

# **Ilmastonmuutoksen vaikutukset heinäkasvien kasvuun ja menestymiseen Suomessa**

Maiju Tiiri

Pro gradu -tutkielma

Turun yliopisto  
Biologian laitos  
22.2.2020

Tutkinto-ohjelma: Ekologian ja evoluutiobiologian tutkinto-ohjelma  
Erikoistumisala: Ekologisten vuorovaikutusten tutkimus

Laajuus: 40 op

Tarkastajat:

1:

2:

Hyväksytty:

Arvolause:

*Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck-järjestelmällä*

TURUN YLIOPISTO  
Biologian laitos  
Luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta

TIIRI, MAIJU: Ilmastonmuutoksen vaikutukset heinäkasvien  
kasvuun ja menestymiseen Suomessa

Pro gradu-tutkielma, 39 s., 1 liite  
Ekologia ja evoluutiobiologia  
Helmikuu 2020

*Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.*

---

Kasvien elinympäristön luo suurelta osin kasvupaikalla vallitseva ilmasto. Kasvuympäristön on ennustettu ilmastonmuutoksen vaikutuksesta muuttuvan tulevaisuudessa varsinkin pohjoisilla alueilla, millä on huomattavia vaikutuksia myös maataloudelle. Heinäkasvit ovat tärkeimpiä viljeltyjä ravinto- ja rehuksveja maailmanlaajuisesti, sillä niihin kuuluvat esimerkiksi viljat, maissi ja rehuksi viljeltävät heinäkasvit. Suomi on maailman pohjoisin laajamittaista maataloustuotantoa harjoittava maa, jossa yleisin pellon käyttömuoto on heinäkasvien viljely joko kotieläinten rehuksi, siementuotantoon tai laidunmaana. Koska Suomessa ilmasto on kylmä ja kasvukausi lyhyt, olosuhteet kasvien kasvulle ovat verrattain haastavat. Ilmastonmuutoksen on kuitenkin ennustettu tulevaisuudessa nostavan Suomen keskilämpötiloja ja pidentävän kasvukautta, mikä voisi parantaa heinäkasvien menestymistä.

Tässä tutkimuksessa tarkastelin, miten leudontuvat talvet, pidentyvä kasvukausi ja muuttuvat lämpötilat sekä sademäärät vaikuttavat erilaisista alkuperistä peräisin olevien monivuotisten heinäkasvien talvehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun Suomen olosuhteissa. Tutkimusaineistona käytin virallisten lajikekokeiden mittausaineistoa Ruokavirastolta ja Luonnonvarakeskukselta nurminadan 14 eri lajikkeesta sekä Ilmatieteen laitoksen säähavaintoaineistoa vuosien 2001-2017 ajalta. Nurminata-aineistoissa oli mukana lajikkeita Suomesta, Ruotsista, Norjasta, Tanskasta, Virosta, Saksasta ja Hollannista, mikä tarjosi mahdollisuuden eri lajikkeiden menestymisen vertailuun usean kasvukauden ajalta.

Tutkimuksen tuloksena havaitsin, että varsinkin vanhoilla nurminadan lajikkeilla pieni pakkaspäivien lukumäärä talven aikana huononsi heinäyksilöiden elossa säilymistä talven yli. Lisäksi havaitsin, että Suomea eteläisemmiltä ilmastoalueilta – kuten Hollannista, Tanskasta ja Saksasta – peräisin olevat nurminadan lajikkeet aloittavat kukintansa aiemmin kuin pohjoisempaa alkuperää olevat lajikkeet. Kasvukauden lämpösummalla tai sadessummalla ei ollut tässä tutkimuksessa vaikutusta nurminadan lajikkeiden kuiva-ainesatoon eikä suomalaisten nurminadan lajikkeiden korkeimman korren pituuteen. Koska ilmastonmuutoksen takia kasvukauden alkamisen on ennustettu aikaistuvan ja talvien leudontuvan, tulevaisuuden Suomen ilmasto-oloissa voisivat siis parhaiten menestyä uudet, nykyisiin oloihin jalostetut tai eteläisemmiltä ilmastoalueilta tuodut nurminadan lajikkeet.

---

ASIASANAT: agroekologia, ilmastonmuutokset, heinäkasvit, nurminata, talvehtiminen, kukinta, sato

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Ilmastonmuutos vaikuttaa kasvien kasvuolosuhteisiin .....	1
1.2 Heinäkasvit.....	1
1.2.1 Rakenne, kasvu ja lisääntyminen .....	2
1.2.2 Talvehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun vaikuttavat ympäristötekijät .....	4
1.2.3 Heinäkasvit viljelykasveina .....	6
1.2.4 Heinäkasvien jalostus .....	8
1.2.5 Lajiketestausta.....	9
1.3 Suomen ilmasto .....	10
1.3.1 Ilmastomme ominaispiirteet .....	10
1.3.2 Suomen ilmasto muutoksessa .....	13
1.4 Tutkimuksen aihe ja tavoitteet .....	14
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	15
2.1 Tutkimuslaji .....	15
2.1.1 Nurminata .....	15
2.2 Tutkimusmenetelmät.....	17
2.2.1 Lajiketestaustaaineisto: DUS-testaus .....	17
2.2.2 Lajiketestaustaaineisto: viljelyarvon testaus .....	19
2.2.3 Säähavaintoaineisto .....	20
2.3 Tilastolliset menetelmät .....	21
3. TULOKSET .....	23
3.1 Lajikkeen alkuperä ja pakkaspäivien määrä kasvukautta edeltävänä talvena vaikuttavat nurminatayksilöiden talvehtimiseen.....	23
3.2 Kasvukauden alkamisajankohta vaikuttaa eri tavoin nurminadan eri lajikkeiden kukkimisajankohtaan.....	25
3.3 Säämuuttujien vaikutukset nurminatayksilöiden korkeimman korren pituuteen ja satoon .....	27

4. TULOSTEN TARKASTELU.....	31
4.1 Nurminadan talvehtimismenestys lämpenevässä ilmastossa .....	31
4.2 Nurminadan kukinta ja kasvukauden piteneminen .....	33
4.3 Nurminadan korren kasvu ja kuiva-ainesato.....	34
4.4 Heinäkasvien menestyminen tulevaisuuden Suomessa .....	35
5. KIITOKSET.....	36
6. LÄHTEET.....	37
7. LIITTEET .....	40

# 1. Johdanto

## 1.1 Ilmastonmuutos vaikuttaa kasvien kasvuolosuhteisiin

Kasvien elinympäristön luo suurelta osin kasvupaikalla vallitseva ilmasto. Koska kasvit eivät voi liikkuvien eliöiden tapaan reagoida ympäristön muutoksiin esimerkiksi hakeutumalla suojaan niille epäsuotuisilta sääolosuhteilta, niiden evoluutioon on vaikuttanut tarve sopeutua niihin kasvuolosuhteisiin, joita kulloisessakin kasvupaikassa on ollut tarjolla. Erilaisille kasvilajeille onkin kehittynyt lukemattomia tapoja sopeutua maailman moninaisiin ilmasto-oloihin. Kun ilmasto muuttuu, muuttuvat myös kasvien kasvuolosuhteet, ja viljelyalueilla se vaikuttaa myös ihmiseen muuttamalla kasvinviljelyn edellytyksiä. Suomi on maailman pohjoisin laajamittaista maataloustuotantoa harjoittava maa (Peltonen-Sainio ym. 2009), joten tarvitsemme viljelykasveja, jotka ovat sopeutuneet alueellamme vallitseviin ilmasto- ja valo-olosuhteisiin – myös tulevaisuudessa.

Miten ilmastonmuutos sitten vaikuttaa kasvien menestymiseen tulevaisuuden Suomessa? Tässä tutkimuksessa tarkastellaan muuttuvien sääolosuhteiden vaikutuksia erääseen ihmiselle tärkeään kasviryhmään, heinäkasveihin. Tutkimuksessa pyritään selvittämään, miten leudontuvat talvet, pidentyvä kasvukausi ja muuttuvat lämpötilat sekä sademäärät vaikuttavat erilaisista alkuperistä peräisin olevien heinäkasvien talvehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun Suomen olosuhteissa.

## 1.2 Heinäkasvit

Heinäkasveiksi kutsutaan yksisirkkaisten (*Liliopsida*) lahkoon ja heinäkasvien (*Poaceae*) heimoon kuuluvia putkilokasveja. Heimoon lasketaan lähteestä ja laskutavasta riippuen kuuluvaksi 7 500 – 11 000 eri kasvilajia (Gibson 2009). Taloudellisesti merkittävimmät ravintokasvit maailmassa ovat heinäkasveja: *Poaceae* -heimoon kuuluvat muun muassa vehnä (*Triticum* spp.), riisi (*Oryza sativa*), maissi (*Zea mays*), kaura (*Avena* spp.), ruis (*Secale cereale*) ja ohra (*Hordeum vulgare*). Lisäksi erilaiset heinäkasveihin kuuluvat

nurmirehun tuotannossa käytettävät kasvit eli nurmikasvit – kuten timotei (*Phleum pratense*) ja englanninraiheinä (*Lolium perenne*) – ovat tärkeimpiä rehukasveja maailmanlaajuisesti (Gibson 2009).

Heinäkasvien heimoa voi luonnehtia pääasiassa yksivuotisia, tuulipölytteisiä ja kaksineuvoisia putkilokasveja sisältäväksi heimoksi, joiden kasvisolukkojen soluseinät sisältävät usein paljon piioksideja eli silikaatteja ja juuristot paljon hiusjuuria (Mabberley 1987). *Pooidae* -alaheimo on heinäkasvien heimon suurin alaheimo sisältäen noin 3 560 lajia, ja se sisältää muun muassa *Poa*-, *Agrostis*-, *Bromus*- ja *Festuca* -suvut. *Pooidae* -alaheimon lajit ovat joko yksi- tai monivuotisia, ainoastaan C<sub>3</sub> -yhteyttämistapaa käyttäviä lauhkeille ja viilleille ilmastoalueille sopeutuneita heinäkasveja (Gibson 2009).

Heinäkasvien evoluutioon ovat vaikuttaneet erityisesti sopeutuminen kuiviin ilmasto-olosuhteisiin laajoilla, avoimilla kasvupaikoilla sekä sopeutuminen suurten herbivorien eli kasvinsyöjien laidunnuspaineeseen. Kuivissa kasvuolosuhteissa heinäkasvien menestymistä edistäviä sopeumia ovat muun muassa kasvusolukon eli meristeemin sijainti kasvin tyvessä eli basaalisesti, kasvin pieni koko verrattuna esimerkiksi useimpiin puuvartisiin kasveihin, kesävihannat versot ja hyvät maanalaiset ravinnevarastot sekä nopea kasvutapa ja transpiraatio eli haihdutus (Gibson 2009). Kärkisilmun sijainti lähellä kasvin tyveä sekä laajalle haarautunut ja biomassaltaan suuri juurakko ovat auttaneet heinäkasveja sopeutumaan suurien herbivorien aiheuttamaan mekaaniseen stressiin eli tallaamiseen ja laiduntamiseen sekä kuiviin ilmasto-olosuhteisiin. Myös silikaattipitoiset lehdet ovat sopeuma sekä suurten nisäkäsherbivorien että pienempien hyönteisherbivorien laidunnusta vastaan. Tuulipölytteisyys on ollut etu heinäkasvien sopeutuessa kasvamaan avoimilla, tuulisilla kasvupaikoilla (Gibson 2009).

### **1.2.1 Rakenne, kasvu ja lisääntyminen**

Heinäkasvien voidaan katsoa olevan modulaarisia organismeja, joiden kasvun ja morfologian perusyksikkö on nimeltään fytomeeri. Fytomeeri koostuu kasvin varressa sijaitsevasta solmumaisesta nivelkohdasta, nivelkohdassa sijaitsevasta hankasilmusta ja nivelvälistä eli korresta, solmua ympäröivästä lehtitupesta ja siitä kasvavasta lehtilavasta (Gibson 2009). Yksittäinen fytomeeri kehittyy kärjestä alkaen (lehti, lehtituppi ja nivel), ja useista

fytomeereista koostuva varsi kasvaa kasvin tyvestä alkaen. Vanhin fytomeeri on näin ollen aina varren alimmaisena. Korsi kasvaa nivelkohdissa sijaitsevista sivusilmuista ylöspäin (Gibson 2009). Tilleriksi nimitetään sitä fytomeereista koostuvaa heinäkasvin vartta, joka on lähtöisin samasta apikaalisesta meristeemistä eli kärkisilmusta. Yksi heinäkasviyksilö koostuu useista tillereistä, jotka ovat kehittyneet samasta hedelmöittyneestä sukusolusta eli tsygootista ja joilla on siis kaikissa soluissaan samat geneettiset ominaisuudet eli sama genotyyppi (Moore & Moser 1995).

Monivuotisten heinäkasvien tillereiden yksilönkehitys voidaan jakaa neljään päävaiheeseen: vegetatiiviseen eli kasvulliseen vaiheeseen, elongaatio- eli pidennysvaiheeseen, generatiiviseen eli lisääntymisvaiheeseen ja siementen kypsymisvaiheeseen (Moore & Moser 1995). Vegetatiivinen vaihe alkaa ensimmäisen lehden ilmestyessä, ja vaiheen aikana lehtien aiheet muodostuvat ja tulevat näkyviin. Yksittäisten vegetatiivisten lehtien ilmestymisten välistä ajanjaksoa kutsutaan fyllokroniksi, ja sen avulla voidaan kuvata vegetatiivisen kasvun etenemistä. Lisäksi vegetatiivisessa vaiheessa varren solmujen väliset nivelvälit eli korret kehittyvät, mutta ne eivät vielä lähde pitenemään. Uusia lehtiaiheita voi syntyä kärkisilmusta niin kauan kuin kasvi pysyy vegetatiivisessa vaiheessa (Moore & Moser 1995). Koska heinäkasvien kärkisilmu eli apikaalinen meristeemi sijaitsee vegetatiivisessa vaiheessa lähellä kasvin tyveä ja sitä suojaavat kehittyvät lehdet ja lehtitupet, heinäkasvit ovat hyvin sopeutuneita vegetatiivisessa vaiheessa tapahtuvaan kasvinsyöjien laidunnukseen ja pystyvät nopeasti kasvattamaan biomassansa pian laidunnuksen jälkeen (Gibson 2009). Kun kärkisilmu siirtyy lehtiaiheiden tuottamisesta kukinnon aiheen tuottamiseen, vegetatiivinen kasvuvaihe päättyy (Moore & Moser 1995).

Vegetatiivisen vaiheen jälkeen heinäkasvin tilleri siirtyy elongaatio- eli pidennysvaiheeseen. Sen aikana ylimmät nivelvälit pitenevät ja kasvin varsi alkaa kasvaa pituutta. Alimmat nivelvälit eivät pitene, vaan jäävät kasvin tyvelle muodostaen muiden saman yksilön tillerien alimpien nivelvälien ja lehtien kanssa kasvin lehtikruunun (Moore & Moser 1995). Pidennysvaiheen jälkeen kasvi siirtyy generatiiviseen eli lisääntymisvaiheeseen. Tätä siirtymää nimitetään kukkimisen virittymiseksi. Sen alkaminen on selkeimmin havaittavissa ylimmästä lehtitupesta esiin työntyvistä kukinnon aiheesta (Moore & Moser 1995).

Heinäkasvien kukinto on rakenteeltaan tähkylä. Se muodostuu kukista, jotka voivat olla järjestäytyneet johonkin kolmesta päätyypistä: tähkäksi, tertuksi tai röyhyksi (Gibson

2009). Näistä röyhy on heinäkasveilla yleisin. Kukinto voi olla kaikilla yksilöillä samanlainen, tai ne ovat voineet eriytyä koiraspuolisiksi, naaraspuolisiksi tai kaksineuvoisiksi kukinnoiksi. Suurimmassa osassa heinäkasveja pölytyks tapahtuu tuulipölytteisesti. Monivuotiset heinäkasvit ovat lisääntymistavaltaan yleensä ristipölytteisiä tai osittain tai kokonaan itsepölytteisiä (Gibson 2009). Kukinnan, pölytyksen ja hedelmöityksen jälkeen heinäkasvien hedelmät alkavat kehittyä. Hedelmät ovat pähkylämäisiä siemeniä ja niitä kutsutaan varsinkin viljakasveilla jyviksi. Neljännen kehitysvaiheen eli siementen kypsymisvaiheen katsotaan alkavan, kun siemenet ovat näkyvissä. Tämä vaihe päättyy, kun siemenet ovat kypsiä, kuivia ja valmiita levittäytymään (Moore & Moser 1995).

### ***1.2.2 Talvehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun vaikuttavat ympäristötekijät***

Monivuotiset heinäkasvit pystyvät käyttämään auringon valoenergiaa hyödykseen pidemmän ajan vuodesta kuin useimmat yksivuotiset kasvit, mutta se edellyttää kasvilta kykyä selviytyä talvesta ja tuottaa yhteyttävää biomassaa usean kasvukauden ajan (Ergon 2017). Esimerkiksi Suomen olosuhteissa toistuu joka vuosi kylmä talvijakso. Tämä on johtanut ilmastosomeumiin eli akklimaatioihin, jotka auttavat kasveja sopeutumaan vuoden kylmään jaksoon. Kylmäakklimaatio viittaa jäätyneen aiheuttamalta stressiltä kasvia suojaaviin prosesseihin. Lämpötila ja valaistusolosuhteet säätelevät voimakkaasti akklimaatiota (Ergon 2017).

Heinäkasvien talvehtimistä säätelevät useat monimutkaiset prosessit. Lämpötila on voimakkain näitä prosesseja heinäkasveissa säätelevä ympäristötekijä, vaikka myös valoilmasto vaikuttaa asiaan. Matala lämpötila käynnistää kasveissa paitsi kylmäakklimaation, myös vastustusmekanismit muille talven aikaisille stressitekijöille, kuten talvituhosienille ja jäätyneestä maasta aiheutuvalle juuriston hapettomuudelle (Ergon 2017). Ilmastonmuutoksen johdosta Suomen keskilämpötilojen ennustetaan nousevan (Ruosteenoja ym. 2016), mutta päivän pituuden vaihtelussa vuodenajan mukaan ei tapahdu muutoksia. Näin ollen tulevaisuudessa varsinkin pohjoisilla leveysasteilla tullaan kohtaamaan sellaisia valoilmaston ja lämpötilan yhdistelmiä, joita ei ole ennen lainkaan ollut olemassa. Tämä voi monivuotisilla heinäkasveilla johtaa vuosittaisten kasvu-, kehitys- ja stressiresistenssien syklien vääryyteen ajoittumiseen (Ergon 2017).

Kukkimisen ajankohdan säätely on tärkeää heinäkasvien menestymiselle vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa. Ilmastolliset tekijät, varsinkin lämpötila ja päivän pituus, ovat merkittäviä kukkimisen ajoittumisen säätelijöitä (Heide 1994). Kasvin kyky reagoida lämpötilan ja valon määrän muutoksiin on esimerkki kasvin elinkierron sopeutumisesta vuodenaikojen vaihtumiseen tietyssä kasvuympäristössä. Koska päivän pituuden muutokset eri vuodenaikoina toistuvat samanlaisina vuodesta toiseen, päivän valoisan ajan piteneminen antaa kasveille varman signaalin kesän lähestymisestä ja kasvukauden alkamisesta. Myös lämpötilalla on kukkimisen säätelyssä tärkeä rooli, ja se vaikuttaa yhdessä valon määrän muutosten kanssa määräten kasvin vasteen valon lisääntymiseen (Heide 1994).

Useimmilla lauhkeiden ilmastoalueiden monivuotisilla heinäkasveilla, esimerkiksi *Festuca*-suvun heinillä, kukkimisen induktio eli kukkimisen alkamisen aiheuttavien ympäristötekijöiden kokonaisuus on kaksivaiheinen (Heide 1994). Ensimmäisen vaiheen eli primaari-induktion voivat aiheuttaa matala lämpötila ja lyhyt päivän valoisan ajan pituus yhdessä tai yksinään lajista riippuen. Näistä ensimmäistä eli matalien lämpötilojen aiheuttamaa kukkimisen induktiota kutsutaan vernalisaatioksi. Toisen vaiheen eli sekundaari-induktion aiheuttaa päivän valoisan ajan pidentyminen kesän lähestyessä. Se, mitkä lämpötilat, päivän pituudet tai näiden yhdistelmät aiheuttavat kukkimisen primaari- tai sekundaari-induktion, vaihtelee eri lajien välillä. Vaihtelu ilmentää eri lajien sopeutumista toisistaan eroaviin ympäristö- ja valaistusolosuhteisiin (Heide 1994).

Vaihtelua kukkimisen primaari- ja sekundaari-induktioiden edellytyksissä voi esiintyä myös saman lajin eri alueilta peräisin olevien populaatioiden välillä (Heide 1994). Yleisellä tasolla voidaan todeta, että pohjoisilta leveysasteilta peräisin olevilla heinäkasvien populaatioilla on laajemmat rajat kukkimisen primaari-induktion aiheuttavalle lämpötilalle, päivän pituudelle ja näille olosuhteille altistumisen ajan pituudelle kuin eteläisemmiltä leveysasteilta tai mereisemmiltä ilmastoalueilta peräisin olevilla populaatioilla (Heide 1994).

Heinäkasvit ovat modulaarisia organismeja, ja kasviyksilöt koostuvat useasta tilleristä. Heinäkasviyksilön biomassan kasvuun vaikuttavat näin ollen sekä tillerien lukumäärän että lehtien määrän ja koon kasvu, ja näitä tekijöitä säätelemällä heinäkasviyksilöt pystyvät sopeutumaan ympäristössä eli kasvuolosuhteissa tapahtuviin muutoksiin. Tillerien määrä ja lehtien määrän kasvu ovat useimmissa viilleille ilmastoalueille sopeutuneissa

heinäkasveissa yhteydessä toisiinsa: korkea lehtien määrän kasvunopeus vähentää uusien tillerien määrää (Lemaire ym. 2000). Ympäristön lämpötila vaikuttaa voimakkaasti fyllokroniin eli heinäkasvien vegetatiivisten lehtien ilmestymisen väliseen ajanjaksoon: optimaalista lämpötilaa korkeammat tai matalammat lämpötilat pidentävät fyllokronia. Lämpötilaa lukuun ottamatta muut abioottiset ympäristötekijät – kuten veden ja ravinteiden saatavuus tai auringonvalon laatu ja intensiteetti – vaikuttavat yleisesti enemmän lehtien koon ja tillerien määrän kasvuun kuin fyllokroniin (Lemaire ym. 2000).

### **1.2.3 Heinäkasvit viljelykasveina**

Nurmikasveilla tarkoitetaan maatalouden kasvintuotannon kontekstissa yleensä pellolla rehuksi viljeltäviä yksi- tai monivuotisia heinäkasveja eli niin kutsuttuja nurmiheiniä. Tärkeimpiä Suomessa viljeltäviä nurmiheiniä ovat timotei (*Phleum pratense*) ja nurminata (*Festuca pratensis*), ja niitä viljellään lähes aina seoksena koko maassa (Peltonen ym. 2010). Nurmikasveihin luetaan kuuluviksi usein myös niin sanotut nurmipalkokasvit eli biologiseen typensidontaan symbionttisten juurinysträbakteeriensa ansiosta kykenevät, hernekasvien (*Fabaceae*) heimoon kuuluvat pelloilla viljeltävät kasvit. Tällaisia nurmipalkokasveja ovat esimerkiksi valkoapila ja puna-apila, ja niitä viljellään sekä niistä saatavan rehun runsaan valkuais- eli proteiinipitoisuuden takia että niiden pellon maaperän typpitasoa parantavan vaikutuksen vuoksi (Peltonen ym. 2010).

Huomattava osa suomalaisesta ruuantuotannosta perustuu nurmikasvien tuotantoon. Vuonna 2016 kaikista kotieläintalouden tuloista Suomessa 71 % syntyi nurmirehuun perustuvasta maidon ja naudanlihan tuotannosta (Ruokatieto 2018). Maitotaloustuotteiden ja lihatuotteiden (sisältäen naudan lisäksi myös sian ja siipikarjan lihan tuotannon) valmistus muodosti 49 % kotimaisen elintarviketeollisuuden liikevaihdosta vuonna 2016 (Ruokatieto 2018). Nurmikasvien tuotanto onkin Suomen yleisin pellon käyttömuoto. Vuonna 2018 kaikesta Suomessa käytössä olevan maatalousmaan pinta-alasta 42 % oli käytössä nurmikasvien tai nurmikasvien siementen tuotantoon, viherlannoitusnurmena tai laitumena (Luke 2018).

Nurmikasveja viljellään Suomessa yleensä noudattaen niin sanottua viljelykiertoa. Tällöin viljelyssä on samanaikaisesti useita samankokoisia viljelylohkoja, joilla viljellään eri

ikäisiä nurmikasvustoja. Suurin osa nurmikasvustoista on monivuotisia ja ne uudistetaan 3-4 vuoden välein (Peltonen ym. 2010). Nurmikasvusto voidaan perustaa joko ilman niin sanottua suojakasvia tai suojakasvin kanssa. Keväällä kasvustoa perustettaessa käytetään yleensä suojakasvia, eli peltoon kylvetään sekä nurmen siementä että suojakasvin siementä yhtä aikaa. Suojakasvin tarkoituksena on parantaa lohkon satotasoa perustamisvuonna sekä ehkäistä rikkakasvien kasvua. Ohra on suosittu nurmen suojakasvi, sillä se valmistuu puitavaksi aikaisin ja antaa näin aikaa nurmen vahvistumiselle ennen talvea kasvukauden loppupuolella. Ilman suojakasvia perustettava nurmikasvusto kylvetään tavallisimmin keskikesällä ensimmäisen nurmisadon korjuun jälkeen. Nurmikasvustojen lopettamisen ja uudelleen perustamisen välisinä vuosina lohkolla voidaan viljellä jotakin välikasvia, kuten vilja-, öljy- tai valkuaiskasveja (Peltonen ym. 2010).

Nurmikasveja viljellään useimmiten kahden tai kolmen kasvilajin seoksina. Seoskasvustot tuottavat varmemmin satoa vaihtelevissa kasvuolosuhteissa eivätkä ne ole yhtä alttiita kasvitaudeille kuin vain yhtä lajia sisältävät nurmikasvustot (Peltonen ym. 2010). Seosten käytön tavoitteena on pyrkiä hyödyntämään eri lajien ominaisuudet monipuolisesti, jotta kasvustosta saadaan paras mahdollinen sato. Esimerkiksi timotein ja nurminadan seoksissa nurminadan voimakas jälkikasvukyky eli kasvin kyky lähteä kasvattamaan biomassansa nopeasti uudelleen ensimmäisen sadonkorjuun jälkeen korvaa timotein heikompaa jälkikasvukykyä (Peltonen ym. 2010).

Nurmen sadonkorjuu toteutetaan keräämällä pellolta kaikki niittokoneen leikkuukorkeuden yläpuolelle jäävä biomassa kasvinosia erottelematta. Nurmentuotannon sato tarkoittaa siis pellolta pois korjattavan nurmikasvibiomassan määrää, ja sato korjataan Suomessa yleensä 2-3 kertaa kasvukauden aikana (Hyrkäs & Virkajärvi 2012). Sadonkorjuun seurauksena kasvustosta poistuu huomattava osa kasvien fotosynteesiin kykenevästä solukosta, joten biomassan tuotanto heti sadonkorjuun jälkeen on pitkälti riippuvainen kasviin jo kertyneistä hiili- ja typpivarastoista. Tehokas jälkikasvukyky onkin usein haluttu nurmikasvien lajikeominaisuus (Hyrkäs & Virkajärvi 2012).

### *1.2.4 Heinäkasvien jalostus*

Kasvinjalostuksella tarkoitetaan toimintaa, joka pyrkii muokkaamaan viljelykasvien perimää uudentyyppisen, usein ihmiselle hyödyllisen kasvimateriaalin tuottamiseksi. Jalostuksen avulla pyritään joko parantamaan kasvien nykyisiä ominaisuuksia tai luomaan kokonaan uusia ominaisuuksia, jotka ovat pysyviä ja perinnöllisiä eli säilyvät kasvimateriaalissa samanlaisena yli sukupolvien. Kasvinjalostuksen tavoitteena onkin siis tarjota maataloustuotannon käyttöön tarpeeksi tietyn ominaisuuden omaavaa kasvimateriaalia (Acquaah 2007). Jalostuksen tuloksena syntyviä innovaatioita kutsutaan kasvilajikkeiksi. Lajike on viljelykasvin lajinsisäinen luokitteluyksikkö, jota ei käytetä luonnonkasvien yhteydessä. Eri lajikkeet pitää pystyä erottamaan muista lajikkeista vähintään yhden ominaisuuden perusteella (Tirri ym. 2001).

Uusien lajikkeiden käyttöönotto maataloudessa edellyttää sitä, että lajikkeesta on tarjolla tarpeeksi siemeniä. Siementen saatavuuden takaaminen altistaa kasvinjalostajat myös laittomille jalostustyön tulosten varkauksille, sillä siemenen lisääminen on markkinoilla olevasta lajikkeesta helppoa (Acquaah 2007). Näin ollen kasvinjalostajien immateriaali-oikeuksien suojaamiseksi onkin laadittu erityistä lainsäädäntöä. Uuden lajikkeen jalostajalle voidaan myöntää kasvinjalostajanoikeus (engl. plant breeder's right), joka on patentin kaltainen oikeussuoja. Se antaa jalostajalle oikeuden päättää uuden lajikkeen kaupallisesta hyödyntämisestä, eikä suojattua lajiketta saa siten ilman lupaa lisätä, markkinoida tai varastoida lisäys- tai markkinointitarkoituksiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2010).

Heinäkasvien jalostustoiminta on alkanut ihmisten ravintokasveihin verrattuna myöhään. Näin ollen jalostetut heinäkasvit ovat edelleen geneettisesti lähempänä luonnonkantojaan kuin esimerkiksi pitkälle jalostetut viljat (Humphreys ym. 2006). Useimmat rehuksi viljeltävät heinäkasvit ovat ristipölytteisiä, kun taas viljat tuottavat siemenensä pitkälti itse-pölytteisesti. Ristipölytteisyyden takia rehuheinien perimässä esiintyy enemmän perinnöllistä muuntelua kuin useimmissa viljoissa. Perinteisesti rehuksi viljeltävien heinäkasvien jalostuksen päätavoitteena on ollut sadon määrän maksimointi satoisampia lajikkeita tuottamalla. Sadon määrä on edelleen tärkeä jalostuksen komponentti, mutta nykyään sadon laatutekijät – rehun sulavuus, maittavuus ja ravintoaineiden pitoisuudet suhteessa ruokittavien eläinten ravinnontarpeeseen – ovat nousemassa jopa sadon määrää tärkeämmiksi jalostuskriteereiksi (Humphreys ym. 2006).

Parhaat tulokset heinäkasvien jalostuksessa on saavutettu perinteisten kasvinjalostusmenetelmien eli valintajalostuksen ja risteytysjalostuksen avulla (Humphreys ym. 2006). Valintajalostus on vanhin kasvinjalostuksen menetelmä, ja se perustuu siementen tuottamiseen vain parhaista, haluttua ominaisuutta ilmentävistä yksilöistä. Risteytysjalostuksessa risteytetään keskenään haluttujen ominaisuuksien suhteen erilaisia yksilöitä ja pyritään suvullisen rekombinaation eli perintötekijöiden vapaan yhdistymisen kautta tuottamaan kantoja, joissa yksilöt ilmentävät useita erilaisia haluttuja ominaisuuksia (Humphreys ym. 2006). Uudemmat kasvinjalostusmenetelmät perustuvat erilaisiin DNA:ta analysoiviin ja muokkaaviin molekyyli teknologioihin, jotka ovat kehittyneet huomattavasti viime vuosikymmenten aikana ja kehittyvät edelleen. Jalostusprosessissa käytetään silti pääasiassa sekä perinteisiä että uusia menetelmiä yhdessä. Esimerkiksi erilaisten molekyyli markkereiden käyttö helpottaa haluttujen DNA-jaksojen paikantamista perimämateriaalista ja nopeuttaa huomattavasti perinteistä valintajalostusta (Acquaah 2007).

Tulevaisuudessa heinäkasvien jalostuksessa on otettava huomioon myös ilmastonmuutoksesta aiheutuvat muutokset kasvu ympäristössä ja kyettävä ennakoimaan niitä (Humphreys ym. 2006). Jalostustyön tueksi tarvitaan tietoa niistä perintötekijöistä, jotka tekevät heinäkasveista entistä kestävämpiä ympäristön muutoksille kuten kuivuudelle, tulvimiselle, taudeille, tuholaisille ja talvehtimisolosuhteiden muutoksille. Lämpimämpien talvien takia niiden heinäkasvien, joiden kukkiminen on riippuvaista kylmästä kaudesta kasvukausien välillä, genotyypit on ehkä muokattava kukkimisen osalta enemmän valaistusolosuhteisiin kuin lämpötilaan reagoiviksi (Humphreys ym. 2006).

### ***1.2.5 Lajiketesta***

Siemenlain mukaan markkinoille saa saattaa vain viralliseen kasvilajikeluetteloon hyväksytyjen rehu- ja ravintokasvilajikkeiden siemeniä (Maa- ja metsätalousministeriö 2019). Uusien maataloustuotantokäyttöön jalostettujen lajikkeiden on ennen lajikeluetteloon hyväksymistä läpäistävä virallinen lajikekoe. Lajikekoe koostuu lajikkeiden tuntomerkkien tutkimisesta ja lajikkeiden viljelyarvon tutkimisesta. Suomessa lajikkeiden tuntomerkkien tutkimisesta vastaa Ruokavirasto (ent. Evira) ja viljelyarvon tutkimisesta Luonnonvarakeskus (Luke) (Maa- ja metsätalousministeriö 2019). Uusien lajikkeiden tuntomerk-

kejä tutkitaan testaamalla niiden erottuvuutta, yhtenäisyyttä ja pysyvyyttä (engl. Distinctness, Uniformity and Stability, lyhenteenä DUS) EU:n kasvilajikeviraston (CPVO) ja kansainvälisen lajiketestaustiiton (UPOV) ohjeistusten mukaisesti (UPOV 2002).

Virallisten lajikekokeiden toteuttamisesta Suomessa säädetään Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 51/2004 (Maa- ja metsätalousministeriö 2004). Sen määritelmän mukaisesti uusi lajike on muista lajikkeista erottuva (distinct), jos se voidaan yhden tai useamman lajikkeelle ominaisen tärkeän tuntomerkin perusteella selvästi erottaa muista Euroopan talousalueen (ETA) jäsenvaltioissa tai kolmansissa maissa tunnetuista saman kasvilajin lajikkeista. Lajikkeen katsotaan asetuksen mukaan olevan yhtenäinen (uniform), jos sen kasvuston muodostavat kasvit ovat, harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta, geneettisesti tunnistettavia ja ulkoisten tuntomerkkien osalta keskenään samanlaisia. Pysyviä (stable) lajikkeiden katsotaan asetuksen mukaan olevan, jos niiden lajikekuvausten mukaiset olennaiset tuntomerkit ovat pysyviä ja muuttumattomia, kun lajiketta viljellään tai lisätään usean sukupolven ajan tai jalostajan tarkoittaman lisäysketjun loppuun asti.

Viljelyarvokokeiden tavoitteena on selvittää uusien, markkinoille pyrkivien lajikkeiden soveltuvuus Suomen kasvuolosuhteisiin. Viljelyarvokokeissa tutkitaan muun muassa lajikkeiden satoisuutta, taudinkestävyyttä, laatuominaisuuksia ja vastetta erilaisiin ympäristötekijöihin (Maa- ja metsätalousministeriö 2004). Lajikkeita testataan kokeissa kahden vuoden ajan (nurmikasveilla kolmen vuoden ajan) tai niin kauan, kunnes lajike hyväksytään lajikeluetteloon. Viljelyarvokokeita toteutetaan kunkin lajikkeen viljelyyn soveltuvalla alueella, ja ne ovat käytännön viljelyä vastaavia kenttäkokeita. Viljelyarvokokeiden koepaikkoja on kaikkiaan 12 kappaletta ympäri maata (Laine ym. 2017).

## **1.3 Suomen ilmasto**

### ***1.3.1 Ilmastomme ominaispiirteet***

Heinäkasvien, kuten muunkin kasvillisuuden, kasvuolosuhteita tietyllä alueella määrittelee suurelta osin alueella vallitseva ilmasto. Sää tarkoittaa ilmaston hetkellistä paikallista

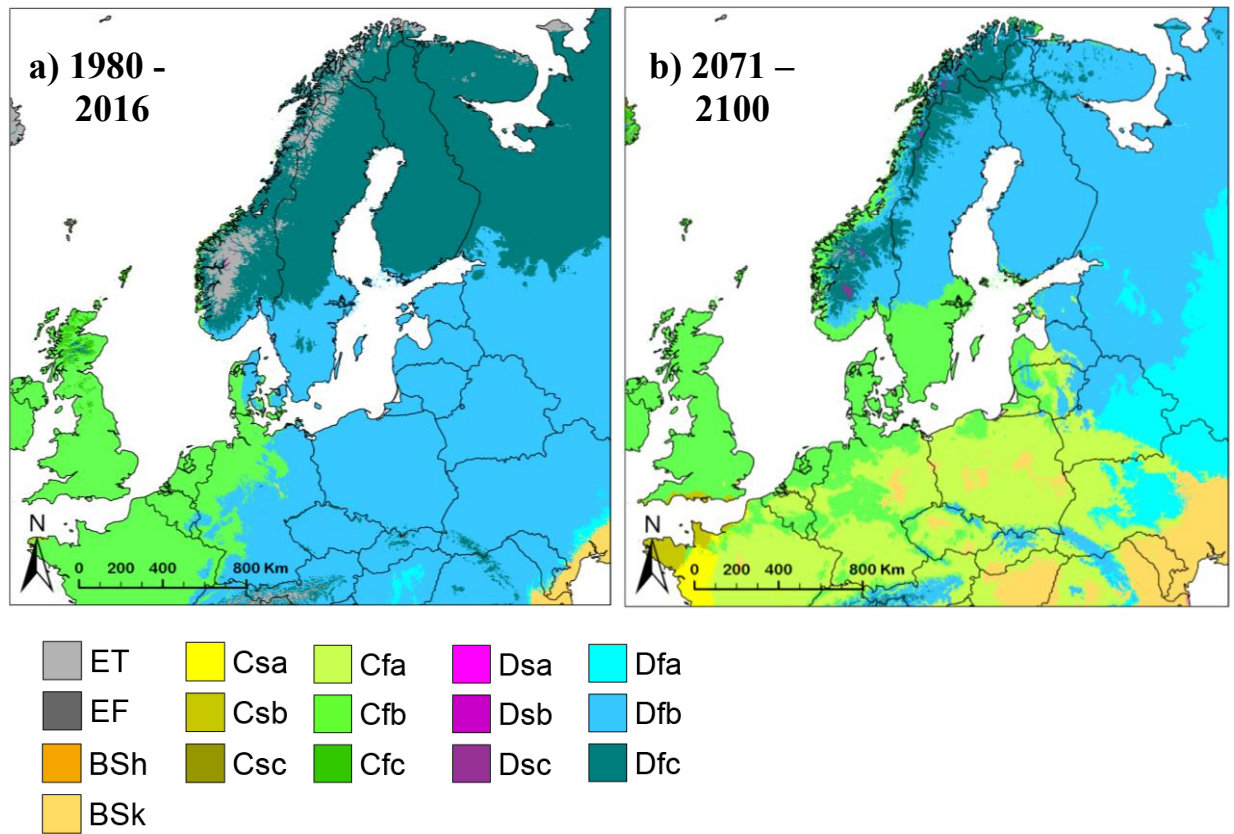
tilaa, ja sääolot vaihtelevat tietyllä kasvupaikalla päivästä, vuodenajasta ja vuodesta toiseen. Yksittäisistä säähavainnoista voidaan kuitenkin johtaa laajempia johtopäätöksiä ilmaston piirteistä, kun tarkastellaan säähavaintoja tilastollisesti pidemmällä aikavälillä (Pirinen ym. 2012). Maailman meteorologisen järjestön WMO:n mukaan ilmaston piirteitä kuvaavat tilastot lasketaan 30 vuoden säähavaintotilastoista. Tämän ajanjakson on tulkittu olevan riittävän pitkä, jotta yksittäisillä vuosilla ja niiden säähavainnoilla ei ole liiallista vaikutusta ilmaston piirteiden tilastolliseen tarkasteluun.

Maailman erilaisia ilmastoalueita voidaan lämpötilan ja sademäärien mukaan luokitella monella tavalla. Köppen-Geigerin ilmastoluokitus on yleisimpiä käytössä olevia ilmasto-  
luokitusmalleja, ja se jakaa maailman ilmastot viiteen pääluokkaan ja 30 alaluokkaan. Ensimmäisen version luokitukselta kehitti Wladimir Köppen jo 1800-luvun lopulla, ja päivitettyinä se on edelleen laajasti käytössä (Beck ym. 2018). Koska vallitseva ilmasto on merkittävä alueen kasvillisuuden rakenteeseen vaikuttava tekijä, Köppenin luokituksen tavoitteena onkin ollut kytkeä empiiriset havainnot erilaisten kasvillisuusalueiden levinneisyydestä eri ilmastoalueisiin. Näin ollen Köppenin luokituksessa samaan luokkaan määritellyillä alueilla esiintyy kyseessä olevaan ilmastoon sopeutunutta kasvillisuutta (Beck ym. 2018).

Köppenin luokittelu perustuu keskilämpötilojen ja sademäärien mukaan tehtyihin alueellisiin jaotteluihin. Suomi määritetään Köppenin luokittelussa tällä hetkellä miltei kokonaan kuuluvaksi kylmätalvisten ilmastojen pääluokkaan (tunnus D) ja subarktisten mannerilmastojen alaluokkaan (tunnus Dfc) (Kuva 1). Kylmätalvisissa (D) ilmastoissa lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on yli 10 °C ja kylmimmän kuukauden keskilämpötila 0 °C tai sen alle. Tunnuksen toinen kirjain f merkitsee tasaista sadantaa ympäri vuoden ilman erillistä kuivaa kautta. Viimeisellä kirjaimella c kuvataan sitä, että alueen lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on alle 22 °C ja vuodessa enintään kolmen kuukauden keskilämpötila kohoaa yli 10 °C (Beck ym. 2018).

Kasvukauden pituus on varsinkin pohjoisilla alueilla merkittävä kasvien kasvuolosuhteita määrittävä ilmastollinen tekijä. Kasvukaudella tarkoitetaan sitä osaa vuodesta, jolloin kasvit kasvavat, ja sen pituutta käytetäänkin usein maatalouden kontekstissa kasvinviljelyn edellytysten arviointiin (Ruosteenoja ym. 2016). Niin sanottu terminen kasvukausi määritellään Suomessa ja muissa Pohjoismaissa siksi ajaksi vuodesta, jolloin vuorokauden keskilämpötila ylittää + 5 °C. Viime vuosikymmeninä kasvukausi on Etelä-Suomessa

alkanut keskimäärin huhtikuun lopussa ja päättynyt lokakuussa. Pohjoisemmassa Suomessa kasvukausi jää lyhyemmäksi, ja Tunturi-Lapissa kasvukausi on alkanut keskimäärin vasta toukokuun lopussa ja päättynyt jo syyskuun lopulla (Ruosteenoja ym. 2016).



Kuva 1. Pohjois-Euroopan ilmastoalueet Köppenin ilmastoluokituksen mukaisesti tällä hetkellä (1980-2016) ja tulevaisuudessa (2071-2100) visualisoituna Beck ym. (2018) mukaan. ET = tundrailmasto, EF = jäätikköilmasto, BSh = subtrooppinen aro, BSk = keskileveyksien aro, Csa= välimerenilmasto, kuuma kesä, Csb = välimerenilmasto, viileä kesä, Csc = välimerenilmasto, kylmä kesä, Cfa = subtrooppinen kostea ilmasto, Cfb = lauhkea meri-ilmasto, Cfc = subarktinen meri-ilmasto, Dsa = kuumakesäinen mannerilmasto, Dsb = lämminkesäinen mannerilmasto, Dsc = subarktinen mannerilmasto, Dfa = kuumakesäinen mannerilmasto, Dfb = lämminkesäinen mannerilmasto, Dfc = subarktinen mannerilmasto.

Kasvukauden lämpimyyttä voidaan kuvata kasvukauden aikaisella tehoisan lämpötilan summalla eli lämpösummalla, jonka yksikkö on vuorokausiaste °Cvrk (Ruosteenoja ym. 2016). Lämpösumma kertyy kasvukauden aikana, ja summaan lasketaan kunkin päivän

keskilämpötilasta viiden asteen ylittävä osa. Viime vuosikymmeninä kasvukauden aikainen lämpösumma on ollut Etelä-Suomessa keskimäärin 1 300 °Cvrk ja pohjoisimmassa Lapissa 400-600 °Cvrk (Ruosteenoja ym. 2016). Sademäärä on lämpötilan ohella toinen merkittävä kasvien kasvuun vaikuttava ilmastollinen tekijä, ja kasvukauden aikaisella sadesummalla voidaankin kuvata sademäärää kasvukauden aikana. Sadesumman yksikkö on millimetri, ja siihen lasketaan yhteen sademäärä kumuloituvasti koko kasvukauden ajalta (Ruosteenoja ym. 2016).

### ***1.3.2 Suomen ilmasto muutoksessa***

Ilmastonmuutos vaikuttaa tulevaisuudessa Suomen keskilämpötiloihin, sademääriin ja kasvukauden pituuteen. Keskilämpötilojen on arvioitu nousevan seuraavan sadan vuoden aikana talvisin noin kahdeksalla asteella ja kesän aikana noin viidellä asteella, vaikka ennusteet vaihtelevatkin paljon riippuen mallien oletuksista (Ruosteenoja ym. 2016). Keskilämpötila nousee todennäköisesti talvisin siis voimakkaammin kuin kesällä. Tulevaisuuden sademäärien ennakointi on haastavampaa kuin lämpötilojen mallintaminen, mutta jokseenkin varmasti tiedossa on runsaampia sateita talvisin ja loppusyksystä (Ruosteenoja ym. 2016).

Kasvukausi pitenee Suomessa ennusteiden mukaan jo vuoteen 2049 mennessä suuressa osassa Suomea kymmenkunta päivää sekä syksyllä että keväällä (Ruosteenoja ym. 2016). Tämä tarkoittaa yhteensä noin kolme viikkoa pidempää kasvukautta. Lappia lukuun ottamatta pidennys kohdistunee hieman enemmän syksyyn kuin kevääseen. Kasvukausien lämpösummat kohoavat paitsi kasvukauden pidentymisen, myös keskilämpötilojen nousun johdosta, jolloin kasvukauden lämpösumma Etelä-Suomessa saattaa arvioiden mukaan vuoteen 2049 mennessä olla noin 1 600 °Cvrk (Ruosteenoja ym. 2016). Tällaisia kasvukauden lämpösummia mitattiin 1900-luvun lopulla tyypillisesti Itämeren etelärannikolla. Lämpimämmät kasvukaudet yleistyvät: ennen harvinaisen lämpimien, vain kerran 20 vuodessa kohdalle osuvien kasvukausien todennäköisyys kasvaa jo 2020-luvulla arvioiden mukaan 50 prosenttiin (Ruosteenoja ym. 2016).

Kuluvan vuosisadan lopulla Etelä-Suomen kasvukaudet tulevat ennusteiden mukaan muistuttamaan Keski-Euroopan eteläosien alavien alueiden lämpöoloja (Ruosteenoja ym.

2016). Miltei koko Suomen ennustetaan tulevaisuudessa kuuluvan Köppenin ilmasto-  
luokituksen mukaisesti lämminkesäiseen mannerilmastoon (Dfb), johon kuuluvat tällä  
hetkellä alueet Etelä-Ruotsista ja Virosta Välimerelle saakka (Kuva 1). Sen piirteisiin  
kuuluu subarktisia mannerilmastoja lämpimämpi ja pidempi kesä, jolloin vuoteen mahtuu  
neljä tai useampi kuukausi, joiden keskilämpötila ylittää 10 °C (Beck ym. 2018).

## 1.4 Tutkimuksen aihe ja tavoitteet

Suomen kasvuolosuhteet ovat heinäkasveille kylmän ilmaston ja verrattain lyhyen kas-  
vukauden johdosta haastavat. Ilmastonmuutoksen seurauksena kasvukauden on ennu-  
stettu kuitenkin Suomessa pitenevän (Ruosteenoja ym. 2016), ja tämän voisi ennustaa pa-  
rantavan myös heinäkasvien elinmahdollisuuksia. Toisaalta kasvavat sademäärät varsin-  
kin syksyisin ja lämpötilojen leudontuminen talvisin voivat vaikuttaa negatiivisesti mo-  
nivuotisten heinäkasvien menestykseen. Tämä tutkimuksen tavoitteena onkin selvittää,  
miten ilmastonmuutoksen johdosta muuttuvat sääolosuhteet vaikuttavat heinäkasvien tal-  
vehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun.

Tutkimuslajina tässä tutkimuksessa käytän nurminataa, jonka talvehtimismenestystä,  
kukkimisen ajoittumista ja kasvua pyrin selittämään erilaisilla säämuuttujilla. Tutkimus-  
aineistossa mukana on 14 eri nurminadan lajiketta, jotka edustavat useita eri jalostusal-  
kuperiä. Alkuperien vaihtelevuus tarjoaa mahdollisuuden eri lajikkeiden kasvun, kukki-  
misen ja talvehtimisen vertailuun. Tutkimuksen pääkysymyksinä ovat 1) vaikuttaako tal-  
ven aikaisten pakkaspäivien määrä nurminadan eri lajikkeiden talvehtimiseen eli elossa  
säilymiseen talven yli, 2) vaikuttaako kasvukauden alkamisajankohta nurminadan eri la-  
jikkeiden kukkimisajankohtaan ja 3) vaikuttavatko kasvukauden aikainen sadesumma ja  
lämpösumma nurminadan eri lajikkeiden korkeimman korren pituuteen tai satoon. Tutki-  
muksen hypoteesina on se, että tutkituilla säämuuttujilla on vaikutusta heinäkasvien tal-  
vehtimiseen, kukkimiseen ja kasvuun Suomessa.

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Tutkimuslaji

#### 2.1.1 Nurminata

Nurminata (*Festuca pratensis* Huds.) on yleinen, monivuotinen, tuulipölytteinen, löyhästi mätästävä heinäkasvi ja se kasvaa hyvin yleisesti luonnonvaraisena Etelä-Suomessa Vaasan ja Joensuun korkeudelle, mutta pohjoisempana se on harvinaisempi (Mossberg & Lennart 2003). Nurminata kasvaa enimmäkseen ihmistoiminnan piirissä laitumilla ja pelton- ja tienpientareilla, ja se suosii tuoreita tai kosteita kasvupaikkoja, mutta menestyy kuivahkoillakin paikoilla. Laji on hyvin selkeästi ihmisen mukanaan tuoma kasvi, ja se on tuotu aikanaan Euraasiasta rehukasviksi Etelä-Suomeen (Piirainen ym. 1999). Nurminataa viljellään nykyään yleisesti rehuksi sekä niitonurmilla että laitumilla.

Tämän tutkimuksen aineistona käytin virallisten lajikekokeiden tuloksia DUS-testauksesta 14 nurminadan lajikkeen osalta sekä viljelyarvokokeista viiden nurminadan lajikkeen osalta. DUS-testauksen lajikkeet olivat Antti, Arni, Belimo, Boris, Cosmos, Fure, Ilmari, Kalevi, Kasper, Laura, Salten, Senu, Sigmund ja Tyko, ja viljelyarvokokeiden lajikkeet olivat Antti, Boris, Fure, Ilmari ja Kasper. Tuloksia viljelyarvokokeista oli käytettävissä vähemmän kuin DUS-testauksesta, sillä kaikkia DUS-testattuja lajikkeita ei ole testattu viljelyarvokokeissa lainkaan valitulla aikavälillä. Tutkimuksen lajikkeiden jalostajat, alkuperämaat sekä tutkimusaineiston laajuus on kuvattu taulukossa 1.

*Taulukko 1. Tutkimusaineiston sisältämien nurminadan lajikkeiden alkuperätiedot (CPVO 2019) sekä havaintovuosien määrä tämän tutkimuksen tutkimusaineistossa. NLI-merkintä tarkoittaa viitteellistä lajikeluetteloon hyväksymisajankohtaa (national listing) ja PBR-merkintä viitteellistä kasvinjalostajanoikeuden (plant breeder's right) myöntämisaikajankohtaa merkinnän perässä olevan maatunnuksen mukaisessa maassa.*

<b>Lajike</b>	<b>DUS-aineisto vuosilta</b>	<b>Viljelyarvokokeiden aineisto vuosilta</b>	<b>Lajikkeen jalostaja</b>	<b>Lajikkeen alkuperämaa</b>	<b>Hyväksytty lajikeluetteloon</b>
Antti	2001-2002, 2004-2014	2001-2006	Boreal Kasvinjalostus	Suomi	NLI FI 14.10.1994
Arni	2001-2002, 2004-2017	-	Estonian Crop Research Institute	Viro	PBR EE 23.5.2001
Belimo	2001-2002, 2004-2013	-	Mommersteeg International	Hollanti	PBR NL 23.5.1969
Boris	2001-2002, 2004-2014	2001-2002	Lantmännen ekonomisk förening	Ruotsi	PBR SE 17.12.1973
Cosmos 11	2001-2002, 2004-2015	-	Saatzucht Steinach GmbH	Saksa	NLI DE 14.4.1955
Fure	2001-2002, 2004-2017	2002-2004	Planteforsk	Norja	NLI NO 28.2.1989
Ilmari	2001-2002, 2004-2017	2012-2016	Boreal Kasvinjalostus	Suomi	PBR FI 15.8.2000
Kalevi	2001-2002, 2004-2017	-	Boreal Kasvinjalostus	Suomi	NLI FI kevät 1980
Kasper	2001-2002, 2004-2017	2002-2006, 2010-2017	Lantmännen ekonomisk förening	Ruotsi	PBR SE 17.5.1989
Laura	2001-2002, 2004-2017	-	DLF Seeds A/S	Tanska	PBR DE 20.8.1992
Salten	2001-2002, 2004-2017	-	Planteforsk	Norja	NLI NO 1.1.1974
Senu	2001-2002, 2004-2017	-	DLF Seeds A/S	Tanska	NLI SE 1.7.1957
Sigmund	2001-2002, 2004-2017	-	Lantmännen ekonomisk förening	Ruotsi	PBR SE 16.5.1997
Tyko	2001-2002, 2004-2016	-	Lantmännen ekonomisk förening	Ruotsi	PBR SE 18.5.1993

## 2.2 Tutkimusmenetelmät

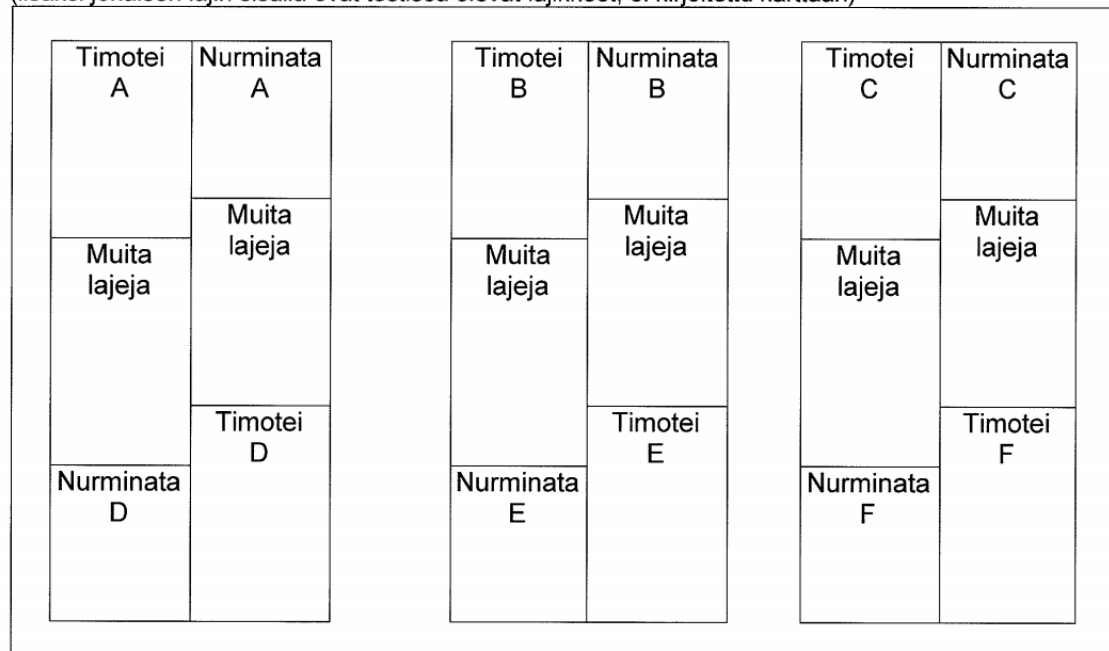
### 2.2.1 Lajiketestaussaineisto: DUS-testaus

Ruokaviraston Loimaalla toimivassa siemenyksikössä suoritetaan uusien markkinoille tulevien jalostettujen viljelykasvien virallista lajiketestausta lajikkeiden erottuvuuden, pysyvyyden ja yhtenäisyyden osalta. Tässä niin kutsutussa DUS-testauksessa ristipölytteiset nurmikasvit testataan istuttamalla jokaisesta lajikkeesta koesarat eli yksilökenttä, joissa havainnoidaan jokaisesta lajikkeesta vähintään 60 yksilöittäin istutetun kasvin ominaisuuksia mittaamalla (UPOV 2002). Tässä tutkielmassa käytin DUS-testauksesta syntynyttä Ruokaviraston Loimaan toimipaikan yksilökentän mittaussaineistoa vuosilta 2001-2017 nurminadan 14 lajikkeen osalta (Taulukko 1). Sain aineiston käyttööni työskenneltyäni harjoittelijana silloisen Elintarviketurvallisuusviraston Eviran (nyk. Ruokavirasto) Loimaan toimipisteessä kesällä 2015. Harjoittelijana toimenkuvaani kuuluivat virallisten lajikekokeiden DUS-testauskentän perustamis-, ylläpito-, näytteenotto- ja havainnointitehtävät yhdessä muun henkilökunnan kanssa, joten olen osallistunut aineiston mittausten tuottamiseen itse vuoden 2015 osalta.

Nurmikasvien yksilökenttä istutettiin keväällä, ja havainnot sekä mittaukset kasvustosta tehtiin istutusta seuraavan vuoden kesällä (Evira Siementarkastusyksikkö 2015b). Havaintoaineistoon merkittiin myös talvehtimisen aikana kuolleet yksilöt. Yksilökenttää perustettaessa taimet idätettiin ensin kasvihuoneessa siemenistä, jonka jälkeen ne istutettiin yksitellen koekentälle. Jokaisesta lajista istutettiin kymmenen yksilön rivi kuuteen kerranteeseen eli toistoon (Kuva 2). Lajikkeet satunnaistettiin eri järjestykseen eri kerranteisiin. Yhteensä kentällä oli siis samanaikaisesti 60 kasviyksilöä kustakin testattavasta lajikkeesta: kuusi kappaletta kymmenen kasvin rivejä (Evira Siementarkastusyksikkö 2015b).

Esimerkki kenttäkoekartasta:

(lisäksi jokaisen lajin sisällä ovat testissä olevat lajikkeet, ei kirjoitettu karttaan)



*Kuva 2. Lajiketestauksen koasetelma DUS-testauksen koekentällä. Tutkittavat nurmikasvilajikkeet on istutettu satunnaistettuna kuuteen kerranteeseen A-F. Kukin kerranne sisältää jokaisesta testattavasta lajikkeesta yhden kymmenen yksilön rivin. (Evira Siementarkastusyksikkö 2015b)*

DUS-testattavista kasvilajeista kerättiin kentältä näytteet laboratoriossa tehtäviä mittauksia varten (Evira Siementarkastusyksikkö 2014, Evira Siementarkastusyksikkö 2015a). Jokaisesta kentälle istutetusta nurmikasviyksilöstä kerättiin pisin korsi yhdistämällä yksilön kaikki varret suureksi nipuksi ja valitsemalla tästä nipusta pisin. Tämä varsi katkaistiin kasvin tyvestä ja vietiin laboratorioon mitattavaksi (Evira Siementarkastusyksikkö 2015a). Näytteet otettiin pölytyksen tapahduttua, kun yksilön pituuskasvu oli pysähtynyt ja kaikki normaalisti kehittyneet yksilöt olivat kukkineet. Laboratoriossa näytteistä mitattiin yksilön pisimmän korren kokonaispituus kukinto mukaan lukien, kukinnon pituus sekä lippulehden pituus ja leveys (Evira Siementarkastusyksikkö 2014). Näytteiden mitaus suoritettiin Eviran kuvallisen mittaushjeen 13568/3 mukaisesti (Liite 1).

Koekentän yksilöistä havainnoitiin lisäksi silmävaraisesti kukkimisen alkamisajankohta päivämääränä vernalisaation jälkeen (Kuva 3). Havainnot tehtiin 2-3 päivän välein kasvukauden aikana, ja yksilö merkittiin kukkivaksi sinä päivänä, kun kolme kukkivaa kortta havaittiin (Evira Siementarkastusyksikkö 2014).



*Kuva 3. Ruokaviraston Loimaan toimipaikassa DUS-testauksen yksilökentän kasveista kukkimisen ajankohta havainnoitiin kentän perustamisen jälkeisenä vuonna 2-3 päivän välein. Kuva: Sami Markkanen, Ruokavirasto.*

### **2.2.2 Lajiketestaustaaineisto: viljelyarvon testaus**

Tässä tutkielmassa on käytetty Luken toteuttamien viljelyarvokokeiden satotuloksia Luken Jokioisten kahdelta koepaikalta viiden nurminadan lajikkeen osalta vuosilta 2001-2017 (Taulukko 1). Viljelyarvokokeet toteutettiin kylvämällä kustakin testattavasta lajikkeesta koeruudut kolmeen tai neljään kerranteeseen kullekin koepaikalle. Ruutujen ala vaihteli hieman koepaikoittain riippuen käytettävästä kylvökalustosta, ja yhden ruudun pinta-ala oli 12 – 15 m<sup>2</sup>. Nurminadan siementen kylvötiheys oli 1250 itävää siementä neliömetrille, ja koepaikka laski tarvittavan siemenmäärän toimitetun siemenen itävyyden perusteella. Kasvustot perustettiin joko suojakasvin kanssa keväällä tai kesällä ilman suojakasvia. Suojakasvina käytettiin lujakortista ja aikaista ohraa, ja se kylvettiin poikisuuntaan rehunurmikasvirivien kanssa (Laine & Nikander 2018).

Kasvuston kasvuvaiheen aikana siitä torjuttiin rikkakasvit torjunta-aineilla, jotka on hyväksytty kyseisen nurmikasvilajin rikkakasvien torjuntaan. Ennen kasvuston korjuuta jokaiselta ruudulta tehtiin koekasviarvio, jossa määritettiin, miten suuri osuus kasvustosta on testattavaa kasvia (Laine & Nikander 2018). Ne koeruudut, joiden koekasviprosentti oli alle 50, hylättiin. Sadonkorjuu tehtiin nurmenkorjuukoneella, jonka punnitustarkkuus on 0,1 kg. Nurminatakasvustot niitettiin ensimmäisen kerran kukkimisen eli röyhyllä alkuvaiheessa, kun 5-10 % röyhyistä oli puhjennut. Toisen kerran kasvusto niitettiin

heinäkuun puolivälissä, ja kolmannen kerran elo-syyskuun vaihteessa (Laine & Nikander 2018).

Koeruuduilta niitetystä sadosta otettiin näytteet kaikilta kerranteilta. Niiton yhteydessä otetut näytteet silputtiin n. 2 cm mittaiseksi, mahdollisimman tasalaatuisiksi näytteeksi joko nurmenkorjuukoneen omalla silppurilla tai laboratoriosilppurilla. Sadon kuiva-ainemääritystä varten punnittiin 2 x 100 g erät silputusta näytteestä (Laine & Nikander 2018). Kuivatus tapahtui 100 - 105 °C lämpötilassa vähintään 10 tunnin ajan. Rinnakkaisnäytteiden kosteusprosentista laskettiin keskiarvot, joiden mukaan määritettiin sadon kuiva-aineprocentti. Kuiva-aineprocenttia käytettiin muunnettaessa tuoresato kuiva-ainesadoksi, ja satotieto ilmoitettiin lajikekokeiden tuloksissa kuiva-ainesatona yksikössä kg/ha (Laine & Nikander 2018).

### ***2.2.3 Säähavaintoaineisto***

Tutkielman aineistona käytin lajiketestausta- ja viljelyarvokoeaineistojen lisäksi Ilmatieteen laitoksen säähavaintoaineistoa kuukausittaisesta sadesummasta (mm), kuukausittaisesta keskilämpötilasta (°C), termisen kasvukauden pituudesta (vuorokausien lukumäärä), kasvukauden alku- ja loppupäivämääristä, kasvukauden aikaisesta tehoisan lämpötilan summasta (°Cvrk) ja sadesummasta (mm) Jokioisten Ilmalan sääasemalta mitattuna vuosilta 2001-2017 (Ilmatieteen laitos 2018). Säähavaintoaineiston mittaustietojen lähteenä käytin tässä tutkimuksessa Jokioisten sääaseman tietoja, sillä se sijaitsee lähellä Luonnonvarakeskuksen Jokioisten koepaikkoja ja on lisäksi Ruokaviraston Loimaan toimipaikkaa lähinnä sijaitseva Ilmatieteen laitoksen sääasema. Maantieteellinen etäisyys Loimaan koekentän ja Jokioisten sääaseman välillä on noin 23 kilometriä. Jokioisten Ilmalan säähavaintoasema sijaitsee lisäksi hyvin samanlaisessa ympäristössä kuin Ruokaviraston Loimaan toimipaikka: ympäristö on peltosavikkoaluetta, joka sijaitsee pääasiassa noin 100 metriä merenpinnan yläpuolella ja jonka ympärillä sijaitsee pieniä metsäisiä kalliomäkiä. Sekä koekentän että säähavaintoaseman etäisyys lähimmästä merenrannasta on noin 60 kilometriä.

## 2.3 Tilastolliset menetelmät

Analysoin tutkimusaineiston tilastollisesti käyttäen SAS Analysis Software 9.4 -tilasto-ohjelmistoa. Analyysien keskiössä olivat erilaisten säämuuttujien vaikutukset nurminadan korren pituuteen, kukkimisen alkamisajankohtaan sekä yksilöiden elossasäilyvyyteen talven yli DUS-testausaineistossa. Analyysejä varten rakensin yleistetyt lineaariset mallit käyttäen tilasto-ohjelmiston GLIMMIX -proseduuria. Vapausasteiden estimointimenetelmänä kaikissa malleissa käytin Kenward-Rogerin estimointimenetelmää (Marasinghe & Koehler 2018).

Tutkin kasvukautta edeltävällä talvikaudella esiintyneiden pakkaspäivien lukumäärän vaikutusta DUS-testauksen nurminatayksilöiden elossasäilyvyyteen talven yli yleistetyllä logistisella regressiomallilla. Valitsin yleistetyn logistisen regression, sillä analyysin vastemuuttujana oli elossa talven jälkeen säilyneiden DUS-testauksen nurminatayksilöiden määrä, joka oli binomijakautunut ja luokitteleva (elossa/kuollut) vastemuuttuja. Elossa säilyneiden nurminatayksilöiden vaihtelua vuosittain pyrin selittämään pakkaspäivien lukumäärällä kasvukautta edeltävänä talvena (jatkuva muuttuja), lajikkeella (luokitteleva muuttuja) sekä näiden muuttujien yhdysvaikutuksilla. Pakkaspäivien lukumäärän laskin säähavaintoaineistosta kutakin kasvukautta kohti erikseen kasvukautta edeltävän talven (1.9.-31.5.) ajalta. Pakkaspäiviksi laskin kaikki vuorokaudet, joiden keskilämpötila oli alle 0 °C. Mallissa oli aluksi mukana jatkuvana, selittävänä muuttujana myös lumisten päivien määrä (lumipeitteen paksuus < 0 cm) kasvukautta edeltävänä talvena, mutta se oli niin vahvasti korreloitunut pakkaspäivien lukumäärän kanssa, että jätin sen pois mallista. Satunnaistekijänä mallissa oli näytteenottovuosi. Arvioin mallin sopivuutta tarkastelemalla dispersioparametrin arvoa. Se oli tässä mallissa korkea (3,77), mikä viittaa ylidispersoituneeseen aineistoon ja saattaa johtaa liian mataliin p-arvoihin eli selittävien muuttujien vaikutusten voimakkuuden yliarviointiin analyysitulosten tulkinnassa. Kuten tuloksista kuitenkin seuraavassa luvussa 3 huomataan, lajikkeiden väliset erot ovat tässä analyysissä hyvin selkeitä sekä tilastollisen että graafisen tarkastelun perusteella, joten virheellisen tulkinnan vaara on tämän analyysin kohdalla pieni.

Ensimmäisen yleistetyn lineaarisen sekamallin rakensin tutkiakseni kasvukauden alkamisen vaikutusta DUS-testauksen nurminatayksilöiden kukkimisen alkamisajankohtaan.

Tässä mallissa jatkuvana, normaalijakautuneena vastemuuttujana käytin nurminadan yksilöiden kukkimisen alkamispäivämäärä järjestyslukuna kunkin vuoden tammikuun 1. päivästä lukien. Selittävinä muuttujina mallissa oli kasvukauden alkamispäivämäärä järjestyslukuna kunkin vuoden tammikuun 1. päivästä lukien (jatkuva muuttuja) sekä nurminadan lajike (luokitteleva muuttuja). Näytteenottovuotta käsittelin mallissa satunnaistekijänä. Mallin residuaalit olivat visuaalisen tarkastelun perusteella normaalijakautuneet, joten mallin oletukset täyttyivät.

Toisen yleistetyn lineaarisen sekamallin rakensin tutkiakseni, vaikuttavatko kasvukauden aikainen lämpösumma, kasvukauden aikainen sadesumma, lajike, lajikkeen ja lämpösumman tai lajikkeen ja sadesumman yhdysvaikutukset DUS-testauksen nurminatayksilöiden korren pituuteen. Jatkuvana, normaalijakautuneena vastemuuttujana oli DUS-testausaineiston sisältämiä nurminatayksilöiden korsien pituusmittauksia kaikilta niiltä vuosilta, jotka on listattu taulukossa 1. Lämpösumma ja sadesumma olivat selittäjinä jatkuvia muuttujia ja lajike luokitteleva muuttuja. Näytteenottovuotta käsittelin mallissa satunnaistekijänä. Mallin residuaalien visuaalisesta tarkastelusta havaitsin, että residuaalit ovat normaalijakautuneita eli mallin oletusten voidaan tulkita täyttyvän.

Kolmannen yleistetyn lineaarisen sekamallin rakensin edellisen tapaan sillä erotuksella, että jatkuvana vastemuuttujana käytin DUS-testauksen korren pituusmittojen sijaan Luken viljelyarvokokeiden satomittauksia ja lisäsin selittäväksi muuttujaksi kasvukauden pituuden vuorokausina. Tässä mallissa tutkin, vaikuttavatko kasvukauden aikainen lämpösumma (jatkuva muuttuja), kasvukauden aikainen sadesumma (jatkuva muuttuja), kasvukauden pituus vuorokausina (jatkuva muuttuja), lajike (luokitteleva muuttuja) tai näiden yhdysvaikutukset nurminadan satotuloksiin viljelyarvokokeissa. Satomittauksia oli käytettävissäni niiltä vuosilta ja niiltä viideltä lajikkeelta, jotka taulukossa 1 on mainittu. Sato oli mallissa jatkuva vastemuuttuja, jonka loin laskemalla yhteen kunkin mittausvuoden kaikkien niittojen kuiva-ainesatotiedon lajikkeittain. Satunnaistekijäksi malliin lisäsin näytteenottovuoden. Mallin oletukset täyttyivät, sillä residuaalit olivat visuaalisesti tarkasteltuna normaalijakautuneet.

Lisäksi tutkin korrelaatioanalyysin avulla, korreloivatko DUS-testausaineiston nurminatayksilöiden korsien pituusmitat ja viljelyarvokokeiden satomittaukset keskenään. Muuttujat jakautuivat visuaalisen frekvenssitarkastelun perusteella normaalisti. Analyysiä varten laskin Ruokaviraston DUS-testausaineiston sisältämistä nurminadan yksilöiden

korkeimman korren pituuksista keskiarvon ( $n = 60$  vuosittain joka lajikkeesta) viidelle eri lajikkeelle (Antti, Boris, Fure, Ilmari ja Kasper) vuosittain niiltä vuosilta, joiden osalta tietoja oli näistä lajikkeista saatavilla (Taulukko 1). Viljelyarvokokeiden Jokioisten koe-  
paikkojen kaikkien niittojen satoaineistoista laskin niin ikään keskiarvot ( $n = 2-6$  riippuen lajikkeesta, vuodesta ja niittojen määrästä) viidelle eri lajikkeelle (Antti, Boris, Fure, Ilmari ja Kasper) vuosittain niiltä vuosilta, joiden osalta tietoja oli näistä lajikkeista saatavilla (Taulukko 1). Näiden keskiarvojen perusteella laskin Pearsonin korrelaation nurminatayksilöiden pisimpien korsien pituuden sekä nurminadan viljelyarvokokeiden satotulosten välille käyttäen tilasto-ohjelmiston PROC CORR –proseduuria.

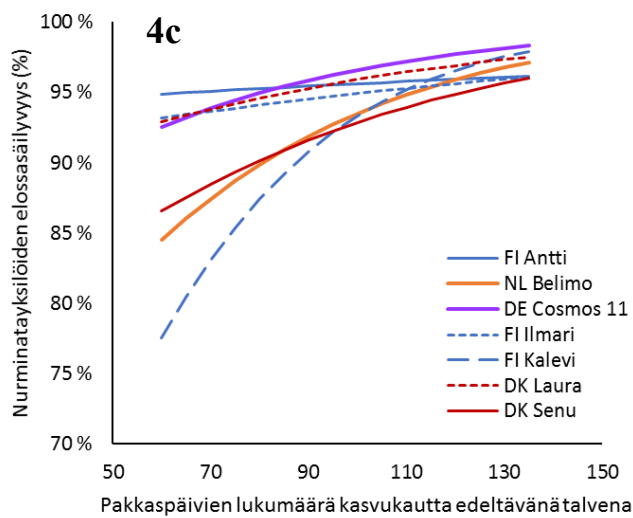
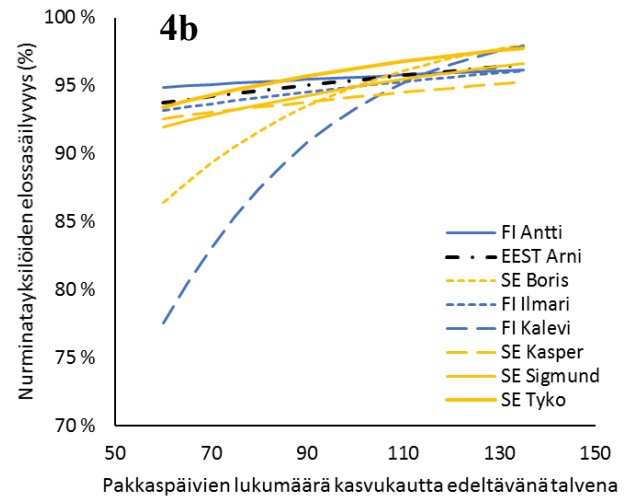
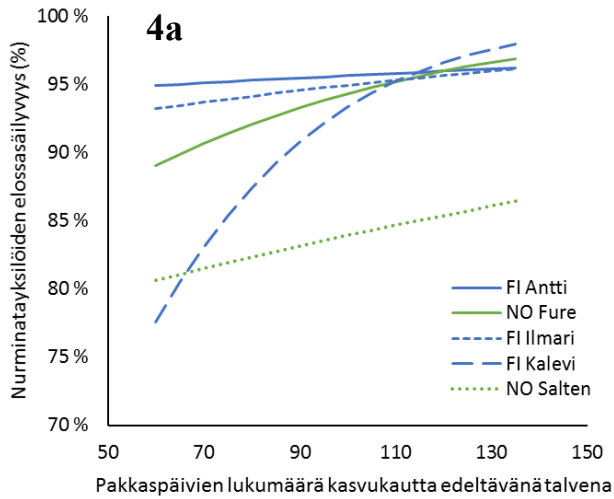
### 3. Tulokset

#### 3.1 Lajikkeen alkuperä ja pakkaspäivien määrä kasvukautta edeltävänä talvena vaikuttavat nurminatayksilöiden talvehtimiseen

Pakkaspäivien lukumäärä kasvukautta edeltävänä talvena (1.9.-31.5.) vaikutti eri tavoin nurminadan eri lajikkeiden talvehtimiseen (Taulukko 2). Pakkaspäivien määrän kasvu talven aikana paransi kaikkien nurminadan lajikkeiden yksilöiden elossasäilyvyyttä talven yli (Kuvat 4a, 4b ja 4c).

*Taulukko 2. Kasvukautta edeltävän talven (syyskuun alusta toukokuun loppuun) aikaisten pakkaspäivien lukumäärän ja lajikkeen vaikutus sekä näiden yhdysvaikutus nurminadan yksilöiden elossasäilyvyyteen ( $n = 11\ 594$ ).*

<b>Muuttuja</b>	<b>Num DF</b>	<b>Den DF</b>	<b>F-arvo</b>	<b>p-arvo</b>
Pakkaspäivien lukumäärä	1	13,46	1,71	0,2125
Lajike	13	183	3,57	<,0001
Pakkaspäivien lukumäärä*lajike yhdysvaikutus	13	183	3,06	<b>0,0004</b>



Kuvat 4a, 4b ja 4c. Mallin ennustamien nurminadan yksilöiden elossasäilyvyyden ja kasvukautta edeltävän talven (1.9.-31.5.) aikaisten pakkaspäivien yhdysvaikutus lajikkeittain. Samalta jalostajalta peräisin olevat lajikkeet on merkitty samalla värillä ja alkuperämaan tunnuksella lajikenimen edessä. Selkeyden vuoksi eri Köppenin ilmastoalueilta peräisin olevat lajikkeet on piirretty omiin kaavioihinsa suomalaisten lajikkeiden rinnalle. 4a) suomalaiset ja norjalaiset lajikkeet, 4b) suomalaiset, ruotsalaiset ja virolainen lajike, 4c) suomalaiset, tanskalaiset, saksalainen ja hollantilainen lajike.

Kuvissa 4a, 4b ja 4c (kuten myöhemmin myös kuvissa 5a, 5b ja 5c) tässä tutkimuksessa mukana olevat nurminadan lajikkeet on ryhmitelty kolmeksi eri kaavioksi perustuen siihen, millä Köppenin ilmastoluokituksen mukaisilla ilmastoalueilla (Kuva 1) lajikkeet on todennäköisesti alkuperästä päätellen (Taulukko 1) jalostettu. Kuvaan 4a on piirretty subarktisen mannerilmaston alueelta todennäköisesti peräisin olevat lajikkeet Suomesta ja Norjasta, kuvaan 4b todennäköisesti lämminkesäisen mannerilmaston alueelta peräisin

olevat lajikkeet Ruotsista ja Virosta, ja kuvaan 4c lauhkean meri-ilmaston alueelta todennäköisesti peräisin olevat lajikkeet Tanskasta, Hollanista ja Saksasta. Vertailun helpottamiseksi suomalaiset lajikkeet on piirretty ulkomaisten lajikkeiden rinnalle myös kuvaan 4b ja 4c.

Lajikkeista varsinkin norjalaisen Salten-lajikkeen yksilöt näyttävät kaiken kaikkiaan selviävän muita lajikkeita huonommin hengissä seuraavaan kasvukauteen (Kuva 4a), ja suomalainen Kalevi menestyy huonosti leutoina talvina (Kuvat 4a, 4b ja 4c). Ruotsalaisista lajikkeista Boris kärsii niin ikään jonkin verran leudoista talvista (Kuva 4b), ja pakkaspäivien lukumäärän vaikutus on samansuuntainen myös tanskalaisen Senun ja hollantilaisen Belimon kohdalla (Kuva 4c). Yleisesti nurminadan yksilöiden elosssäilyvyys oli kuitenkin hyvä, sillä useimmilla lajikkeilla yli 90% kaikista yksilöistä selviää mallin enustamien arvojen mukaan talvehtimisestä hengissä seuraavaan kasvukauteen pakkaspäivien määrästä riippumatta.

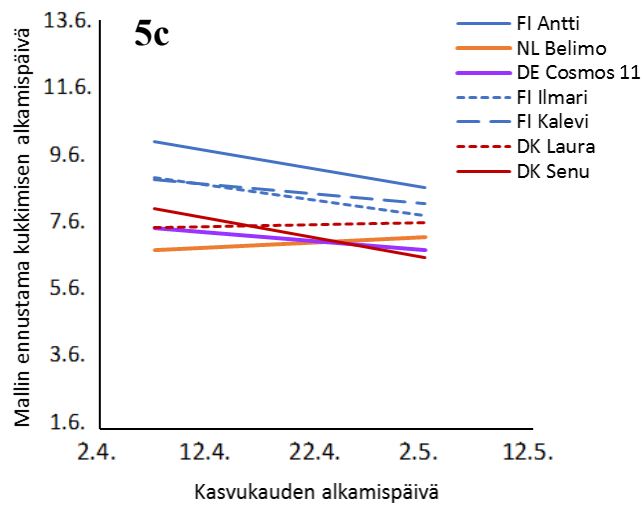
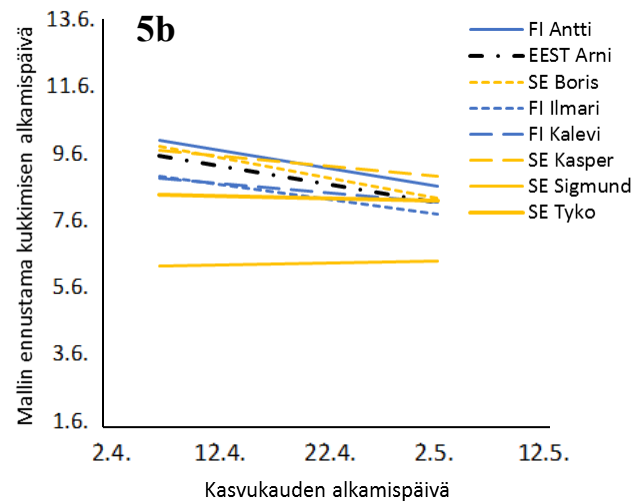
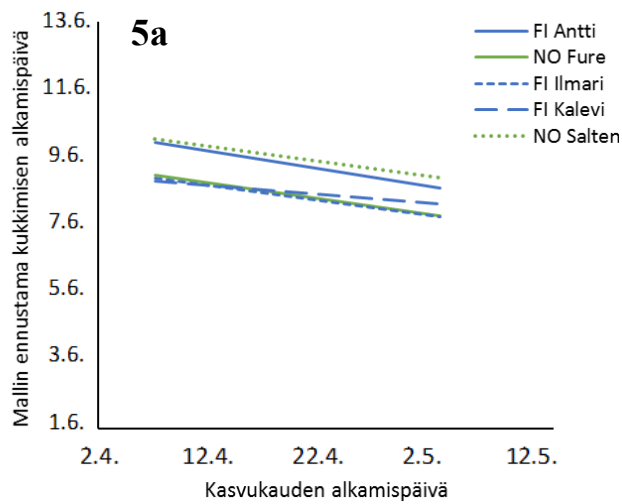
### 3.2 Kasvukauden alkamisajankohta vaikuttaa eri tavoin nurminadan eri lajikkeiden kukkimisajankohtaan

Nurminadan eri lajikkeet reagoivat eri tavalla kasvukauden alkamiseen (Taulukko 3) lajikekohtaisesti. Näin ollen eri nurminadan lajikkeet aloittavat kukintansa tyypillisesti eri aikoihin keväällä.

*Taulukko 3. Kasvukauden alkamispäivän sekä lajikkeen vaikutukset ja näiden yhdysvaikutus nurminadan yksilöiden kukkimisen alkamisajankohtaan (n= 11 733).*

<b>Muuttuja</b>	<b>Num DF</b>	<b>Den DF</b>	<b>F-arvo</b>	<b>p-arvo</b>
Kasvukauden alkamispäivä	1	14	0,02	0,8870
Lajike	13	11691	4,37	<,0001
Lajike*kasvukauden alkamispäivä yhdysvaikutus	13	11691	2,90	<b>0,0003</b>

Lauhkean meri-ilmaston alueilta (Kuva 1) peräisin olevat lajikkeet kukkivat mallin perusteella tyypillisesti aiemmin kuin suomalaiset lajikkeet (Kuva 5c), kun taas Ruotsista, Virosta ja Norjasta peräisin olevat lajikkeet kukkivat hyvin samaan aikaan kuin suomalaisetkin lajikkeet (Kuvat 5a ja 5b).



Kuvat 5a, 5b ja 5c. Mallin ennustamien nurminadan yksilöiden kukkimisen alkamispäivämäärän ja kasvukauden alkamispäivämäärän yhdysvaikutus lajikkeittain. Samalta ja-lostajalta peräisin olevat lajikkeet on merkitty samalla värillä ja alkuperämaan tunnukset lajikenimen edessä. Selkeyden vuoksi eri Köppenin ilmastoalueilta peräisin olevat lajikkeet on piirretty omiin kaavioihinsa suomalaisten lajikkeiden rinnalle. 5a) suomalaiset ja norjalaiset lajikkeet, 5b) suomalaiset, ruotsalaiset ja virolainen lajike, 5c) suomalaiset, tanskalaiset, saksalainen ja hollantilainen lajike.

Kasvukauden alkamisella on kaikkiaan melko heikko vaikutus eri lajikkeiden kukkimisen ajoittumiseen. Suomalaisen Kalevi-lajikkeen ja ruotsalaisten Boris-lajikkeen kukkimiseen ei kasvukauden alkamisajankohdalla ole juurikaan vaikutusta (Kuva 5b). Useimpien lajikkeiden osalta näyttää siltä, että mitä aiemmin kasvukausi alkaa, sitä myöhemmin la-

jike aloittaa kukintansa. Tanskalainen lajike Laura ja hollantilainen lajike Belimo kuitenkin näyttäisivät kukkivan sitä myöhemmin, mitä myöhemmin kasvukausi alkaa (Kuvat 5b ja 5c), joten vaikutus on näillä lajikkeilla erilainen kuin suurimmassa osassa muita lajikkeita.

### 3.3 Säätömuuttujien vaikutukset nurminatayksilöiden korkeimman korren pituuteen ja satoon

Kasvukauden lämpösumman, sadesumman ja nurminadan lajikkeen yhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä DUS-testauksessa mitatun nurminadan korkeimman korren pituuden selittäjä (Taulukko 4). Tulosten tulkinnan helpottamiseksi jaottelin mallissa mukana olevia lajikkeita pienempiin ryhmiin, ja analysoin nämä ryhmät uudelleen samanlaisella tilastoanalyysillä.

*Taulukko 4. Kasvukauden aikaisen lämpösumman ja sadesumman vaikutukset sekä näiden yhdysvaikutukset nurminadan yksilöiden korkeimman korren pituuteen. (n=11 553)*

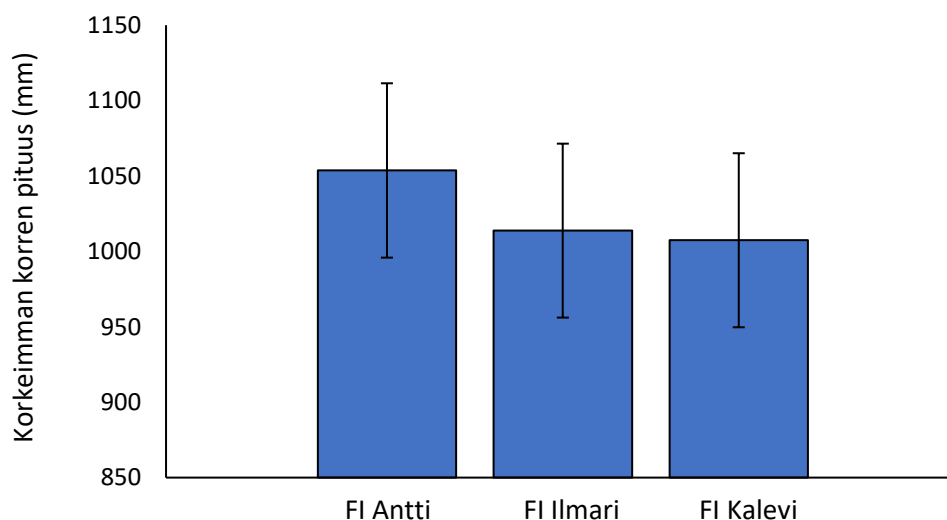
<b>Muuttuja</b>	<b>Num DF</b>	<b>Den DF</b>	<b>F-arvo</b>	<b>p-arvo</b>
Kasvukauden lämpösumma	1	12	1,99	0,1834
Kasvukauden sadesumma	1	12	1,39	0,2605
Lajike	13	11485	4,34	<,0001
Lajike*lämpösumma yhdysvaikutus	13	11485	4,20	<,0001
Lajike*sadesumma yhdysvaikutus	13	11485	3,88	<,0001
Lajike*lämpösumma*sadesumma yhdysvaikutus	14	827,5	3,69	<,0001

Ensin tutkin pelkästään suomalaisten lajikkeiden korsien pituuksien vaihtelua ja jätin ulkomaiset lajikkeet pois mallista. Pelkkien suomalaisten lajikkeiden (Antti, Ilmari ja Kalevi) korkeimpien korsien pituuksiin ei kasvukauden lämpösummalla, sadesummalla tai lajikkeella ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta eikä näiden kolmen selittäjän yhdysvaikutus ollut myöskään tilastollisesti merkitsevä vaihtelun selittäjä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kasvukauden aikaisen lämpösumman ja sadesumman vaikutukset nurminadan suomalaisten lajikkeiden (Antti, Ilmari ja Kalevi) yksilöiden korkeimman korren pituuteen. (n=2 468)

Muuttuja	Num DF	Den DF	F-arvo	p-arvo
Kasvukauden lämpösumma	1	12,03	1,89	0,1945
Kasvukauden sadesumma	1	12,01	1,23	0,2891
Lajike	2	2447	1,37	0,2537
Lajike*lämpösumma yhdysvaikutus	2	2446	1,29	0,2741
Lajike*sadesumma yhdysvaikutus	2	2446	0,98	0,3746
Lajike*lämpösumma*sadesumma yhdysvaikutus	3	57,77	1,05	0,3785

Analyysin suomalaisista lajikkeista Antti kasvattaa pisimmän korren, ja Ilmari sekä Kalevi -lajikkeet jäävät ennusteen mukaan keskenään melko samanmittaisiksi, mutta Anttia lyhyemmiksi (Kuva 6).



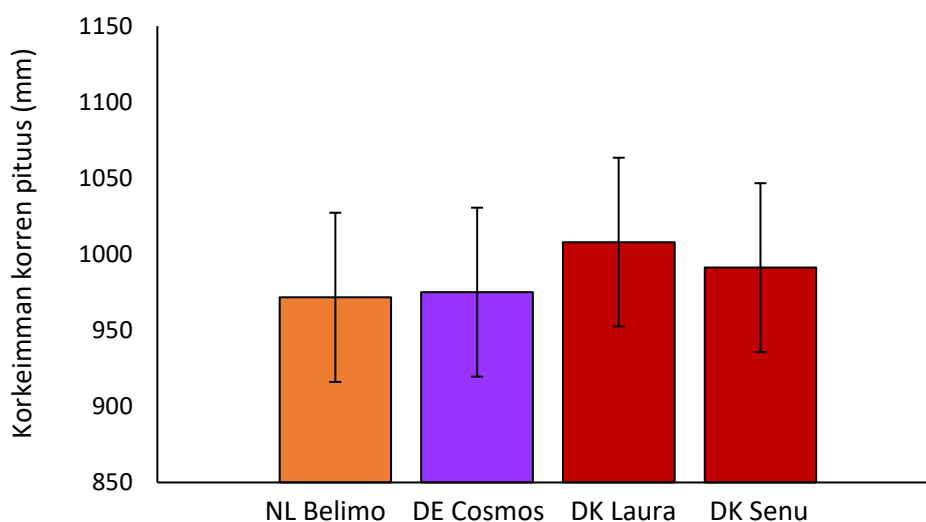
Kuva 6. Mallin ennustama nurminadan korkeimman korren pituus suomalaisilla nurminadan lajikkeilla Antti, Ilmari ja Kalevi (n=2 468). Luottamusvälit (95%) havainnollistettu.

Analysoin seuraavaksi erikseen vain analyysin lauhkean meri-ilmaston alueelta todennäköisesti peräisin olevat nurminatalajikkeet Tanskasta, Hollannista ja Saksasta. Näiden lajikkeiden voidaan odottaa eroavan eniten suomalaisista lajikkeista. Näillä lajikkeilla korkeimman korren pituuteen vaikutti tilastollisesti merkitsevästi lajike, mutta kasvukauden lämpösummalla tai sadesummalla ei ollut vaikutusta korren pituuteen (Taulukko 6). Eri lajikkeet siis kasvavat mallin mukaan korkeimmalta korreltaan eri mittaisiksi.

Taulukko 6. Kasvukauden aikaisen lämpösumman ja sadesumman vaikutukset nurminadan hollantilaisen (Belimo), saksalaisen (Cosmos 11) ja tanskalaisten (Laura ja Senu) lajikkeiden yksilöiden korkeimman korren pituuteen. (n=3 217)

Muuttuja	Num DF	Den DF	F-arvo	p-arvo
Kasvukauden lämpösumma	1	12,99	1,25	0,2831
Kasvukauden sadesumma	1	12,97	0,10	0,7589
Lajike	3	3200	15,47	<,0001

Tämän analyysin lajikkeiden korkeimmat korret jäivät mallin ennusteen mukaan joko saman mittaisiksi tai lyhyemmiksi kuin suomalaisten lajikkeiden korkeimmat korret, ja lyhyimmäksi jäivät hollantilainen Belimo sekä saksalainen Cosmos (Kuvat 6 ja 7).



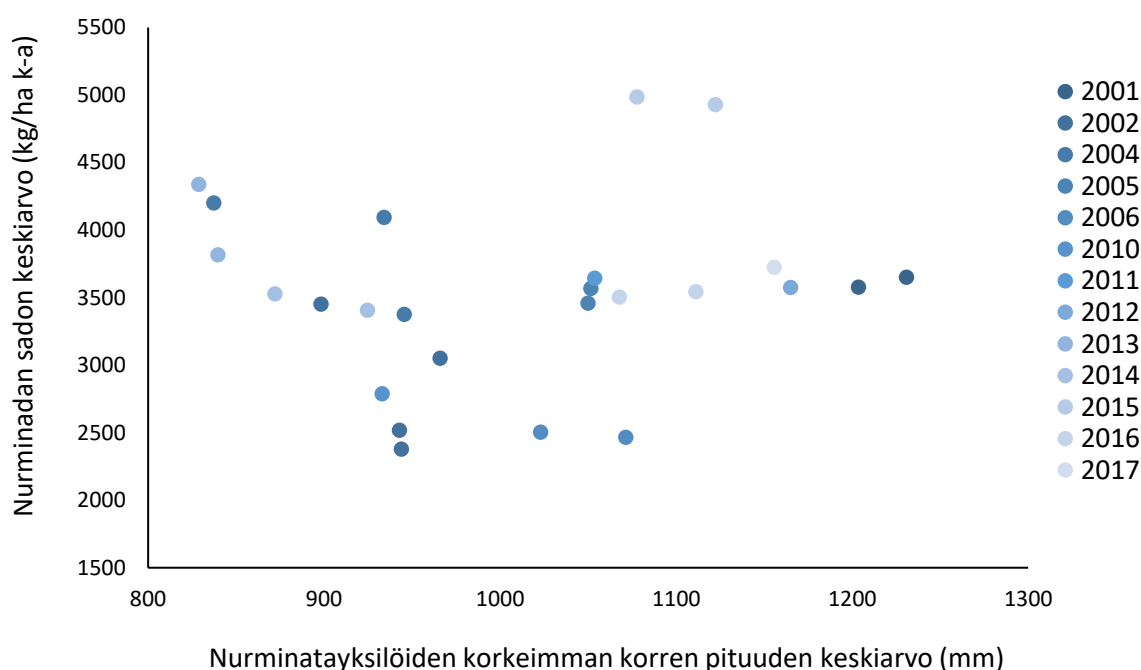
Kuva 7. Mallin ennustama nurminadan korkeimman korren pituus hollantilaisella (Belimo), saksalaisella (Cosmos) ja tanskalaisilla (Laura ja Senu) nurminadan lajikkeilla (n=3217). Luottamusvälit (95%) havainnollistettu.

Luken viljelyarvokokeissa mitattua nurminadan kuiva-ainesadon vaihtelua vuosittain tai lajikkeittain ei voitu selittää millään tutkituilla säämuuttujilla (Taulukko 7). Lajike, kasvukauden lämpösumma, sadesumma tai pituus vuorokausina tai myöskään säämuuttujien yhdysvaikutukset lajikkeen kanssa eivät selittäneet satotulosten vaihtelua tilastollisesti merkitsevästi.

Taulukko 7. Kasvukauden aikaisen lämpösumman, sadesumman ja pituuden sekä lajikkeen vaikutukset sekä näiden yhdysvaikutukset nurminadan kuiva-ainesatoon ( $n=33$ ).

Muuttuja	Num DF	Den DF	F-arvo	p-arvo
Lajike	2	15,17	0,07	0,9315
Kasvukauden lämpösumma	1	12,90	0,42	0,5302
Kasvukauden sadesumma	1	10,04	0,00	0,9975
Kasvukauden pituus	1	8,943	0,84	0,3829
Lajike*kasvukauden pituus yhdysvaikutus	2	14,24	0,49	0,6240
Lajike*kasvukauden lämpösumma yhdysvaikutus	2	14,48	0,24	0,7873
Lajike*kasvukauden sadesumma yhdysvaikutus	2	13,22	0,32	0,7316

Ruokaviraston DUS-testausaineiston tuottamat nurminatayksilöiden korkeimpien korsien pituusmitat eivät korreloineet kuiva-ainesatomittausten kanssa ( $r=0,098$ ,  $p=0,64$ ,  $n=26$ , Kuva 8). Näin ollen korkeimpien korsien pituus ei välttämättä kerro paljoakaan yksilön tai lajikkeen sadosta kyseisenä vuonna.



Kuva 8. Ruokaviraston DUS-testauksen nurminatayksilöiden korkeimman korren pituuden vuosittaisen keskiarvon ja Luken viljelyarvokokeiden nurminadan satomittausten vuosittaisten keskiarvojen korrelaatio ( $r=0,098$ ,  $p=0,64$ ,  $n=26$ ).

## 4. Tulosten tarkastelu

### 4.1 Nurminadan talvehtimismenestys lämpenevässä ilmastossa

Tämän tutkimuksen perusteella talvikauden pakkaspäivien lukumäärä vaikuttaa nurminadan eri lajikkeiden talvehtimismenestykseen eri tavoin lajikkeesta riippuen. Aiempien tutkimusten mukaan monivuotisten heinäkasvien talvehtimismenestykseen vaikuttavat monet eri tekijät (Ergon 2017). Erityisesti kasviin kasvukauden aikana kertyneillä hiilihydraattivarastoilla on havaittu olevan huomattava merkitys. On esitetty, että pohjoisemmilla leveysasteilla, joissa talven pimeä aika on pidempi ja talven stressitekijät voimakkaampia, kasvit allokoivat syksyn hiilihydraateista suuremman osan varastoon kuin eteläisemmällä leveyksillä (Ergon 2017). Näin ollen olisi syytä olettaa, että pohjoisemmat lajikkeet talvehtisivat paremmin Suomen kylmissä talviolosuhteissa kuin etelämpänä ja todennäköisesti leudommilla ilmastoalueilla jalostetut lajikkeet. Oletus ei saanut tukea tämän tutkimuksen tuloksista, sillä kaikilta kolmelta eri ilmastoalueelta peräisin olevista lajikeryhmistä löytyi yksittäisiä, huonommin leudoissa olosuhteissa talvehtivia lajikkeita.

Vaikka useimpien tutkittujen lajikkeiden talvehtimismenestys ei juurikaan muuttunut pakkaspäivien määrästä riippuen, poikkeuksiakin löytyi. Talven aikaisten pakkaspäivien vähydestä vaikuttivat kärsivän varsinkin seuraavat lajikkeet: suomalainen Kalevi, ruotsalainen Boris, tanskalainen Senu sekä hollantilainen Belimo. Huomionarvoista on, että kaikki nämä lajikkeet ovat suhteellisen vanhoja (tulleet markkinoille vuosina 1957-1980), jolloin kasvinjalostustyö on tehty näiden lajikkeiden osalta vuosikymmeniä sitten vallinneissa ilmasto-olosuhteissa. Kaikkein huonoin elossasäilyvyys tässä tutkimuksessa oli kuitenkin norjalaisella Salten-lajikkeella, sillä sen yksilöiden elossasäilyvyys oli talven pakkaspäivien määrästä riippumatta alle 85%. Voi siis olla, että Salten on jalostettu Suomen olosuhteita niin paljon leudompiin tai muulla tavalla poikkeavampiin olosuhteisiin, että se ei selviä talvesta Suomessa muiden tutkittujen lajikkeiden tapaan.

Tämän tutkimuksen perusteella talvien leudontuminen tulevaisuudessa voi siis huonontaa tiettyjen nurminadan lajikkeiden talvehtimismenestystä. Tämä saattaa johtua siitä, että kylmät lämpötilat käynnistävät monivuotisissa heinäkasveissa kylmäakklimaation eli jää-

tymisen aiheuttamalta ympäristöstressiltä suojaavat prosessit, ja aiheuttavat lisäksi suojaavan vasteen muille kylmien lämpötilojen aiheuttamille stressitekijöille, kuten talvituhosienille ja juuriston hapettomuudelle (Ergon 2017). Akklimaation käynnistyminen syksyllä on pitkälti riippuvainen lämpötilasta, ja jos syksyt tulevaisuudessa leudontuvat kasvukauden pidentyessä, myös akklimaation alkaminen siirtyy myöhäisempään syksyyn (Ergon ym. 2018).

Aiempien tutkimusten mukaan nurminadan elossasäilyvyyteen vaikuttavien talvien stressitekijöiden ankaruus ei riipu pelkästään kylmistä lämpötiloista, vaan myös lumipeitteen paksuudesta sen eristävän vaikutuksen vuoksi (Ergon ym. 2018). Lumipeitteen ohentuminen tai sen puuttuminen kokonaan voi pidentää ja syventää maan routaantumista sekä aiheuttaa routaa sinne, missä sitä ei ole ennen ollut. Tämän tutkimuksen analyysissä talven aikaisten lumipeitteisten päivien määrä oli aluksi mukana mallissa, mutta koska se oli vahvasti korreloitunut talven aikaisten pakkaspäivien lukumäärän kanssa, poistin sen mallista. Lumisten päivien ottaminen huomioon olisi kuitenkin voinut tarjota lisätietoa eri lajikkeiden elossasäilyvyydestä.

Vaikka ilmastonmuutos mahdollistaisi heinäkasvien kasvun jatkumisen myöhempään syksyyn, se ei vaikuta valaistusolosuhteisiin eli päivän pituuteen (Saikkonen ym. 2012). Näin ollen kasvit saattavat jatkaa kasvua ja fotosynteesitoimintaa sellaisenakin aikana, jolloin auringonvaloa ei enää ole pohjoisilla leveysillä tarpeeksi käytettävissä. Tässä tilanteessa kasvit voivat joutua käyttämään kesän aikana kumuloituneita hiilihydraattivarastoja elintoimintoihinsa. Jos hiilihydraattivarastot pienenevät liikaa syksyllä ennen akklimaation alkamista ja kasvun pysähtymistä, se voi huonontaa heinäkasvien elossasäilyvyyttä talven jälkeen aikaisin keväällä, kun kasvu tapahtuu pääasiassa varastohiilihydraattien voimin (Ergon ym. 2018). Mikäli kevään olosuhteet lisäksi epävakautuvat ilmastonmuutoksen seurauksena, liian aikaisin kasvunsa aloittaneet yksilöt voivat altistua aikaisen kevään yöpakkasten aiheuttamille vaurioille. Näin ollen akklimaatio ei ehkä enää suojaakaan talvehtivia heinäkasveja erilaisilta stressitekijöiltä yhtä hyvin kuin ennen, mikä voi vaikuttaa nurminadan talvehtimismenestykseen tulevaisuudessa (Ergon 2017).

## 4.2 Nurminadan kukinta ja kasvukauden piteneminen

Tässä tutkimuksessa havaitsin, että kasvukauden alkamisajankohta vaikuttaa eri lajikkeilla eri tavoin nurminadan kukkimisajankohtaan. Eteläisemmiltä ilmastoalueilta todennäköisesti peräisin olevat lajikkeet eli tanskalaiset Laura ja Senu, saksalainen Cosmos ja hollantilainen Belimo kukkivat hieman aiemmin kuin suomalaiset lajikkeet. Lisäksi ruotsalaisista lajikkeista Sigmund aloitti kukintansa muita ruotsalaisia ja suomalaisia lajikkeita aiemmin. Tämä tulos vastaa oletusta siitä, että eteläisemmiltä leveysiltä peräisin olevat lajikkeet ovat sopeutuneet pidempään kasvukauteen ja aloittavat näin ollen kukintansa pohjoisia lajikkeita aiemmin. Useimpien tutkittujen lajikkeiden osalta kasvukauden alkamisajankohdalla ei kuitenkaan ollut juurikaan vaikutusta kukkimisajankohtaan, mikä voi kertoa tutkittujen nurminadan lajikkeiden huonosta kyvystä reagoida kasvukauden pituuden muutoksiin. Tämä saattaa huonontaa tutkittujen nurminadan lajikkeiden sopeutumista kasvukauden pitenemiseen tulevaisuudessa.

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että pohjoisemmilta leveysasteilta peräisin olevien populaatioiden kukinta vaatii eteläisiä populaatioita pidemmän altistumisen niille ympäristöolosuhteille, jotka käynnistävät kukkimisen primaari-induktion (Heide 1988). Esimerkiksi kolmella nurminadan pohjoisella lajikkeella (Salten, Löken ja Pajbjerg) kasvien on havaittu vaativan lyhyen päivän aikaan (valo  $< 12$  tuntia) 16-20 viikon altistuksen 3-15 °C lämpötiloille ja pitkän päivän aikaan (valo  $> 16$  tuntia) 18-20 viikon altistuksen 3-12 °C lämpötiloille, jotta kukkimisen primaari-induktio käynnistyy (Heide 1988). Näillä lajikkeilla kukkimisen sekundaari-induktion käynnistyminen vaatii noin 13 tunnin mittaisen päivän (Heide 1988). Tässä tutkimuksessa kasvukauden alkamispäivällä ei kuitenkaan juuri ollut vaikutusta Salten-lajikkeen kukkimisajankohtaan.

Kukkivien kasvien lisääntymisstrategioita pohjoisilla ja arktisilla alueilla on pyritty kuvaamaan jakamalla kasvit kukkimisen ajoittumisen perusteella kahteen ryhmään: pölytysriskin ottaviin ja siementen valmistumisriskin ottaviin kasveihin (Molau ym. 2005). Pölytysriskin ottaviin kasveihin kuuluvat aikaisin kukkivat ja ristipölytteiset kasvit. Niiden pölytys ei aina välttämättä onnistu optimaalisesti, mutta ne pystyvät kuitenkin joka vuosi tuottamaan ainakin jonkin verran siemeniä ja niiden ristipölytteisyys pitää yllä populaation geneettistä muuntelua. Siementen valmistumisriskin ottavat kasvit kukkivat myöhään ja ovat pääasiassa itsepölytteisiä. Näin ollen pölytyksen onnistuminen on hyvin

varmaa, mutta epäsuotuisina vuosina kasvin riskinä on menettää koko siemensato, jos siemenet eivät ehdi valmistua myöhäisen pölytyksen takia ajoissa.

Tutkimusten perusteella on arvioitu, että siementen valmistumisriskin ottavat kasvit saattavat tulevaisuudessa hyötyä ilmastonmuutoksesta ja kasvukauden pitenemisestä enemmän kuin pölytysriskin ottavat kasvit, sillä kasvukausien on ennustettu ilmastonmuutoksen johdosta pitenevän syksyllä ja näin ollen siementen valmistumiselle on mahdollisesti suotuisammat olosuhteet (Molau ym. 2005). Useimmat heinäkasvit, kuten tässä tutkimuksessa kiinnostuksen kohteena ollut nurminata, kuuluvat suhteellisen aikaisin kukkivina ja ristipölytteisinä kasveina pölytysriskin ottaviin kasveihin, joten ne eivät välttämättä hyödy pitenevästä kasvukaudesta yhtä paljon kuin esimerkiksi itsepölytteiset viljat. Lisäksi aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että korkea lämpötila (21 °C) saattaa aiheuttaa nurminadalla vernalisaation peruuntumista ja estää kukinnan alkamisen, jos nurminata altistuu sille primaari-induktion jälkeen ennen kukinnan alkamista (Heide 1988). Koska nurminata on siis pääasiassa lauhkealle ja viileälle ilmastoalueelle sopeutunut heinäkasvi ja sietää huonosti alkukesän kuumia lämpötiloja, nykyiset nurminadan lajikkeet eivät välttämättä hyödy kasvukauden pitenemisestä keväällä.

### **4.3 Nurminadan korren kasvu ja kuiva-ainesato**

Lämpimän kasvukauden on aiemmissa tutkimuksissa havaittu vähentävän nurminadan tuottaman kuiva-ainesadon määrää, sillä se on pääasiassa lauhkeille ja viileille ilmastoalueille sopeutunut heinäkasvi (Mäkinen ym. 2015). Tässä tutkimuksessa kasvukauden aikaisella lämpösummalla tai sadesummalla ei kuitenkaan ollut vaikutusta nurminadan kuiva-ainesatoon eikä suomalaisten nurminadan lajikkeiden korren pituuteen. Eteläisemmältä ilmastoalueelta peräisin olevien saksalaisen, hollantilaisen ja tanskalaisten nurminatalajikkeiden korkeimmat korret kasvoivat tyypillisesti eri mittaisiksi lajikkeesta riippuen, mutta myöskään niiden pituuteen eivät sadesumma tai lämpösumma vaikuttaneet.

Nurminadan korkeimpien korsien pituusmitat olivat tässä tutkimuksessa peräisin Ruokaviraston DUS-testauksesta ja satotiedot Luken viljelyarvokokeista. DUS-testauksen mittaukset on tehty yksittäisistä nurminatayksilöistä, kun taas viljelyarvokokeiden satotiedot

määritetään kylvetyiltä koeruuduilta, joilla kasviyksilöitä kasvaa lukuisia. Todennäköisesti tästä aineistojen hyvin erilaisesta luonteesta ja keruutavasta johtuen mittaukset eivät korreloineet keskenään. Korrelaation puuttumista saattaa selittää myös satomittausten pieni otoskoko, mikä pienensi mahdollisten vertailujen määrää analyysissä. Näin ollen korkeimpien korsien analyysitulosten ei voida tulkita kertovan vastaavien nurminadan lajikkeiden satotason kehittymisestä.

#### **4.4 Heinäkasvien menestyminen tulevaisuuden Suomessa**

Koko suomalaisen maatalouden kasvintuotannon näkökulmasta ilmastonmuutoksella voi olla suotuisia vaikutuksia, sillä sen on ennustettu pidentyneiden kasvukausien johdosta parantavan satoja ja kasvattavan mahdollisten viljelykasvien valikoimaa (Peltonen-Sainio ym. 2009). Syksyllä pidentyvän kasvukauden eli korkeampien lämpötilojen hyödyntämisen saattaa kuitenkin estää se, että päivän pituuden vuosittaisessa vaihtelussa ei ole tapahtumassa muutoksia. Valon vähäinen määrä saattaa syksyllä nousta fotosynteesiä ja kasvua rajoittavaksi tekijäksi, vaikka lämpötila teoriassa sallisikin kasvien kasvun pidempään kuin nykyisin (Ergon 2017).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta sääolojen vaihtelun on ennustettu kasvavan, ja äärimmäisten sääilmiöiden yleistymisen sekä mahdollisesti etelästä levittäytyvien uusien tuholaisien ja tautien esiintymisen seuraukset voivat olla kasvintuotannon kannalta haitallisia (Peltonen-Sainio ym. 2009). Nämä muutokset tulevat vaikuttamaan heinäkasvien kuten muidenkin Suomessa viljeltävien rehu- ja ravintokasvien tuotantoon. Viljoja suurempi geneettinen muuntelu, joka mahdollistaa heinäkasveilla monenlaiset vasteet suhteessa eri säämuuttujiin, nousseekin tärkeäksi tekijäksi heinäkasvien sopeutumisessa ilmastonmuutokseen. Nurminadalla tämän muuntelun on havaittu olevan suhteellisen vähäistä esimerkiksi englanninraiheinään verrattuna (Mäkinen ym. 2018). Tämän takia tulevaisuudessa voitaisiinkin edistää nurminadan sopeutumista vaihteleviin olosuhteisiin kasvinjalostuksen avulla lisäämällä geneettisen muuntelun määrää.

Heinäkasvien menestys tulevaisuuden Suomen ilmasto-oloissa riippuu siis useista tekijöistä. Heinäkasveilla saattaa kuitenkin myös itsellään olla rooli tulevaisuuden maatalous-

tuotannon sopeuttamisessa ilmastonmuutokseen: monivuotisten nurmikasvustojen on havaittu sitovan hiiltä ilmakehästä maaperään samalla parantaen syväjuurisina kasveina maan rakennetta ja vähentävän monivuotisina kasvustoina ravinnehuuhtoumia pelloilta vesistöihin (Kipling ym. 2016). Nämä heinäkasvien edut saadaan parhaiten käyttöön viljelemällä lajikkeita, jotka kasvavat ja menestyvät mahdollisimman hyvin Suomen olosuhteissa.

Tässä tutkimuksessa havaitsin, että varsinkin vanhat nurminadan lajikkeet – kuten suomalainen Kalevi, ruotsalainen Boris, tanskalainen Senu sekä hollantilainen Belimo – kärsivät leudoista talvista. Lisäksi havaitsin myös, että Suomea eteläisemmiltä ilmastoalueilta – kuten Hollannista, Tanskasta ja Saksasta – peräisin olevat nurminadan lajikkeet aloittavat kukintansa aiemmin kuin pohjoisempaa alkuperää olevat lajikkeet. Koska ilmastonmuutoksen takia kasvukauden alkaminen todennäköisesti aikaistuu ja talvet leudontuvat, tulevaisuuden Suomen ilmasto-oloissa voisivat siis parhaiten menestyä uudet, nykyisiin oloihin jalostetut tai nykyistä eteläisemmiltä ilmastoalueilta tuodut nurminadan lajikkeet.

## **5. Kiitokset**

Kiitän ohjaajiani Irma Saloniemeä ja Marjo Helanderia kommenteista tutkimuksen eri vaiheissa, sekä Sami Merilaidan johtamaa opiskelijoiden tutkielmaryhmää arvokkaasta avusta, ohjeista ja vertaistuesta tekstin työstämisvaiheessa. Kiitän lisäksi Tero Klemolaa asiantuntevasta avusta tilastoanalyysien suorittamisessa. Kaarina Paavilaista ja Sami Markkasta kiitän Ruokaviraston DUS-testausaineiston luovuttamisesta tämän tutkimuksen käyttöön sekä taustatietojen tarkentamisesta testausaineiston piirteisiin liittyen. Luonnonvarakeskusta kiitän viljelyarvokokeiden tulosten luovuttamisesta tämän tutkimuksen käyttöön.

## 6. Lähteet

Acquaah G. (2007). Principles of plant genetics and breeding (Oxford: Blackwell).

Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* 5, 180214.

CPVO. 2019. CPVO Variety Finder. Saatavissa: <https://cpvo.europa.eu/> Luettu 12.3.2019.

Ergon A, Seddaiu G, Korhonen P, Virkajärvi P, Bellocchi G, Jorgensen M, Ostrem L, Reheul D, Volaire F. 2018. How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change? *Eur. J. Agron.* 92, 97-106.

Ergon A. 2017. Optimal regulation of the balance between productivity and overwintering of perennial grasses in a warmer climate. *Agronomy-Basel* 7, 19.

Evira Siementarkastusyksikkö. 2016. Ristipölytteisten lajien laboratoriossa mitattavat ominaisuudet. *Ohje 13568/3*

Evira Siementarkastusyksikkö. 2015a. Ristipölytteisten kasvilajien kerääminen kentältä ja mittaaminen laboratoriossa. *Ohje 13582/2*

Evira Siementarkastusyksikkö. 2015b. Yksilökentän istutus. *Ohje 13536/3*

Evira Siementarkastusyksikkö. 2014. Nurmi- ja ruokonadan DUS-testaus. *Ohje 13507/4*

Gibson DJ. (2009). Grasses and grassland ecology (Oxford: Oxford University Press).

Heide OM. 1994. Control of flowering and reproduction in temperate grasses. *New Phytol.* 128, 347-362.

Heide OM. 1988. Flowering requirements of Scandinavian *Festuca pratensis*. *Physiol. Plant.* 74, 487-492.

Humphreys MW, Yadav RS, Cairns AJ, Turner LB, Humphreys J, Skot L. 2006. A changing climate for grassland research. *New Phytol.* 169, 9-26.

Hyrkäs M & Virkajärvi P 2012. Nurmen kasvu- ja kehitysprosessit. *NURFYS-Hankkeen 2006–201 Loppuraportti. MTT Raportti 56.*

Ilmatieteen laitos. 2018. Vuorokausi- ja kuukausikohtaiset säähavainnot. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/> Luettu 20.2.2018.

Kipling RP, Bannink A, Bellocchi G, Dalgaard T, Fox NJ, Hutchings NJ, Kjeldsen C, Lacetera N, Sinabell F, Topp CFE *ym.* 2016. Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. *Agric. Syst.* 147, 24-37.

- Laine A, Högnäsbacka M, Niskanen M, Ohralahti K, Jauhiainen L, Kaseva J, Nikander H 2017. Virallisten lajikekokeiden tulokset 2009 – 2016. *Luonnonvarakeskus*
- Laine A & Nikander H 2018. Virallisten lajikekokeiden suoritusohjeet vuodelle 2018. *Luonnonvarakeskus*
- Lemaire G, Hodgson J, Moraes A. (2000). Grassland ecophysiology and grazing ecology (Wallingford: CABI).
- Luke. 2018. Käytössä oleva maatalousmaa. Saatavissa: [https://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2018\\_fi-0](https://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2018_fi-0) Luettu 12.4.2019.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2019. Siemenlaki 600/2019. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190600#Pidp445860016> Luettu 30.8.2019 2019.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2010. Laki kasvinjalostajanoikeudesta 1279/2009. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2009/20091279> Luettu 5.11.2019.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2004. Maa- ja metsätalousministeriön asetus kasvilajien lajikeluettelosta 51/2004. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/41649/14006fi.pdf> Luettu 20.4.2019.
- Mabberley DJ. (1987). The plant-book : a portable dictionary of the higher plants utilising Cronquist's An integrated system of classification of flowering plants (1981) and current botanical literature arranged largely on the principles of editions 1-6 (1896/97-1931) of Willis's A dictionary of the flowering plants and ferns (Cambridge: Cambridge University Press).
- Mäkinen H, Kaseva J, Virkajärvi P, Kahiluoto H. 2018. Gaps in the capacity of modern forage crops to adapt to the changing climate in northern Europe. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 23, 81-100.
- Mäkinen H, Kaseva J, Virkajärvi P, Kahiluoto H. 2015. Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Res.* 183, 23-30.
- Marasinghe MG & Koehler KJ. (2018). Statistical data analysis using SAS: intermediate statistical methods (Cham, Switzerland: Springer).
- Molau U, Nordenhall U, Eriksen B. 2005. Onset of flowering and climate variability in an alpine landscape: A 10-year study from Swedish Lapland. *Am. J. Bot.* 92, 422-431.
- Moore K & Moser L. 1995. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Sci.* 35, 37-43.
- Mossberg B & Stenberg L. (2003). Suuri Pohjolan Kasvio (Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi).
- Peltonen S, Puurunen T, Harmoinen T. (2010). Nurmirehujen tuotanto ja käyttö (Vantaa: ProAgria keskusten liitto).

- Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Hakala K, Ojanen H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agr. Food Sci.* 18, 171-190.
- Piirainen M, Piirainen P, Vainio H, Nieminen M. (1999). *Kotimaan luonnonkasvit* (Helsinki: WSOY).
- Pirinen P, Simola H, Aalto J, Kaukoranta J, Karlsson P, Ruuhela R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 - 2010. *Ilmatieteen Laitos*
- Ruokatieto. 2018. Tietohaarukka 2018 – Tilastotietoa elintarvikealasta. Saatavissa: [https://www.ruokatieto.fi/sites/default/files/Flash/tietohaarukka\\_2018\\_suomi.pdf](https://www.ruokatieto.fi/sites/default/files/Flash/tietohaarukka_2018_suomi.pdf) Luettu 9.3.2019.
- Ruosteenoja K, Räisänen J, Venäläinen A, Kämäräinen M, Pirinen P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra* 128, 3-15.
- Saikkonen K, Taulavuori K, Hyvönen T, Gundel PE, Hamilton CE, Vänninen I, Nissinen A, Helander M. 2012. Climate change-driven species' range shifts filtered by photoperiodism. *Nat. Clim. Chang.* 2, 239-242.
- Tirri R, Lehtonen J, Lemmetyinen R, Pihakaski S, Portin P. (2001). *Biologian sanakirja* (Helsinki: Otava).
- UPOV. 2002. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.), tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *International Union for the Protection of New Varieties of Plants*

## 7. Liitteet

LIITE 1: Ote Eviran ohjeesta 13568/3 Ristipölytteisten lajien laboratoriossa mitattavat ominaisuudet. (Evira Siementarkastusyksikkö 2016)

### LIITE 2: NURMINATA (*Festuca pratensis*) ja RUOKONATA (*F. arundinacea*)

#### A. Varsi:

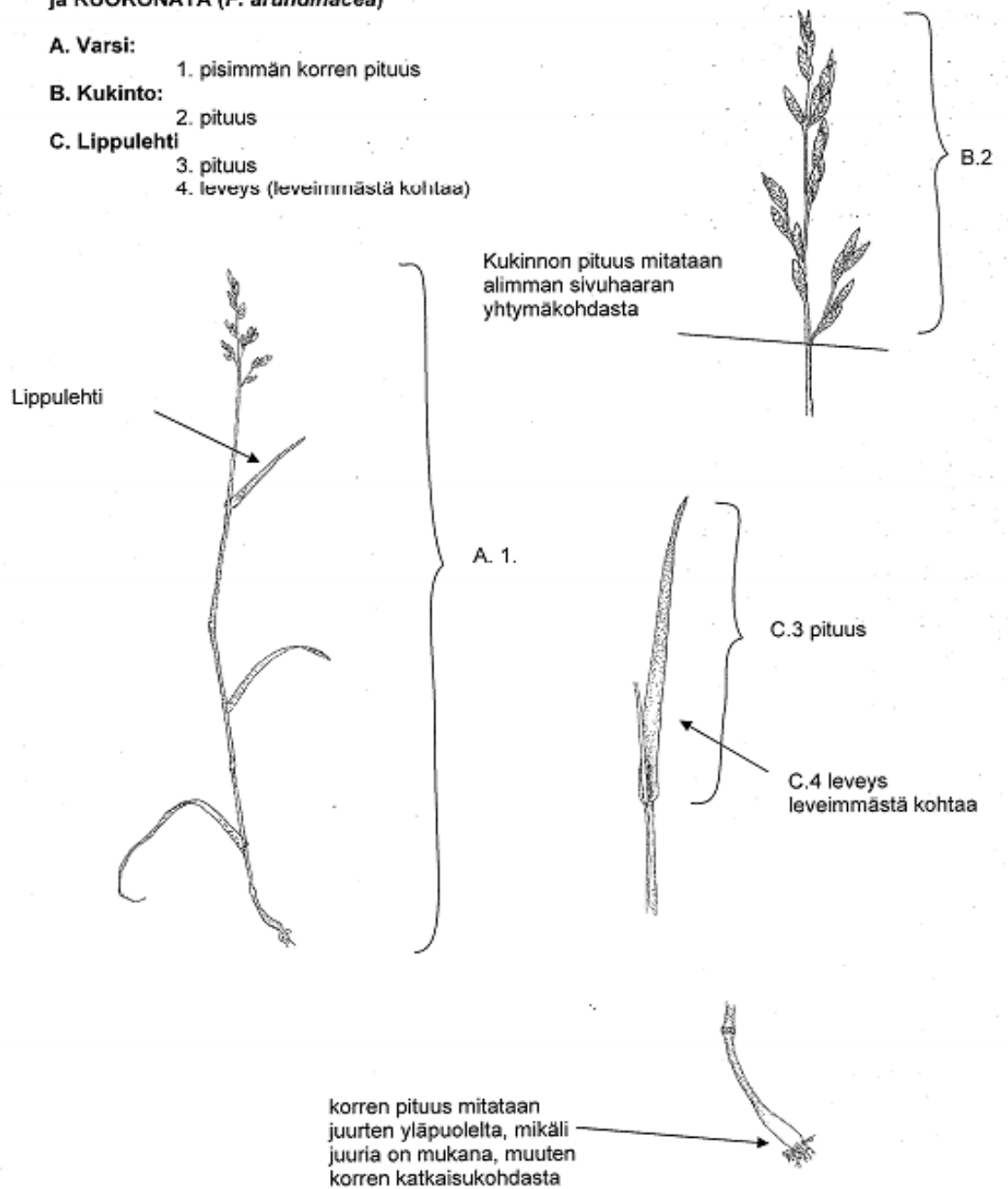
1. pisimmän korren pituus

#### B. Kukinto:

2. pituus

#### C. Lippulehti

3. pituus
4. leveys (leveimmästä kohdasta)



Tulosteen käyttäjän vastuulla on tarkistaa, että tuloste on ohjeen viimeisin versio.