimuste suurenev varieeruvus ja sagedasemad/tugevamad ekstreemsed ilmastikusündmused suurendavad tõenäoliselt tootmisriske ja tootjate ebakindlust. See võib omakorda vähendada tootjate huvi näiteks uute kultuuride kasutuselevõtu, kultuuride mitmekesistamise või uute viljelustehnoloogiate vastu, mis kokkuvõttes vähendab tootmise paindlikkust ja vähendab kohanemisvõimekust.

Võimalikud pikaajalised kohanemisstrateegiad oleksid näiteks tootmise mitmekesistamine ning erinevate kultuuride ning sortide kasutuselevõtt paindlikkuse suurendamiseks, kultuuride veekasutuse efektiivsuse suurendamine ja põldude kindlustamine põua/üleujutuse vastu (Trnka et al. 2011a, Peltonen-Sainio et al. 2014, 2015a,b), samuti säästlikumad mullaharimistehnoloogiad, külviaegade ja viljavahelduse muutus, muutused väetiste ja pestitsiidide kasutamises (Schaller ja Weigel 2007, Peltonen-Sainio et al. 2015c). Kindlasti on vajalik ka panustamine sordiaretusse, eelkõige sortide loomine, mis sobiks meie valgustingimustesse, kuid oleksid vastupidavamad kõrgemale temperatuurile ja põuale (Ingvordsen et al 2015 a,b). Üks võimalus oleks viia sordiaretus tumedate kiledete alla, nagu seda tegi Dovnar (1983) Valgevenes.



## 5.2. Edasine uurimisvajadus

Järgnevalt esitame võimaliku uuringuvisandi, mis võimaldaks hinnata, millised Eesti piirkonnad muutuvad tulevikus milliste kultuuride kasvatamiseks soodsamaks/ebasoodsamaks ja kus ning milliseid meetmeid oleks mõistlik/vajalik kliimamuutustest tulu saamiseks / mõjude leevendamiseks rakendada. Kirjeldatud töö oleks võimalik teostada 3-4 aastaga.

1) Käesoleva projekti käigus alustatud tööd kõige kriitilisemate ilmastikusündmuste väljaselgitamiseks tuleks jätkata teiste kultuuridega. Vajalik on kriitiliste sündmuste regionaalne hinnang ja konkreetsete kohtspetsiifiliste fenoloogiliste vaatluste kasutamine. Võimalusel tuleks lisaks vaadata ka saagi kvaliteedinäitajaid. Lisaks tavapärastele meteoroloogilistele andmetele (õhutemperatuur, sademed) peaks analüüsi lisama mullatemperatuuri andmed, mida on nt Kuusikul mõõdetud. Kirjeldatud töö on mahukas eelkõige andmete kogumise osas, seepärast ei mahtunud see käesoleva projekti raamidesse.

2) Defineeritud kriitiliste sündmuste regionaalse esinemise hindamiseks tuleks läbi viia nende sündmuste esinemise tõenäosuse analüüs kogu Eestit katva andmestiku põhjal (nt BALTAN65+ järelanalüüsi andmebaas). Kriitiliste sündmuste esinemise tõenäosuse (ja tugevuse) põhjal ning kombineerituna reljeefi ning mullastiku kaartidega oleks võimalik läbi viia nn agrokliimaatiline tsoneerimine, kus määrataks võimaliku riski tsoonid erinevate kultuuride kasvatamiseks tänases ja prognoositavates kliimatingimustes.

3) Mudelsimulatsioonid (nt mudelitega WOFOST, AQUACROP) võimaldaksid hinnata ja kvantifitseerida põllukultuuride saagi kujunemist kliimamuutuste tulemusel ning võimalike kohanemisstrateegiatega mõjusid.

## Kirjandus

- BACC II Author Team. 2015. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies. Springer-Verlag.
- Beniston, M., Stephenson, D.B., Cristensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T. & Woth, K. 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model predictions. *Climatic Change*, **81**, 71–95.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X. & Huard, F. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, **119**, 201–212.
- Carter, T.R, Saarikko, R.A. & Niemi, K.J. 1996. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland*, **5**, 329-350.
- Climate Action Network Europe (CAN-E). 2014. Annual Report 2014. [<http://www.caneurope.org/resources/latest-publications/636-this-is-climate-change-in-europe>](30.12.2015).
- van Diepen C.A., Wolf, J. & van Keulen H. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use Manag.*, **5**, 16–24.
- Dovnar, V.S. 1983. *Sel. hoz. biol.* **3**, 124-131.
- Eesti NSV agrokliima ressursid., K. 1976. Koostanud Kivi, K. Eesti NSV Hüdrometeoroloogiateenistuse valitsus, Valgus, Tallinn.
- Elsgaard, L., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Siebert, S., Ewert, F., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R.P. & Skjelvåg, A.O. 2012. Shifts in comparative advantages for maize, oat, and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Additives & Contaminants: Part A*, **29**, 1514-1526.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. & Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **107**, 101–116.
- Ferrise, R., Moriondo, M. & Bindi, M. 2011. Probabilistic assessments of climate change impacts on durum wheat in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **11**, 1293–1302.
- Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Hakola, H., Heikkinen, H.I., Helenius, J., Hyvärinen, M., Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Peltonen-Sainio, P., Pirjo, Rankinen, K., Reinikainen, M., Setälä, H. & Vuorenmaa, J. 2013. Impacts And Adaptation Options Of Climate Change On Ecosystem Services In Finland : A Model Based Study. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, **5**, 26-40
- Frenck, G., van der Linden, L., Nøsgaard Mikkelsen, T., Brix, H. & Jørgensen, R.B. 2011. Increased [CO<sub>2</sub>] does not compensate for negative effects on yield caused by higher temperature and [O<sub>3</sub>] in Brassica napus L. *European Journal of Agronomy*, **35**, 127–134.
- GAISMA 2015. [[www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)][30.11.2015]
- Hakala, K. 1998. Growth and yield potential of spring wheat in a simulated changed climate with increased CO<sub>2</sub> and higher temperature. *European Journal of Agronomy*, **9**, 41–52.
- Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science*, **20**, 3–14.
- Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S.J., Rötter, R., Salo, T. & Kahiluoto, H. 2012. Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *J. Agric. Sci.*, **150**, 145–160.
- Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild & P.M. Zhai. 2013. Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G. - K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hirschi, M., Seneviratne, S.I., Alexandrov, V., Böberg, F., Boroneant, C., Christensen, O.B., Formayer, H., Orłowsky, B., & Stepanek, P. 2011. Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. *Nature Geoscience*, **4**, 17-21.
- Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S.J. & Chipanshi, A.C.. 2000. Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich UK.
- Ingvordsen, C.H., Lyngkjær, M.F., Peltonen-Sainio, P., Mikkelsen, T.N. & Bagger Jørgensen, R. 2015a. A 10-days heatwave around flowering superimposed on climate change conditions significantly affects production of 22 barley accessions. *Procedia Environmental Sciences*, **29**, 160-161.
- Ingvordsen, C.H., Backes, G., Lyngkjær, M.F., Peltonen-Sainio, P., Jahoor, A., Mikkelsen, T.N., & Jørgensen, R.B. 2015b. Genome-wide association study of production and stability traits in barley cultivated under future climate scenarios. *Molecular Breeding*, **35**, 3
- IPCC, 2007a. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller). Cambridge University Press, Cambridge, New York.

- IPCC, 2007b. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E.Hanson). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker and D. Qin, eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Jaagus, J. 1998. Climatic fluctuations and trends in Estonia in the 20th century and possible climate change scenarios. In: Climate Change Studies in Estonia (7–12). Tallinn: Stockholm Environment Institute Tallinn Centre.
- Jaagus, J. 1999. Uusi andmeid Eesti kliimast. *Publicationes instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, **85**, 28–38.
- Jaagus, J. 2006. Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theor. Appl. Climatol.*, **83**, 77–88.
- Jaagus, J. & Tarand, A. 1998. Precipitation. Periodical fluctuations and a seasonal shift. In: *Country Case Study in Climate Change Impacts and Adaptation Assessments in the Republic of Estonia*. Report to the UNEP/GEF Project N.: GF/2200-96-45 (21–23). Tallinn: Stockholm Environment Institute Tallinn Centre.
- Jaagus, J. & Mändla, K. 2014. Climate change scenarios for Estonia based on climate models from the IPCC Fourth Assessment Report. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **63**, 166–180.
- Jaagus J., Briede A., Rimkus E. & Remm K. 2010. Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors. *Int J Climatol*, **30**, 705–720.
- Kadaja, J. & Saue, T. 2011a. Ilmastikuressursid kartuli kasvatuseks kliimamuutuste tingimustes. J. Kadaja (Toim.). *Agronomia 2010/2011* (87–94). Saku: Eesti Maaviljeluse Instituut.
- Kadaja, J. & Saue, Triin. 2011b. Võimalike kliimamuutuste mõju kartulisaagile. *Maamajandus*, **11**, 14–17.
- Kadaja, J. & Saue, T. 2016. Potential effects of different irrigation and drainage regimes on yield and water productivity of two potato varieties under Estonian temperate climate. *Agricultural Water Management*, **165**, 61–71.
- Kaukoranta, T. & Hakala, K. 2008. Impact on spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. *Agricultural and Food Science*, **17**, 165–176.
- Kaukoranta T., Tahvonen R. & Ylämäki A. 2010. Climatic potential and risks for apple growing by 2040. *Food Sci.* **19**, 144–159.
- Kivi, K. (toim.) 1998. Põllumajandust kahjustavad ilmastikunähtused. EMHI Meteoroloogiakeskus.
- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg G. & Ullerstig, A. 2011: 21st century changes in the European climate: Uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus*, **63A**, 24–40.
- Kristensen, K., Schelde, K. & Olesen, J. E. 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *The Journal of Agricultural Science*, **149**, 33–47.
- Lobell, D.B. & Field, C.B., 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ. Res. Lett.* **2**, 1–7.
- Loide, V. 2015. Väetamise ja ilmastiku hüdrotermiliste omaduste mõjust teraviljade produktsioonile. *Agronomia* 2015, 80–85.
- Luhamaa, A., Kallis, A., Mändla, K., Männik, A., Pedusaar, T., Rosin, K. 2014. Eesti tuleviku kliima stsenaariumid aastani 2100. Keskkonnaagentuur 2014.
- Mukula, J. & Rantanen, O. 1987. Climatic risks to the yield and quality of field crops in Finland. I. Basic facts about Finnish field crops production. *Ann. Agric. Fenn.*, **26**, 1–18.
- Mukula, J. & Rantanen, O. 1989a. Climatic risks to the yield and quality of field crops in Finland. VI Barley 1969–1986. *Ann. Agric. Fenn.*, **28**, 29–36.
- Mukula, J. & Rantanen, O. 1989b. Climatic risks to the yield and quality of field crops in Finland. VII Oats 1969–1986. *Ann. Agric. Fenn.*, **28**, 37–43.
- Männik, A., Zirk, M., Rõõm, R. & Luhamaa, A. 2015. Climate parameters of Estonia and the Baltic Sea region derived from the high-resolution reanalysis database BaltAn65+. *Theoretical and Applied Climatology*, **122**, 19–34, s00704-014-1271-3.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. & Ullerstig A. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus A*, **63**, 41–55
- Olesen, J.E. & Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.*, **16**, 239–262.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J. & Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, **34**, 96–112.

- Peltonen-Sainio, P. 2012. Crop production in a northern climate. In: Meybeck A. Et al (Eds). Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop, Building Resilience to Climate Change in the Agriculture sector [<http://www.fao.org/docrep/017/i3084e/i3084e15.pdf>] (9.01.2016)
- Peltonen-Sainio, Jauhiainen, L. & Hannukkala, A. 2007. Declining rapeseed yields in Finland: how, why and what next? *Journal of Agricultural Science*, **145**, 587-598.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, K. 2009a. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science*, **18**, 171-190.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Laurila, I. P. 2009b. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realisation. *Field Crops Research*, **110**, 85-90.
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Känkänen, H. & Hakala, K. 2009c. Improving farming systems in northern European conditions. In *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy* (Eds V.O. Sadras & D.F. Calderini), pp. 71-97. Amsterdam: Elsevier.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2009d. Are there indications of climate change induced increases in variability of major field crops in the northernmost European conditions? *Agricultural and Food Science*, **18**, 206-226.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P.L., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvåg, A.O. & Orlandini, S. 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **139**: 483–489.
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2011a. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, **149**, 49-62
- Peltonen-Sainio, P., Hakala, K. & Jauhiainen, L. 2011b. Climate-induced overwintering challenges for wheat and rye in northern agriculture. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Sciences*, **61**, 75–83.
- Peltonen-Sainio, P. & Niemi, J. 2012. Protein crop production at the northern margin of farming: to boost or not to boost, that is the question. *Agricultural and Food Science*, **21**, 370-383.
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2014. Weather variability lessons from the past: sowing to ripening dynamics and yield penalties for northern agriculture in 1970-2012. *Regional Environmental Change*, DOI: 10.1007/s10113-014-0594-z
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Känkänen, H., Hakala, K. 2014. Improving farming systems in northern European conditions. In: Sadras, V.O., Calderini, D. (Eds.). *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and agronomy*. Elsevier, Amsterdam.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Alakukku, L., 2015a. Stakeholder perspective for switching from rainfed to irrigated cropping systems at high latitudes. *Land Use Policy*, **42**, 585-593.
- Peltonen-Sainio, P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2015b. Proximity of waterways to Finnish farmland and associated characteristics of regional land use. *Agricultural and Food Science*, **24**, 24-38.
- Peltonen-Sainio, P., Salo, T., Jauhiainen, L., Lehtonen, H., & Sieviläinen, E. 2015c. Static yields and quality issues : is the agrienviromet program the primary driver? *AMBIO : A Journal of the Human Environment*, **44**, 544-556
- Petoukhov, V. & Semenov, V. 2010. *A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents*. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, **115**, D21111.
- Porter, J. R. & Semenov, M. A. 2005. Crop responses to climatic variability. *Phil.Trans. R. Soc. B.*, **360**, 2021–2035.
- Post, P. & Päädam, K. 2010. Extreme precipitation events in Estonia and associated atmospheric circulation patterns. *EMS Annual Meeting Abstracts*, **7**, 588.
- Pöiklik, K. 1977. Pöid, ilm ja saak. Valgus, Tallinn.
- Päädam, K. & Post, P. 2011. Temporal variability of precipitation extremes in Estonia 1961–2008. *Oceanologia*, **53**, 245–257.
- Reidsma, P. & Ewert, F. 2008. Regional farm diversity can reduce vulnerability of food production to climate change. *Ecol. Soc.*, **13**, 38.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. & Leemans, R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *Europ. J. Agronomy*, **32**, 91–102.
- Rötter, R.P., Palosuo, T., Pirttioja, N.K., Dubrovsky, M., Salo, T., Fronzek, S., Aikasalo, R., Trnka, M., Ristolainen, A & Carter, T. R. 2011a. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4°C? A model-based assessment. *Eur. J. Agron.*, **35**, 205–214.
- Rötter R.P., Carter T.R., Olesen J.E. & Porter J.R. 2011b. Crop-climate models need an overhaul. *Nat. Clim. Change*, **1**, 175–177.
- Saikkonen K., Taulavuori K., Hyvönen T., Gundel P.E., Hamilton C.E., Vänninen I., Nissinen A. & Helander M. 2012. Climate change-driven species' range shifts filtered by photoperiodism. *Nature Clim. Change*, **2**, 239–24.
- Saue, T. 2015. Directional distribution of chilling winds in Estonia. *International Journal of Biometeorology*, 1–19.
- Saue, T. & Kadaja, J. 2009. Simulated crop yield – an indicator of climate variability. *Boreal Environment Research*, **14**, 132-142.

- Saue, T. & Kadaja, J. 2011. Possible effects of climate change on potato crops in Estonia. *Boreal Environment Research*, **16**, 203–217.
- Saue, T. & Kadaja, J. 2013. Precipitation - too much or too little for potato production in Estonia? In: *7th Study Conference on BALTEX Conference Proceedings, 53: 7th Study Conference on BALTEX; Borgholm, Öland, Sweden; 10-14 June 2013*. Ed. Marcus Reckmann, Silke Köppen. International BALTEX Secretariat, 120–121.
- Saue, T. & Kadaja, J. 2014. Water Limitations on Potato Yield in Estonia Assessed by Crop Modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, **194**, 20–28.
- Saue, T. & Käremaa, K. 2015. Lengthening of the thermal growing season due climate change in Estonia. In: Šiška et al. (eds): *Towards climatic services*, Nitra, Slovakia [http://www.sbks.sk/doc/papers/Saue%20Lengthening%20of%20the%20thermal.pdf] (9.01.2016).
- Saue, T., Viil, P. & Kadaja, J. 2010. Do different tillage and fertilization methods influence weather risk on potato yield? *Agronomy Research*, **8**, 427–432.
- Saue, T., Viil, P. & Kadaja, J. 2012. Ilmastiku ning erinevate mullaharimise ja väetamise viiside mõju kartuli saagikusele. Jaanus Siim (Toim.). *Vedelsõnnik ja mullaharimine (132–137)*. Saku: Eesti Maaviljeluse Instituut.
- Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E., Lehner, I., Orlowsky, B. & Teuling, A.J. 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth Science Reviews*, **99**, 125–161.
- Sepp, M. 2015. Kliimamuutustega kohanemise klimatoloogilised aspektid. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, **112**, 20–37.
- Sepp, M. & Saue, T. 2012. Correlations between the modelled potato crop yield and the general atmospheric circulation. *International Journal of Biometeorology*, **56**, 591–603.
- Supit, I., van Diepen, C.A., de Wit, A.J.W., Kabat, P., Baruth, B. & Ludwig F. 2010. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. *Agricultural Systems*, **103**, 683–694.
- Tammets, T. 2007. Distribution of extreme wet and dry days in Estonia in last 50 years. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering*, **13**, 252–259.
- Tammets, T. 2010. Estimation of extreme wet and dry days through moving totals in precipitation time series and some possibilities for their consideration in agrometeorological studies. *Agronomy Research*, **8**, 433–438.
- Tammets, T. & Jaagus, J. 2007. Äärmuslikult kuivade ja sajaste päevade esinemissageduse territoriaalne jaotus Eestis perioodil 1957–2006. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, 109–116.
- Tammets, T. & Jaagus, J. 2013. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. *Theoretical and Applied Climatology*, **111**, 623–639.
- Tammets, T., Jaagus, J., Sepp, M. 2011. Ekstreemsed saju- ja kuivaperioodid Eestis. *Publicationes instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, **109**, 23–50.
- Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A., 2013. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Tao, F., Rötter, R.P., Palosuo, T., Höhn, J., Peltonen-Sainio, P., Rajala, A. & Salo T. 2015. Assessing climate effects on wheat yield and water use in Finland using a super-ensemble-based probabilistic approach. *Clim Res*, **65**, 23–37.
- Trnka, M., Olesen, J. E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vucetic, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D. & Zalud, Z. 2011a. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, **17**, 2298–2318.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Semerádová, D., Hlavinka, P., Balek, J., Dubrovský, M., Kubu, G., Štěpánek, P., Thaler, S., Možný, M. and Zalud, Z. 2011b. Expected changes in agroclimatic conditions in Central Europe. *Climatic Change*, **108**, 261–289.
- Wigley, T.M.I. & Raper, S.C.B. 1992. Implications for climate and sea level of revised IPCC emission scenarios. *Nature*, **357**, 141–152.
- Ylhäisi, J.S., Tietäväinen, H., Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Eklund, J., Räisänen, J. & Jylhä, K. 2010. Growing season precipitation in Finland under recent and projected climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 1563–1574.