

**Pro Gradu – tutkielma**

**Uhanalaisen ketokatkeron (*Gentianella campestris*)  
vasteet niittokorkeuden ja -ajan vaihteluun**

**Anu Luoto**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ekologia ja ympäristöhoito

1.6.2007

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Ekologia ja ympäristönhoito

LUOTO, A. : Uhanalaisen ketokatkeron (*Gentianella campestris*)  
vasteet niittokorkeuden ja -ajan vaihteluun

Pro Gradu – tutkielma: 35 s. +1 liites.  
Työn ohjaajat: Prof. Johanna Mappes, FL Veli Saari  
Tarkastajat: Prof. Johanna Mappes, FT Elisa Vallius  
Kesäkuu 2007

---

Hakusanat: Gentianaceae, herbivoria, ketokatkeron, kompensatio, niitto, perinnebiotoopit, uhanalainen

### TIIVISTELMÄ

Perinnebiotoopit ovat vähentyneet merkittävästi maatalouden tuotantotavoissa tapahtuneiden muutosten vuoksi ja monet niittyjen eliölajit ovat tulleet uhanalaisiksi. Uhanalainen ketokatkeron (*Gentianella campestris*) on yksi vähentyneistä putkilokasvilajeista, jotka ovat kärsineet niiton ja laidunnuksen päättymisestä. Ketokatkeron on sopeutunut niiton tai laidunnuksen aiheuttamaan biomassan menetykseen korvaamalla eli kompensoimalla niiton aiheuttaman vaurion. Tietyissä olosuhteissa ketokatkeron kykenee myös ylikompensoimaan, jolloin vaurioituneen kasvin lisääntymismenestys on vaurioitumatonta parempi. Kompensaatiokyvyn on myös todettu liittyvän tiettyyn vaurioajankohtaan ja lisäksi sen on havaittu riippuvan katkeropopulaation maantieteellisestä sijainnista. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhden Keski-Suomen ketokatkeropopulaation kompensatiokyky sekä niittokorkeuden ja -ajan vaihtelun vaikutus kasvuun ja lisääntymismenestykseen. Tutkimuskasvit jaettiin seitsemään ryhmään; käsittelyryhmiin, joissa versosta leikattiin 10 % tai 50 % kolmena ajankohtana 2., 15. ja 29. heinäkuuta 2005 sekä kontrolliryhmään, jota ei käsitelty millään tavoin. Kasveista mitattiin verson pituus, nivelten ja haarojen määrät, kokonaisbiomassa sekä kotien ja siementen määrät. Sekä käsittelytaso että -aika vaikuttivat ketokatkeron kasvuun ja lisääntymismenestykseen. Kasvit eivät hyötäneet leikkauksesta vaikkakin ne kestivät sitä melko hyvin lukuun ottamatta 50 % käsittelyryhmää 15.7. Tutkitussa ketokatkeropopulaatiossa ei havaittu ylikompensaatiota, mutta joidenkin ominaisuuksien, esim. kotatuotannon, suhteen käsittelykasvit kompensoivat. Alikompensaatiota esiintyi etenkin vegetatiivisia ominaisuuksissa mm. verson pituudessa sekä 50 % käsittelytasolla myöhäisemmissä käsittelyissä. Saatujen tulosten perusteella ketokatkeron näyttää sietävän niittoa hyvin, mutta ei ainakaan suoraan hyödy siitä niin, että lisääntymismenestys merkittävästi paranisi. Niiton tuottamat hyödyt ovat todennäköisesti epäsuoria mm. kilpailun ja varjostuksen vähenemistä. Kuiva heinäkuun alku on saattanut heikentää tutkimuspopulaation kompensatiokykyä. Heinäkuun alkupuolella tehtävä niitto näyttää soveltuvan ketokatkerolle parhaiten, sillä lajin kukinta sijoittuu juuri perinteisen heinä-elokuun vaihteen niittoaikaan. Niitto hoitotoimenä tulisi tehdä ennen heinäkuun puoltaväliä, jolloin niittokorkeuden merkitys on vähäisempi kuin myöhemmin. Tulokset osoittavat myös, että ketokatkeron suojelua suunniteltaessa tulee ottaa huomioon populaatioiden maantieteelliset ja paikalliset erot.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science  
Department of Ecological and Environmental Science

LUOTO, A.: Responses to variation of mowing height and time an endangered field gentiana (*Gentianella campestris*)

Master of Science Thesis: 35 pages + 1 supplement page  
Supervisors: Prof. Johanna Mappes, PhLic Veli Saari  
Inspectors Prof. Johanna Mappes, PhD Elisa Vallius  
June 2007

---

Key Words: compensation, endangered, field gentiana, Gentianaceae, herbivory, mowing, traditional rural biotopes,

### ABSTRACT

Lost of rural biotopes, such as meadows, due to the changes in agriculture has caused many species becoming endangered. One example of endangered vascular plants is a field gentiana (*Gentianella campestris*). Previous studies have shown that field gentiana is adapted to loss of biomass caused by mowing or grazing and it has capacity to compensate or even overcompensate its growth and reproduction after biomass loss. Compensation capacity is related to certain timing of mowing and geographical location of population. The aim of this study was examine how one population of field gentiana in Central Finland response to simulated mowing and how different intensities and timing of mowing affects the vegetative and reproduction traits of field gentiana. I was particularly interested in to find out if plant population has compensatory capacity for mowing. Plants were divided to seven groups. Plants were clipped 10 % or 50 % in 2nd, 15th or 29th of July 2005. Control group was not manipulated. I measured length of shoot, amount of nodes and branches, total biomass and amount of capsules and seeds. Both clipping intensity and timing of clipping affected vegetative and reproduction of field gentiana. Plants did not benefit although they tolerated it relatively well despite plants in 29.7. 50 % clipping group. Thus, contrary to the previous findings in other field gentiana populations, there were no overcompensation, but I found compensation in traits to be important in reproduction. Plants undercompensated particularly in vegetative traits and in late manipulation group in 50 % level. It seems that field gentiana is tolerant to mowing, but it doesn't benefit it in terms better reproductive success. However, it is probable that field gentiana benefits mowing indirectly due to reduced competition and shading of competitors. It is also possible that dry growing conditions begin of July 2005 lowered compensation capacity of the study population. My results show that if field gentiana populations are mowed, it is important to do it before the middle of July in Central Finland when mowing have less effect its reproductive success. My results also show that for successful conservation, it is important to take account geographical and local differences of field gentiana populations.

# Sisältö

<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
1.1. Kasvien kompensatiokyky .....	5
1.2. Tutkimuksen tarkoitus .....	7
<b>2. KETOKATKERO (<i>GENTIANELLA CAMPESTRIS</i> (L.) BÖNER)</b> .....	<b>8</b>
<b>3. AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>11</b>
3.1. Tutkimusalue ja säätiedot .....	11
3.2. Tutkimuksen toteutus .....	13
3.3. Tilastolliset menetelmät .....	15
<b>4. TULOKSET</b> .....	<b>15</b>
4.1. Pohja- ja kenttäkerroksen peittävyys sekä seuralaislajisto .....	15
4.2. Versojen ominaisuudet kokeen alkaessa 1.7.2005 .....	16
4.4. Versojen pituus, pituuskasvu ja kuivapaino kokeen päättyessä .....	18
4.5. Nivelten ja haarojen määrät kokeen päättyessä .....	21
4.6. Kodat ja siemenet .....	24
4.8. Kokeen aikana tuhoutuneet versot .....	26
4.9. Tietoja Joutsan ketokatkeropopulaatiosta vuonna 2004 .....	27
<b>5. TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>27</b>
5.1. Säätilan sekä kasvupaikan vaikutukset .....	27
5.2. Pohja- ja kenttäkerroksen peittävydet sekä seuralaislajisto .....	28
5.3. Niittokorkeuden ja -ajan vaikutukset ketokatkeroiden kasvuun ja lisääntymismenestykseen .....	29
5.5. Johtopäätökset .....	31
<b>KIITOKSET</b> .....	<b>33</b>
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	<b>34</b>

## 1. JOHDANTO

Perinnebiotoopit ovat yksi runsaslajisimmista elinympäristöistä ja suurimmat kasvilajimäärät neliömetrin alalta on monissa maissa raportoitu juuri niityiltä. Nämä runsaslajiset elinympäristöt sekä niiden eliölajit ovat taantuneet merkittävästi viime vuosikymmenien aikana maatalouden muutosten seurauksena (Pykälä 2001). Perinnebiotooppien ylläpito erilaisten hoitotoimien avulla on välttämätöntä, jotta niittyjen runsas eläin- ja kasvilajisto säilyisi (Salminen & Kekäläinen 2000). Lisäksi kaikista uhanalaisista lajeista lähes kolmannes elää kulttuuriympäristöissä lähinnä perinnebiotoopeilla (Rassi ym. 2001). Perinnebiotooppien ohella vastaavia avoimia luontotyyppisiä syntyy myös luontaisesti paikoille, joilla puuston ja muun korkean kasvillisuuden kehittyminen estyy esimerkiksi kuivuuden tai märkyuden takia.

Kasvien kannalta perinnebiotoopit ovat haasteellisia kasvuympäristöjä. Säännöllisesti toistuvat häiriöt vähentävät kilpailua mutta toisaalta niitto ja laidunnus voivat vaurioittaa kasvien versoja ja heikentää niiden menestymistä. Monilla niittyjen kasveilla on ominaisuuksia, joiden avulla ne voivat selvitä säännöllisesti toistuvasta biomassan menetyksestä. Nämä ominaisuudet ovat voineet syntyä jo ennen ihmisen vaikutusta vasteena luonnonvaraisten laiduntajien tai muiden toistuvien häiriötekijöiden vaikutuksille. Nämä ominaisuudet ovat säilyneet perinnebiotoopeilla, minkä lisäksi pitkään niitetyillä ja laidunnetuilla alueilla kasveille on kehittynyt uusia keinoja vähentää näistä häiriöistä aiheutuvaa kelpoisuuden heikkenemistä (mm. Pykälä 2000, Vainio ym. 2001).

### 1.1. Kasvien kompensatiokyky

Kasveja syöville tai muuten vahingoittavilla eliöryhmillä on vaikutuksia kasvin eri osien kasvuun, kasvin muotoon, kasvin selviytymiseen, kukintaan ja siementen kypsymiseen ja leviämiseen (Begon ym. 1996: 322). Herbivorian vaikutukset riippuvat ajoituksesta (fenologia), sijoittumisesta (mikä solukko on vaurioitunut), intensiteetistä (kuinka paljon biomassasta on syöty tai poistettu) ja taajuudesta (kuinka usein vaurio tapahtuu) (Crawley 1997: 401). Kasveilla voi olla näkyviä puolustusrakenteita kuten karvoja, piikkejä ja okia tai niiden pinta voi olla tahmean vahan peitossa (Crawley 1997: 128 - 129). Näiden ominaisuuksien avulla kasvit pyrkivät välttämään kokonaan tai vähentämään herbivoriasta aiheutuvaa biomassan menetystä ja niitä voidaan kutsua resistenssiksi eli vastustuskyvyksi. Toinen keino selviytyä herbivoriasta on sietokyky eli toleranssi tai kompensatio, jonka seurauksena kasvit kykenevät ylläpitämään kelpoisuutensa herbivorian aiheuttamasta vauriosta huolimatta (Strauss & Agrawal 1999).

Kasvit voivat kompensoida herbivorian vaikutuksia eri tavoilla. Lehtien poisto vaikuttaa jäljelle jääneiden lehtien yhteyttämistehoon vähentämällä niihin kohdistuvaa varjostusta. Tällöin kuluttava lehtipinta-ala vähenee ja vastaavasti tehokkaasti yhteyttävä ala pysyy samana, mikä parantaa kasvin tuottavuutta kokonaisuutena. Kasvit pyrkivät kompensoimaan myös ottamalla käyttöön eri solukoihin ja elimiin tallennettuja varastoja. Vaurioiden kohdistuminen kasvin eri osiin vaikuttaa yhteyttämistuotteiden jakautumiseen. Esimerkiksi versojen vaurioituminen voi johtaa juuribiomassan pienenemiseen, kun kuolleita juuria ei korvata uusilla yhteyttämistuotteiden ohjautuessa uusien versojen kasvattamiseen. Kasveilla havaitaan myös uudelleen kasvua, kun lepotilassa olleet silmut lähtevät kehittymään (Crawley 1997: 438 -439).

Kasveilla on siis erilaisia mahdollisuuksia korvata kasvinsyönnin aiheuttamat vauriot. Täydellinen kompensatio on kuitenkin harvinaista ja useimmiten kasvinsyöjistä on haittaa kasville, vaikka kompensatiomekanismit voivat vähentää vahingollisia vaikutuksia (McNaughton 1983, Begon ym. 1996: 315 -317). On kuitenkin havaittu, että

kasvit pystyvät kompensoimaan tasoltaan keskinkertaiset vauriot. Samoin on todettu, että kasvin vaurioituminen kohtuullisessa määrin kasvattaa tietyissä tilanteissa primäärituotannon suuremmaksi, kuin mitä se olisi ilman vauriota. Kasvien kompensatiokyvyn kelpoisuutta parantavista vaikutuksista on esitetty väitteitä sekä puolesta että vastaan. Ylikompensaatiota on pidetty todisteena siitä, että kasvit voisivat hyötyä herbivoriasta (Paige & Whitham 1987). Toisaalta on esitetty, ettei ylikompensaatio ole kasvien sopeutuma ainoastaan herbivoriaan, koska kasvit voivat vahingoittua myös monilla muilla tavoilla (Belsky 1986, Crawley 1997: 443).

Useissa tutkimuksissa on osoitettu eri kasvilajien ylikompensoivan etenkin vegetatiivisen kasvun osalta. Melko yleiseksi ylikompensaatio on osoittautunut heinäkasveilla (mm. McNaughton 1983, Wegener & Odasz 1997) sekä kerran kukkivilla lajeilla (mm. Paige 1999, Lennartsson ym. 1997). Ylikompensaatiota on tutkimuksissa havaittu myös siementuotannon osalta, mutta se on harvinaisempaa kuin kasvullisten ominaisuuksien kompensoiminen ja sitä on tavattu etenkin kerran kukkivilla lajeilla muun muassa ketokatkerolla (Paige 1999, Lennartsson ym. 1998, Huhta ym. 2000).

Kasvien kompensatiokasvun yhtenä edellytyksenä ovat lepotilassa olevat kasvusolukot, joista uudelleenkasvu voi alkaa. Huhta ym. (2000) esittävät, että apikaalidominanssilla olisi merkittävä rooli esimerkiksi ketokatkeron (*Gentiana campestris*) kompensatiokyvyssä. Apikaalidominanssi on kehittynyt estämään lepotilassa olevien solukoiden kasvun ennen mahdollisen vaurion tapahtumista. Vaurion jälkeen kärkisilmun ylivalta päättyy ja lepotilassa olleet silmut verson tyvellä voivat lähteä kasvuun. Yleisesti kärjen ylivalan uskotaan kehittyneen ensisijaisesti sopeutumana valokilpailuun.

Aiemmin on esitetty, että kasvit voivat ylikompensoida alhaisilla vauriotasoilla ja että sietokyky laskee vaurion ylitettyä tietyn tason (McNaughton 1983). Ketokatkeron kohdalla leposilmujen kasvuun lähtö näyttää riippuvan vaurioasteesta ja kasvusolukoiden sijainnista pääversossa. Alhaisempi vauriotaso aiheuttaa haarojen muodostumista vain ylempiin niveliin, kun taas keskitasoinen vaurio aiheuttaa haarojen kasvua tyvisolukoista. On todennäköistä, että kärkisilmun lisäksi myös muut ylempänä sijaitsevat silmut vaikuttavat alempien solukoiden kehitykseen. Keskitasoinen vaurio voikin olla lähellä optimia, jossa jäljelle jää riittävästi solukoita ja resursseja uudelleen kasvuun, mutta toisaalta se on riittävä poistamaan ylempien silmujen dominanssin. Sietokykyisillä kasveilla apikaalidominanssi on voinut kehittyä kahden yhtäaikaisen valintapaineen seurauksena, joista ensisijainen on kuitenkin valokilpailu (Huhta ym. 2000).

Ketokatkerolla tehdyissä tutkimuksissa havaittiin ylikompensaation liittyvän populaatioiden aiempaan hoitohistoriaan sekä kausirotuihin (Lennartsson ym. 1997). Ylikompensoineet populaatiot olivat laidunnetuilta ja/tai niitetyiltä alueilta ja ne kuuluivat myöhään kukkivaan kausirotuun. Aikaisin kukkivat populaatiot kompensoivat heikosti kasvupaikan hoitotasosta riippumatta ja kasvien kotatuotanto näissä populaatioissa väheni kontrollikasveihin verrattuna. Havaittu vaihtelu kompensatiokyvyssä johtui todennäköisesti uudelleenkasvuun käytettävissä olevien resurssien määrän erilaisuudesta aikaisin ja myöhään kukkivilla yksilöillä. Kompensatiokyvyn puuttumista aikaisin kukkivilta kasveilta voi selittää se, että tähän ominaisuuteen kohdistuva valinta on heikompaa. Aikaisin kukkivilla kasveilla on paremmat mahdollisuudet kukkia ennen vauriota eli niittoa. Lisäksi aikaisin kukkivat yksilöt altistuvat myös laidunnukselle lyhyemmän ajan ennen siementämistä kuin myöhään kukkivat. Laskennallisten tulosten perusteella Lennartsson ym. (1997) esittävätkin, että valinta suosii ylikompensaation kehittymistä, kun yli 20 % aikuisista kasveista altistuu vauriolle jokaisena kasvukautena. Laidunnetuilla alueilla myöhään kukkivien ketokatkeroiden vaurioitumisriski on 15 - 34 % ja niitetyillä alueilla se voi olla jopa yli 80 %. Niitto on ollut perinteisen karjatalouden aikana pääasiallinen hoitokeino ja siksi on todennäköistä, että myöhään kukkivien

ketokatkeroiden ylikompensaatio on kehittynyt suuren vaurioitumisriskin seurauksena. Tämän seurauksena ylikompensaatio-kykyä voidaan pitää sopeutumana, joka liittyy elinympäristöön, jossa vaurioriski on korkea ja ennustettava.

Lennartsson ym. (1998) selvittivät myös, onko simuloidun herbivorian ajankohdalla merkitystä ylikompensaation esiintymiseen kertokatkerolla. Tutkimuksessa selvisi, että siementuotannon ylikompensaatiota esiintyi ainoastaan, jos versovaurio tapahtui tietyn ajanjakson kuluessa. Tätä ajanjaksoa kutsutaan induktiiviseksi ajanjaksoksi (inductive time period, ITP). Induktiivisen ajanjakson pituus määräytyy kasvin fenologisen tilan ja resurssien saatavuuden perusteella. ITP:n alkukohta määräytyy uudelleenkasvuun käytävissä olevien resurssien perusteella ja päättymiseen vaikuttaa pääasiassa erilais-  
tumattomien kasvusolukoiden määrä. Uusien versojen kasvua lähellä kukinta-aikaa voi rajoittaa myös resurssien allokointi vegetatiivisen kasvun sijasta lisääntymistoimintoihin. Induktiivinen ajanjakso voi olla selitys ylikompensaation rajoitetulle esiintymiselle luonnossa. Mikä tahansa muuntelu, joka sallii ajanjakson pidentymisen voi olla sopeutumisen kannalta merkittävä. ITP:n alkukohta liittyy kasvukauden alkuajankohtaan. ITP:n päättymiskohta on todennäköisesti erityisen kriittinen, koska ylikompensaatio on yhteydessä myöhäiseen kukinta-aikaan. Tämän seurauksena kasvukausi päättyy kesken ja ylikompensaatiosta saatava hyöty voidaan menettää, koska kukinnan myöhästyminen lyhentää siementen kypsymiseen käytössä olevaa aikaa ennen syksyn pakkasia. Vahingoittuneet kasvit tarvitsevat siis pidemmän kasvukauden. Kasvukauden pituus on erityisen merkittävä, jos kasvukaudelle sattuu esim. kuivuusjakso, sillä kuivuuden on todettu siirtävän kukinnan alkua. Tämän perustella ylikompensaation esiintymistä alueilla, joissa kasvukauden pituus on lyhyt (pohjoisessa tai vuoristossa) voidaan pitää epätodennäköisenä. Induktiivisen ajanjakson kehittyminen ja siihen liittyvä ylikompensaatio edellyttävät myös, että vaurioitumisen tulee tapahtua ennustettavasti. Skandinaviassa niitto ja laidunnus ovat usein sijoittuneet ITP:n ajalle heinäkuussa, mikä on epäilyksettä ollut hyväksi laitumilla ja niityillä kasvaville ketokatkeroilta.

## 1.2. Tutkimuksen tarkoitus

Ketokatkeron on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi lajiksi (Rassi ym. 2000), jonka säilyminen riippuu avointen elinympäristöjen, kuten niittyjen säilymisestä. Maataloudessa tapahtuneiden muutosten myötä ketokatkerolle sopivat kasvupaikat ovat vähentyneet tai kasvuolosuhteet huonontuneet mm. umpeenkasvun seurauksena. Ketokatkerolta on löydetty niittoon ja laidunnukseen liittyviä sopeutumia kuten kompensaatiokyky sekä kukinta-ajan suhteen eriytyneet rodut (Lennartsson 1997).

Eniten ketokatkerotutkimuksia on tehty Ruotsissa, jossa on selvitetty ketokatkeron ylikompensaatiokykyä erilaisilla koeasetelmilla (mm. Lennartsson 1997). Ruotsin tutkimusalueet sijoittuvat kuitenkin maantieteellisesti etelämmäs kuin Keski-Suomen ketokatkeroiden kasvupaikat ja toisaalta Suomessa aiemmin tehdyt tutkimukset selvästi pohjoisemmaksi. Näissä tutkimuksissa on havaittu, että ketokatkeron vasteissa simuloituun herbivoriaan tai niittoon on maantieteellistä vaihtelua (Huhta ym. 2000).

Suunniteltaessa ketokatkeron populaatioiden hoitoa Keski-Suomessa tarvitaan paikallisempaa tietoa ketokatkeroiden vasteista niittokäsittelyyn. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, esiintyykö ketokatkerolla Keski-Suomen olosuhteissa ylikompensaatiota tai kompensaatiota yhden tai useamman ominaisuuden osalta. Lisäksi selvitetään käsittely-tason (niittokorkeus) sekä käsittelyajankohdan (niiton ajoitus) merkitystä ketokatkeron lisääntymismenestyksen kannalta. Tutkimuksesta saatuja tuloksia käytetään yhdessä aiempien tutkimusten ja seurantatietojen kanssa ketokatkeroesiintymien hoidon suunnitteluun Keski-Suomessa. Saatujen tulosten avulla voidaan myös ohjeistaa Joutsan populaation kasvupaikan hoidosta vastaavia tiehallinnon työntekijöitä sopivasta niittoajankohdasta.

## 2. KETOKATKERO (*GENTIANELLA CAMPESTRIS* (L.) BÖNER)

Ketokatkeron kuuluu katkerokasvien (*Gentianaceae*) heimoon ja ketokatkeroiden (*Gentianella*) sukuun. Katkerokasvien heimoon kuuluvat Suomessa myös rantasapet (*Centarium*) ja katkerot (*Gentiana*). Ketokatkeron lisäksi samaan sukuun kuuluvia lajeja on neljä, joista horkkakatkeron (*G. amarella*) on kaksivuotinen ja hentokatkeron (*G. tenella*), rantakatkeron (*G. uliginosa*) ja kehtokatkeron (*G. aurea*) yksivuotisia (Hämet-Ahti ym. 1998, Mossberg & Stenberg 2005). Keto- ja horkkakatkeron on jaettu kahteen kausirotuun syys- ja kesäketokatkeron ja syys- ja kesähorkkakatkeron. Molempien lajien kohdalla kausirotuun taksonomista statusta on vaihdeltu: välillä kausirodut ovat olleet alalajeja (Hämet-Ahti ym. 1986) tai muunnoksia (Mossberg & Stenberg 2005, Hämet-Ahti ym. 1998). Ketokatkeron osalta taksonomiaa sekoittaa vielä merikatkeron, joka on aiemmin katsottu ketokatkeron alalajiksi, mutta myöhemmin saanut itsenäisen lajin aseman. Suomessa syysketokatkeron näyttäisi olevan vallitseva Manner-Suomessa ja kesäketokatkeron Ahvenanmaalla (Ryttäri 1997). Kesä- ja syysketokatkerot eroavat toisistaan kukinta-ajaltaan sekä morfologisilta ominaisuuksiltaan, lähinnä varren nivelten lukumäärän ja pituuden osalta (mm. Hämet-Ahti 1998).

Ketokatkeron on ehdottoman kaksivuotinen keuhällä itävä kasvi, joka kasvattaa lehtiruusukkeita itämistä seuraavana kesänä, talvehtii lehtiruusukkeena tai silmunä (puolipiilijä) ja kukkii sekä siementää toisena kasvukautena, minkä jälkeen kasvi kuolee. (Syrjänen & Ryttäri 1998). Ketokatkeron lisääntyy ainoastaan siemenistä eikä kasvullista lisääntymistä ole havaittu. Siemenet tarvitsevat kylmäkasittelyn itääkseen. Siemenet itävät useimmiten ensimmäisenä keväänä vaikka olisivat taimien kehityksen kannalta liian syvällä maan sisällä. Tämä voi olla syynä pidempiaikaisen siemenpankin puuttumiseen ketokatkerolta. (Millberg 1994). Luonnonpopulaatioista on kuitenkin havaintoja joidenkin vuosien pituisesta siemenpankista (Välivaara & Saari 1994).

Ketokatkeron on kooltaan melko pieni, noin 10 - 30 cm korkuinen ja varrelta pystyhaarainen. Pienimmät kukkivat yksilöt ovat olleet vain sentin korkuisia (Nummela-Salo & Salo 1995). Kukkavarsi voi olla haaraton tai monihaara (kuva 1). Aluslehdet ovat yleensä tylppiä ja ylimmät lehdet suippoja. Kukan teriö on neliliuskainen ja väljänieluis, väriltään sinivioletti. Verhiö on neliliuskainen ja liuskat pareittain erikokoisia. (Hämet-Ahti ym. 1986). Kukat aukeavat ylhäältä alaspäin sekä päähaarassa että sivuhaaroissa (Nummela-Salo & Salo 1995). Itsepölytys on hyvin yleistä, mutta kukat voivat myös ristipölytyä. Itsepölytys ei näytä alentavan merkittävästi siementuotantoa. (Lennartsson ym. 2000). Kotahedelmien kypsymiseen kuluu 2-7 viikkoa kausirodusta riippuen (Lennartsson ym. 1997). Siementen määrä kodissa vaihtelee, keskimäärin siemeniä on 40 -50/kota (Lennartsson 1997; Välivaara & Saari 1994). Norjalaisessa tutkimuksessa (Eriksen ym 2002) on ketokatkerolta löydetty sienijuuri (arbuscular mycorrhiza).

Ketokatkeron kasvupaikkoja ovat kuivat tai tuoreet niityt sekä laitumet, joilla laidunnus pitää kasvillisuuden matalana. Laidunnus myös rikkoo maanpintaa ja luo ketokatkeron siemenille sopivia itämisalustoja sekä kasvutilaa taimille. Paikoin ketokatkeron on levinnyt muille avoimille ja kulutuksen alaisille paikoille kuten polkujen varsille, sähkölinjojen alle ja tienpientareille. Ketokatkeron ei selviydy korkeassa ja tiheässä kasvillisuudessa ja sitä pidetäänkin hyvänä pitkän ja keskeytymättömän laidunnuksen ilmentäjäksi (mm. Nummela-Salo & Salo 1995, Ryttäri 1997).

Ketokatkeron kasvaa Pohjois- ja Luoteis-Euroopassa sekä Keski- ja Etelä-Euroopan vuoristoalueilla. Suomessa ketokatkeron esiintymisalue on painottunut länteen ja lounaaseen. Ketokatkeron pidetään pääosin muinaistulokkaana, mutta joillakin kasvupaikoilla Etelä-Suomessa sekä Keminmaalla ja Torniossa sen oletetaan olevan alkuperäinen. Kasvusta on tietoja useilta sadoilta kasvupaikoilta ja se on ollut paikoin melko



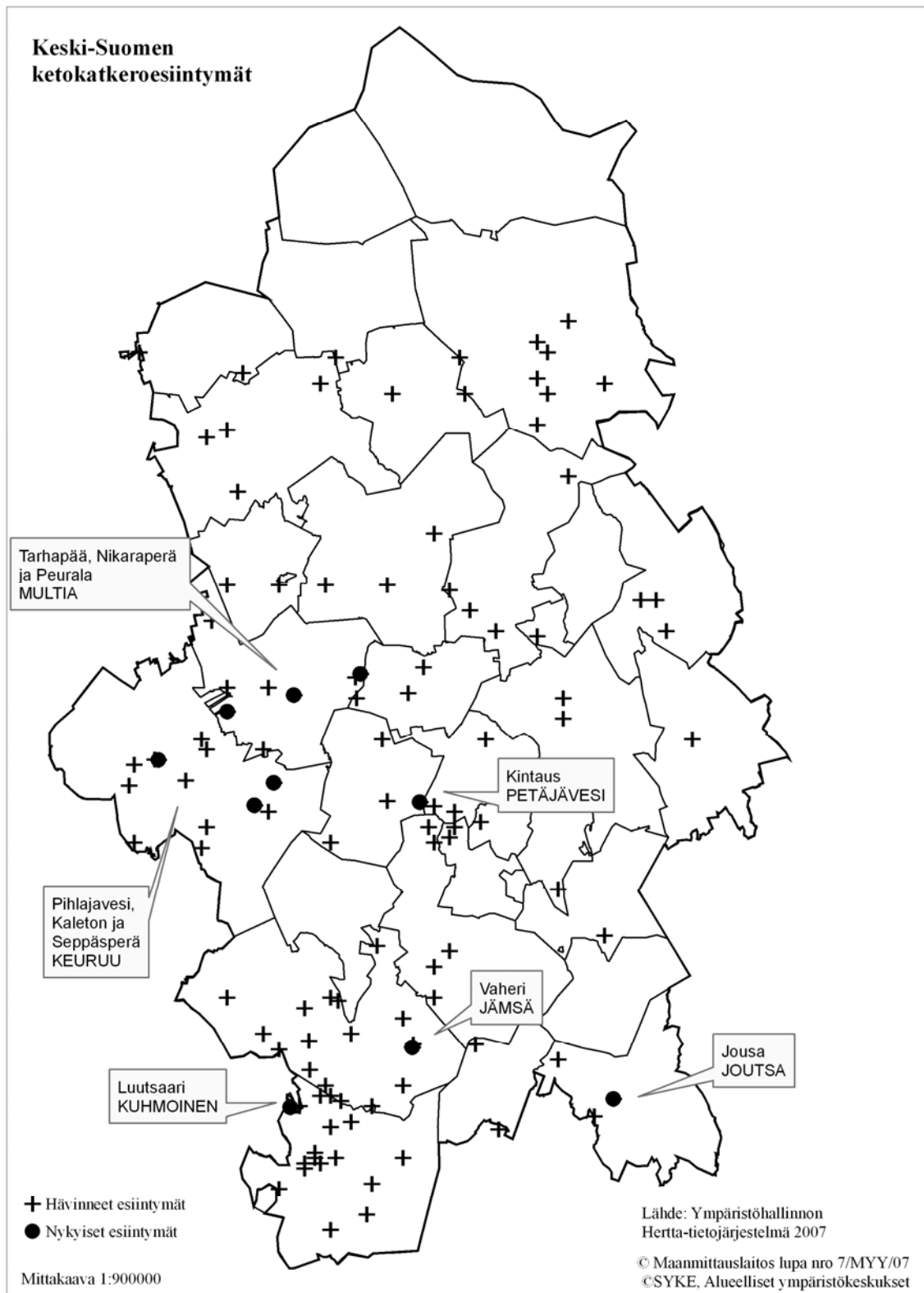
yleinen. Nykyisin ketokatkeron kasvupaikkoja tunnetaan kuutisenkymmentä, joista parikymmentä on Keminmaan - Tornion alueella ja loput hajallaan eteläisessä Suomessa. (Ryttäri 1997). Ketokatkeron on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi (EN) lajiksi koko maassa. Sen uhanalaisuuden tärkein syy on perinteisen karjatalouden päättyminen, mikä on johtanut avoimien kasvupaikkojen sulkeutumiseen. (Rassi ym. 2001, Rautiainen ym. 2002). Lisäksi se on luonnonsuojeluasetuksella (N:o 160/197) määritelty erityisesti suojeltavaksi lajiksi.

Keski-Suomessa ketokatkerosiintymätietoja on 150 kasvupaikalta ja 1990-luvun alkupuolella esiintymiä kartoitettiin tarkemmin, jolloin ketokatkeron löydettiin kahdeksalta kasvupaikalta (kuva 2). Samassa tutkimuksessa selvitettiin ketokatkeron populaatioiden morfologisia piirteitä. (Välivaara & Saari 1994). Myös Piippo (1999) tutki ketokatkeron morfologisia piirteitä ja lisääntymismenestystä pro gradu -tutkielmassaan. Ketokatkerosiintymiä on seurattu vuodesta 1990 lähtien vuosittain laskemalla kukkivien yksilöiden määrät (kuva 3). Seurantatiedot on kerätty Keski-Suomen ympäristökeskukseen, joka on vastannut seurannoista ja hoitotoimista.

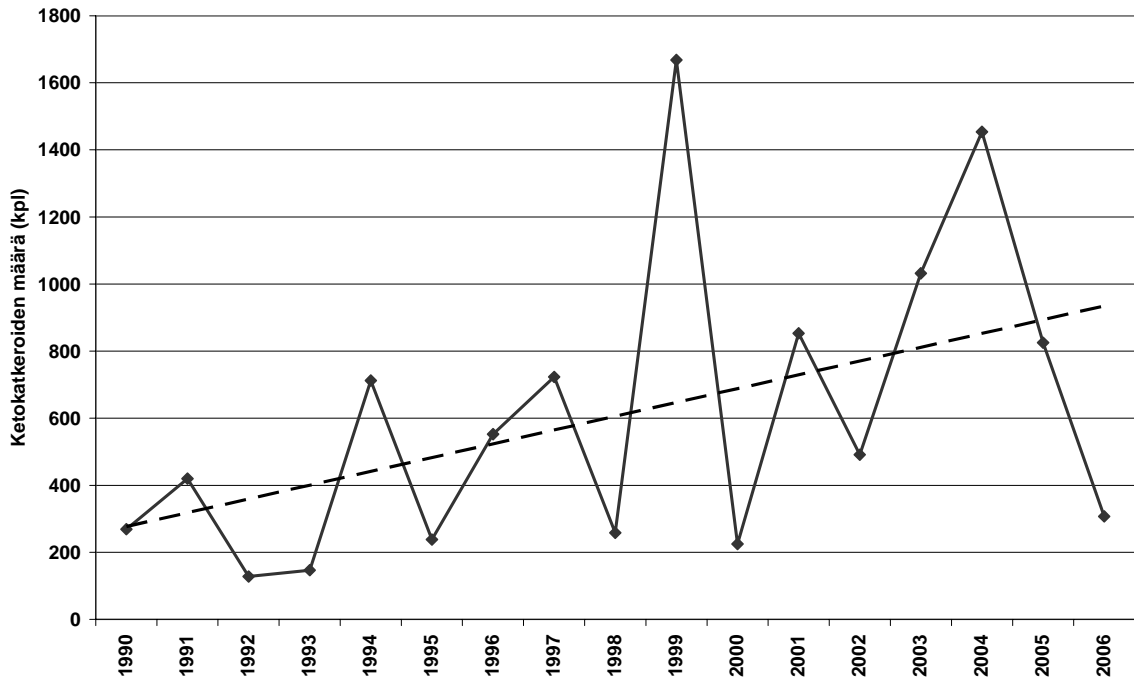
Keski-Suomessa ketokatkerosiintymien hoitoa on suunniteltu viime vuosina (Uusitalo 2002). Hoitosuositukset on tehty kullekin esiintymälle erikseen, koska kasvupaikat ovat kasvillisuudeltaan ja hoitotasoltaan erilaisia. Hoitosuosituksissa on pyritty soveltamaan ruotsalaisia ketokatkerotutkimuksia, mutta niiden toimivuudesta Keski-Suomen oloissa ei ole ollut varmuutta. Keski-Suomen ketokatkerosiintymien hoidossa on käytetty useita menetelmiä: niittoa, laidunnusta, kitkentää ja maanpinnan rikkomista.



**Kuva 1** Ketokatkeron kaksi ilmiä: vasemmalla on niukkahaarainen yksilö Ilvesjärveltä ja oikealla runsashaarainen, mutta leikkaamaton yksilö Joutsasta. Molemmat kuvat ovat elokuulta 2005. (Kuvat: Anu Luoto)



**Kuva 2** Ketokatkeron nykyiset ja hävinneet kasvupaikat Keski-Suomessa (Keski-Suomen ympäristökeskus)



**Kuva 3** Keski-Suomen kukkivien ketokatkeroiden kokonaismäärät vuosina 1990 -2006. Ketokatkeroiden versot on laskettu vuosittain kaikilta Keski-Suomen tunnetuilta kasvupaikoilta. (Keski-Suomen ympäristökeskuksen aineisto)

### 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1. Tutkimusalue ja säätiedot

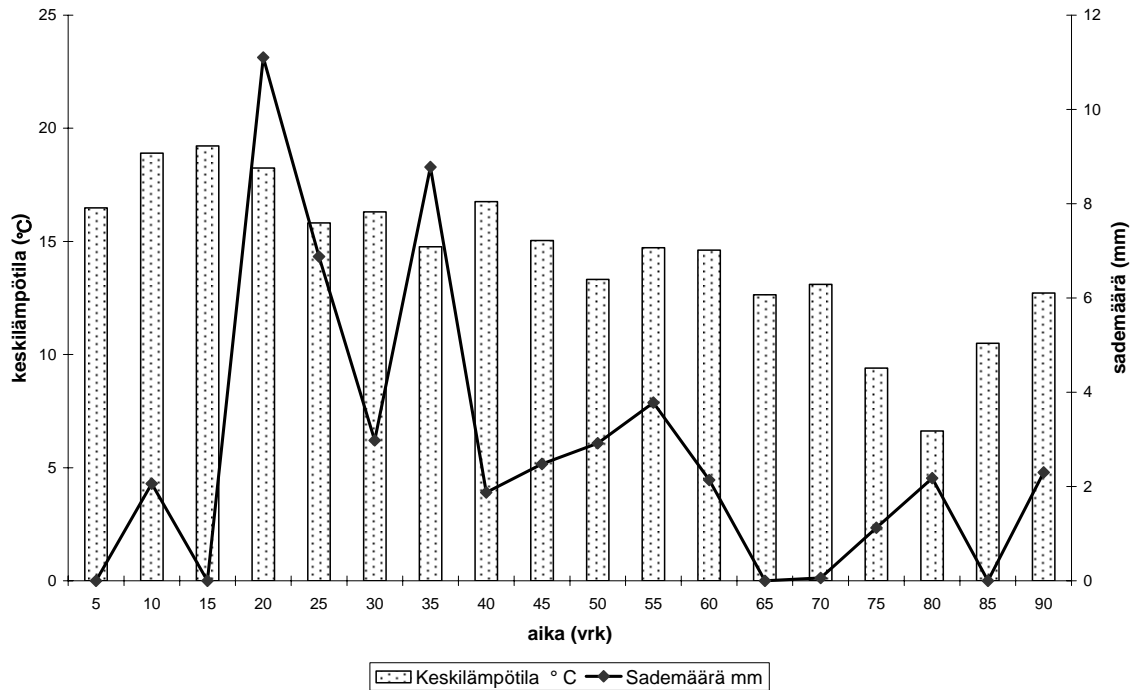
Tutkimus toteutettiin Keski-Suomen maakunnassa, Joutsan keskustan pohjoispuolella sijaitsevassa tienvarsipopulaatiossa. Joutsan populaatio on tullut Keski-Suomen ympäristökeskuksen tietoon vasta vuonna 2003 (Uusitalo, julkaisematon), jolloin paikallinen kasviharrastaja ilmoitti esiintymästä. Kyseinen ketokatkeropopulaatio on Keski-Suomen alueen suurin, vuonna 2004 populaatiossa oli 891 kukkivaa yksilöä ja tutkimusvuonna 690 yksilöä. Populaatio on ainoa Keski-Suomen tunnetuista populaatioista, jonka voidaan katsoa oleva luonteeltaan uustulokas.

Ketokatkeron kasvupaikka on Joutsasta Kangasniemelle kulkevan maantien piennar. Tie kulkee etelä-pohjoissuuntaisesti, joten pientareet ovat itään ja lähteen. Ketokatkeroina kasvaa tien molemmin puolin noin 200 metrin matkalla. Ketokatkerot kasvavat noin kolmen metrin levyisellä vyöhykkeellä tien reunasta mitattuna. Tien länsipuolella on mäntyä kasvavaa puolukkatyyppin kangasta ja puusto on täysimittaista. Itäpuolella puiden varjostus on vähäisempää, sillä itäpuolella on muuntaja-asema sekä noin 10 -15 vuoden ikäinen mäntytaimikko. Täysimittaista puustoa on tien itäpuolella vain pienellä alueella (kuva 4). Puiden varjostus ja toisaalta sen puuttuminen luovat tutkimusalueelle pienilmastollisesti erilaisia alueita, mikä ilmeni hyvin kesän 2005 kuivuuden aikana; paahteisimmilla kohdilla kasvaneet katkerot kärsivät kuivuudesta ja suuri osa niistä myös kuoli.



**Kuva 4** Ketokatkeroiden kasvupaikka Kangasniementien varressa. Molemmat kuvat on otettu etelään päin. Kuvaparissa vasemmalla on itäpuolen piennar ja oikealla länsipuolen piennar. (Kuvat: Anu Luoto)

Tutkimusajankohdan säätiedot on saatu Ilmatieteen laitokselta (Ilmatieteen laitos 2005, julkaisematon) ja niiden avulla on laskettu sekä lämpötilasta että sademäärästä viiden vuorokauden keskiarvo (kuva 5). Tutkimuksen alkuvaiheessa oli noin kahden viikon mittainen kuiva ja lämmin vaihe. Sademäärä jäi 15 vuorokauden aikana noin kahteen millimetriin ja keskilämpötila oli yli 15 astetta. Heinäkuun lopulla ja elokuun alussa sadetta saatiin runsaammin minkä jälkeen sademäärät laskivat kohti syyskuun loppua. Lämpötilat pysyttelivät melko korkealla tasolla aina syyskuun alkupuolelle saakka - keskilämpötilat olivat lähellä 15 astetta. Syyskuun puolivälissä oli lyhyt viileämpi kausi mutta kuun lopussa lämpötilat kohosivat uudelleen. Vuonna 2005 heinä-, elo- ja syyskuu olivat lämpimämpiä kuin pitkäaikaiset keskiarvot (Jyväskylä v.1900 - 2000) (Ilmatieteenlaitos 2007a). Heinäkuussa ero oli hiukan yli asteen samoin kuin syyskuussa, elokuussa eroa oli vain kaksi kymmenystä. Heinäkuun sademäärä, 115,3 mm, poikkesi huomattavasti pitkäaikaisesta keskiarvosta (79 mm, Jyväskylä v. 1971 - 2000) (Ilmatieteenlaitos 2007b). Myös elokuun sademäärä oli keskimääräistä suurempi, mutta syyskuu oli huomattavasti kuivempi. Tosin syyskuun mittaustiedoissa oli puutteita, mikä vaikuttanee tulokseen. Lisäksi on huomattava että vuoden 2005 tiedot ovat Leivonmäen mittauspisteestä eivätkä Jyväskylän Tikkakoskelta.



**Kuva 5** Heinä-syyskuun säätiiedot 2005. Kaaviossa esitetään tutkimusalueen sääolot heinäkuun alusta syyskuun loppuun viiden vuorokauden keskiarvoina. Säähavainnot ovat Leivonmäen säähavaintoasemalta. (Ilmatieteen laitos 2005)

### 3.2. Tutkimuksen toteutus

Tutkimus aloitettiin 1.7.2005, jolloin ketokatkerot merkittiin käyttäen rautalangasta väännettyä tikkua sekä pahvista numerolappua. Mukaan otettiin kaikki tuolloin havaitut ketokatkerot. Kaikkiaan merkittyjä katkeroyksilöitä oli 143 kappaletta.

Merkityt kasvit jaettiin kuuteen käsittelyryhmään sekä kontrolliryhmään. Ryhmiin jako tehtiin mahdollisimman tasaisesti ottaen huomioon kasvupaikka (etäisyys tiestä) sekä kasvin koko (verson pituus). Etäisyys tiestä mitattiin asfaltin reunasta. Tämä mitta kuvaa mm. kasvupaikan laatua, sillä lähimpänä tien reunaa ketokatkerot kasvoivat paljaalla hiekalla. Etäisyys tiestä vaikuttaa myös siihen katkeavatko versot normaalissa tiehallinnon tekemässä niitossa, mikä voi vaikuttaa sopeutumiseen ja käsittelynsietoon. Versojen pituus kokeen alkaessa mitattiin maanpinnasta varren ylimpään kohtaan eli ylimmän silmun tyvelle (kuva 6). Näiden muuttujien suhteen ryhmät eivät poikenneet toisistaan (etäisyys tiestä  $F_{(6,137)} = 0,460$ ;  $p = 0,837$  ja verson pituus  $F_{(6,137)} = 0,428$ ;  $p = 821$ ).

Ryhmiä manipuloitiin sekä varren leikkauskorkeuden (10 % ja 50 % pituudesta pois) että leikkausajankohdan (2.7., 15.7. ja 29.7.) suhteen. Käsiteltävät kasvit mitattiin ennen leikkausta, jotta voitiin laskea niiden leikkauskorkeus. Leikkauskorkeus pyöristettiin lähimpää puoleen senttiin, mikä aiheuttaa leikkausprosentteihin pientä vaihtelua; 10 %:n tasolla 7 - 17 % ja 50 %:n tasolla 48 - 59 %. Leikattu osa otettiin talteen, sen kuivapainon määrittämiseksi. Käsittely kohdistui kaikkiin leikkauskorkeuden ylittäviin kasvinosiin, myös mahdollisiin haaroihin. Koeyksilöiden leikkauksen yhteydessä myös ympäröivä kasvillisuus leikattiin suunnilleen samalta korkeudelta kuin koekasvi noin 30 senttimetriä halkaisijaltaan olevan ympyrän alueelta, koska tarkoituksena oli jäljitellä niittoa.

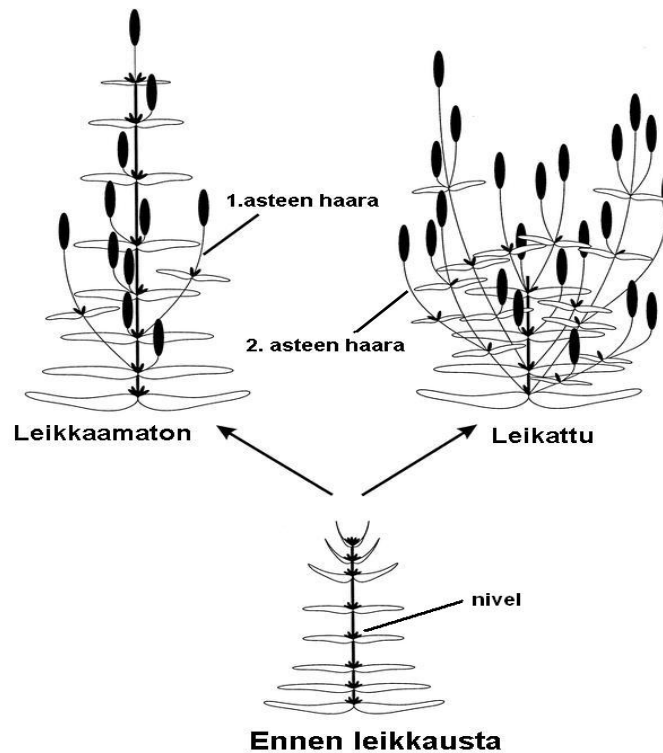
Kenttä- ja pohjakerroksen peittävyudet arvioitiin ketokatkeroiden ympäriltä nelipor-taisella asteikolla: 1 = alle 25 %, 2 = 25 - 50 %, 3 = 50 - 75 % ja 4 = yli 75 %. Kenttäkerroksen peittävyys arvioitiin käsittelyjen yhteydessä ja pohjakerros elokuun puolivälissä.

Ketokatkeroiden seuralaislajisto kirjattiin ja sen avulla laskettiin kullekin lajille esiintymisfrekvenssi. Lisäksi koko tutkimusalueelta arvioitiin silmämääräisesti kaikkien tavattujen putkilokasvilajien peittävyudet luokittain.

Ketokatkeron kompensatiokykyä ja muita vasteita niittoon mitattiin kasvin kokoa ja lisääntymismenestystä kuvaavilla muuttujilla. Kasvien kokoa kuvattiin verson pituudella kokeen päätyttyä, päävarren nivelten sekä ensimmäisen ja toisen asteen haarojen määrällä. Verson pituus mitattiin juurenniskasta kasvin ylimpänä olevan silmun tyvelle (käsitellyillä kasveilla pisimmän haaran ylimmän silmun tyvi). Nivelet laskettiin vain päävarresta. Maastossa alin nivel on saattanut jäädä maanpinnan alle. Ensimmäisen asteen haarat olivat päävarren nivelistä kasvavia haaroja ja toisen asteen haarat näiden haaroja. Haarat päättyivät poikkeuksetta kukkasilmuun ja kukkaan (kuva 6). Molemmista laskettiin kappalemäärät. Kasvin kokoa kuvaa myös sen biomassaa eli kuivapaino. Kuivapainossa huomioitiin erikseen verson kuivapaino sekä leikatun osan paino, joista saatiin kokonaiskuivapaino. Ennen punnitusta versot ja poisleikatut osat säilytettiin huoneenlämmössä minkä jälkeen ne kuivattiin lämpökaapissa +60° lämpötilassa yhden vuorokauden ajan. Kuivauksen jälkeen versot ja leikatut osat punnittiin. Kuivapainoihin eivät sisälly siemenet, sillä ne karistettiin versoista siementen laskemisen yhteydessä.

Lisääntymismenestystä kuvaavina muuttujina ketokatkerosta laskettiin kotien määrä sekä kota- ja kasvikohtainen siementuotanto. Kodiksi laskettiin valmiit kodat eikä epäkypsiä kotia huomioitu. Kotien määrä laskettiin vain kokeen päättymisen jälkeen. Siementen määrä on laskettu poiskerätyistä kasveista kokeen päättymisen jälkeen. Yksilön siementuotto on pääasiassa laskettu neljästä kodasta, mutta muutamista yksilöistä siementen määrä on vain yhdestä tai kahdesta kodasta. Kodat pyrittiin valitsemaan kasvin/kukinnon eri osista; ala-, keski- ja yläosasta. Kotakohtainen siementuotanto on keskiarvo laskettujen kotien siementen määrästä. Arvio kasvikohtaisesta siementuotannosta saatiin vastaavasti kertomalla kunkin kasviyksilön kotakohtainen siementuotanto saman yksilön kotien määrällä.

Varsinaisten koekasvien lisäksi tutkimusalueelta kerättiin vuonna 2004 kukkineiden kasvien talven yli säilyneitä versoja. Näistä talventörröttäjistä mitattiin seuraavat muuttujat: etäisyys tiestä, verson pituus, niittokorkeus, nivelten ja ensimmäisen asteen haarojen sekä kotien määrä. Näiden yksilöiden avulla toivottiin saatavan tietoa normaalin tiehallinnon niiton vaikutuksista.



**Kuva 6** Leikkauksen vaikutus ketokatkeron ilmiösuun (Lennartsson ym. 1998 mukaan)

### 3.3. Tilastolliset menetelmät

Kompensaatiota testattiin vertaamalla käsittelyryhmiä kontrolliryhmän keskiarvoon käyttämällä yhden otoksen keskiarvotestiä (t-testi) Käsittelyryhmiä vertailtiin keskenään käyttäen 2-ANOVA:a ja parittaisissa vertailuissa käytettiin least significant difference menetelmää (LSD). Faktoreina olivat käsittelyaika (2.7., 15.7. ja 29.7.) sekä käsittelytaso (10 % ja 50 %). Kovariaattina käytettiin versojen pituutta 1.7. Muuttujien varianssien homogeenisuus tutkittiin Levenen testillä ja normaalisuus Shapiro-Wilk -testillä. Tarvittaessa käytettiin muunnoksia (log, ln tai neliöjuuri) varianssien homogeenisuuden ja normaalisuuden saavuttamiseksi. Varianssianalyysin lisäksi muuttujien välisiä yhteyksiä tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimella ja tarvittaessa Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. Kaikki raportoidut testit ovat kaksisuuntaisia. Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 14.0 for Windows -ohjelmalla.

## 4. TULOKSET

### 4.1. Pohja- ja kenttäkerroksen peittävyys sekä seuralaislajisto

Pohja- ja kenttäkerroksen peittävyys arvioitiin silmämääräisesti koekasvien ympäriltä neliportaisella asteikolla. Yli 60 % ketokatkerosta kasvoi alueella, jossa pohjakerroksen peittävyys sijoittui alle 25 % luokkaan. Seuraavaksi eniten (n. 15 %) katke- roita kasvoi kohdilla, joissa peittävyys arvioitiin olevan 25 – 50 %. Kahteen viimeiseen luokkaan jäi molempiin suunnilleen saman verran kasveja (10 %). Pohjakerroksen peittä- vyys ei vaikuttanut koekasvien verson pituuteen (n = 108; r = 0,055; p = 0,537). Yli 40 % ketokatkerosta kasvoi alueella, jossa kenttäkerroksen peittävyys oli 25 – 50 %. Kaikkiaan 76 % katkerosta sijoittui kasvupaikalle, jossa kenttäkerroksen peittävyys oli alle 50 %. Kenttäkerroksen peittävyys todettiin vaikuttavan kasvien pituuteen merkitsevästi (n =

108;  $r = 0,364$ ;  $p < 0,001$ ). Alle 25 % peittävyyksillä kasvit olivat lyhyimpiä ja vastaavasti yli 75 % peittävyyksillä pisimpiä. Peittävyyksien vaikutusta ketokatkeron haaroittumiseen tarkasteltiin kontrollikasvien osalta kokeen päättyessä. Kenttä- tai pohjakerroksen peittävyiden ei havaittu korreloivan minkään haarojen määrää kuvaavan muuttujan kanssa. Sekä kenttä- että pohjakerroksen peittävyudet vaihtelivat jonkin verran riippuen niiden etäisyydestä tien reunaan. Pohjakerroksen osalta pieniä peittävyksiä esiintyi laajemmalla alueella kuin suurempia peittävyksiä, joten kauempanakin tien reunasta oli alle 25 % kohtia. Kenttäkerroksen osalta pienemmät peittävyudet olivat lähellä tietä ja suurimmat kauempana. Eniten vaihtelua etäisyyden suhteen oli 25 - 75 % peittävyyksillä.

Tutkimusalueella kasvoi kaikkiaan 47 putkilokasvilajia tai -sukua ketokatkeron mukaan luettuna (liite 1). Pajujen (*Salix*) ja poimulehtien (*Alchmilla*) määrätyt jätettiin sukuta-solle, joten todellinen lajimäärä voi olla hiukan suurempi. Esiintymisfrekvenssiltään kolme runsainta lajia olivat punanata (*Festuca rubra*), siankärsämö (*Achillea millefolium*) sekä puna-apila (*Trifolium pratense*). Yksittäisen kasvilajin runsautta arvioitiin koko tutkimus-alueella silmämääräisesti arvioimalla luokittain. Runsaimmat lajit olivat puna-apila, pu-nanata sekä hietakastikka (*Calamagrostis epigejos*).

#### 4.2. Versojen ominaisuudet kokeen alkaessa 1.7.2005

Koeasetelma ja koeyksilöiden verson pituus, nivelten ja haarojen määrä sekä niiden etäisyys tienreunasta esitetään taulukossa 1.

Ketokatkerot kasvoivat keskimäärin 86 senttimetrin etäisyydellä asfaltin reunasta. Lähin kasvupaikka oli 32 ja kaukaisin 170 senttimetrin etäisyydellä. Yli 50 % versoista sijaitsi alle metrin etäisyydellä (kuva 7). Käsittelyryhmät eivät eronneet tämän muuttujan suhteen toisistaan ( $F_{6,137} = 0,46$ ;  $p = 0,837$ ).

Ketokatkeroiden versojen pituus oli heinäkuun alussa keskimäärin 13 senttimetriä. Pienimmät yksilöt olivat vain 5 sentin pituisia, kun taas suurimmat olivat kasvaneet jo 20 senttisiksi. Käsittelyryhmät eivät eronneet toisistaan merkitsevästi tämänkään muuttujan suhteen ( $F_{6,137} = 0,48$ ;  $p = 0,821$ ). Kasvupaikan etäisyydellä tiestä ja verson pituudella oli vahva positiivinen korrelaatio ( $n = 138$ ;  $r = 0,332$ ;  $p < 0,001$ ). Ketokatkeroiden verson pituus suureni kauemmas tiestä mentäessä (kuva 8).

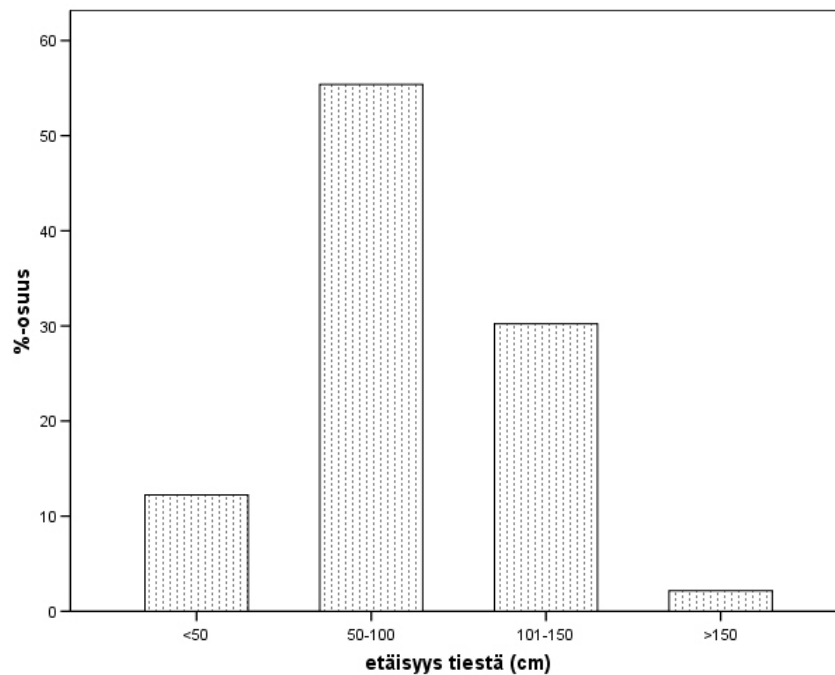
Niveliä versoissa oli keskimäärin viisi, mutta vähimmillään vain kaksi ja suurimmil-laan 7 kappaletta. Nivelten lukumäärässä ei ollut käsittelyryhmien välillä eroa ( $F_{6,136} = 0,38$ ,  $p = 0,889$ ). Nivelten lukumäärä korreloi vahvasti verson pituuden kanssa ( $n = 137$ ,  $r = 0,569$ ;  $p < 0,001$ ). Pienemmällä kasveilla oli luonnollisesti myös vähemmän niveliä kuin suurem-milla. Nivelten lukumäärä korreloi myös ensimmäisen asteen haarojen kanssa ( $n = 137$ ,  $r = 0,464$ ;  $p < 0,001$ ). Keskimäärin ensimmäisen asteen haaroja oli neljä. Osassa versoista ei ollut vielä yhtään haaraa ja joissakin oli yli kaksikymmentä (max 21). Myöskään ensim-mäisen asteen haarojen määrässä ei ollut ryhmien välillä merkitseviä eroja kokeen alkaessa ( $F_{6,136} = 0,40$ ;  $p = 0,880$ ).

Koekasvit leikattiin niin, että versosta poistettiin noin 10 % ja 50 %. Leikatun osan pituus vaihteli 10 % käsittelyssä 0,5 senttimetrinä 2,6 senttimetriin ja 50 % käsittelyssä 3,5 sentistä 15 senttimetriin. Vastaavat keskiarvot olivat 1,6 cm ja 8,1 cm. Leikatun osan pi-tuus kuitenkin kasvoi viimeisillä käsittelykerroilla, koska versot olivat tuolloin suurempia. Leikkauskorkeus oli vastaavasti 10 % käsittelyryhmissä keskimäärin 14 senttimetriä ja 50 % ryhmissä hiukan yli 8 senttimetriä.

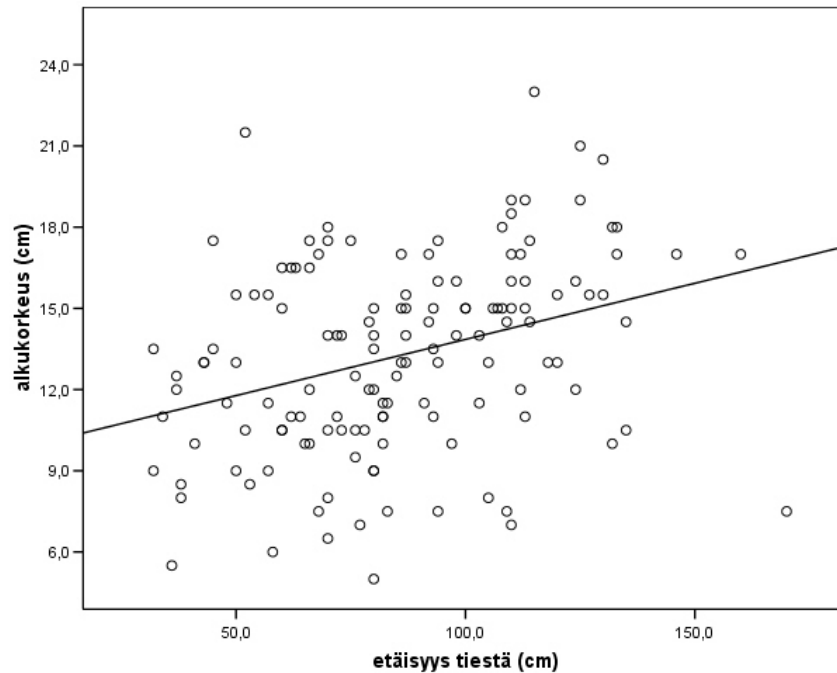


**Taulukko 1** Ketokatkeroiden versojen ominaisuuksia ennen käsittelyä. Käsittelyryhmien keskiarvot ja keskivirheet

käsittelytaso	käsittelyaika	n	etäisyys tiestä (cm)	verson pituus (cm)	verson pituus ennen käsittelyä (cm)	nivelten määrä (kpl)	1. asteen haarojen määrä (kpl)
kontrolli	kontrolli	18	82,28 (7,52)	13,08 (0,86)	-	4,83 (0,22)	3,06 (0,79)
10 %	2.7.	18	86,39 (6,48)	13,06 (0,95)	13,06 (0,95)	4,89 (0,16)	2,39 (0,64)
	15.7	21	86,33 (7,63)	12,69 (0,94)	14,71 (0,97)	5,05 (0,19)	3,14 (0,55)
	29.7.	24	90,25 (6,07)	13,23 (0,76)	18,23 (1,06)	5,08 (0,16)	5,04 (1,14)
50 %	2.7.	18	86,56 (6,11)	14,03 (0,79)	14,03 (0,79)	5,11 (0,16)	4,61 (1,02)
	15.7.	18	77,33 (5,69)	12,69 (0,69)	14,92 (0,81)	4,94 (0,15)	2,61 (0,64)
	29.7.	21	89,76 (5,94)	14,07 (0,69)	19,72 (0,94)	5,10 (0,19)	3,95 (1,07)



**Kuva 7** Ketokatkeroiden etäisyys päällysteen reunasta prosentteina



**Kuva 8** Ketokatkeroiden pituuden ja kasvupaikan välinen suhde heinäkuun alussa

#### 4.4. Versojen pituus, pituuskasvu ja kuivapaino kokeen päättyessä

Ketokatkeroiden versojen pituudet kasvukauden päätyttyä vaihtelivat viiden ja 35 senttimetrin välillä. Keskiarvoja tarkasteltaessa kontrolliryhmän kasvit olivat suurimpia (22,6 cm) ja käsittelyryhmien pienin verson keskimääräinen pituus löytyi 50 % käsittelystä 15,7. Kontrolliryhmä poikkesi merkitsevästi kaikista käsittelyryhmistä ja kaikki käsittelyryhmät alikompensoivat pituuskasvun suhteen (kuva 9a).

Käsittelyryhmiä vertailtiin keskenään leikkausajankohdan ja leikkauskorkeuden merkityksen selvittämiseksi. Käsittelyaika vaikutti eri tavoin versojen pituuteen eri käsittelytasolla, mikä näkyi faktoreiden välisenä yhdysvaikutuksena ( $F_{2,84} = 10,83$ ;  $p < 0,001$ ) (taulukko 2). Leikkausaika vaikutti 10 % käsittelystä siten, että verson pituus oli suurempi myöhemmin leikatuissa kasveissa, kun taas 50 % tasolla versojen pituus laski ajan kuluessa. 10 % käsittelytasolla ensimmäisen ja viimeisen leikkauskerran välillä oli merkitsevä ero ja 50% käsittelytasolla 2,7. leikattujen versojen pituus poikkesi merkitsevästi molemmista myöhemmistä käsittelykerroista. 50 % tasolla kahden viimeisen käsittelykerran välillä ei ollut merkitsevää eroa verson pituuksissa. Käsittelytasojen välillä oli merkitsevä ero kahdella viimeisellä käsittelykerralla, jolloin 50 % käsittelytason kasvit olivat merkitsevästi lyhyempiä (taulukko 3).

Kasvulla tarkoitetaan ketokatkeroiden verson pituuskasvua kokeen aloituksesta tai tehdystä käsittelystä sen loppuun. Kontrolliryhmän kasveilla tarkastelu aloitetaan ensimmäisestä mittauksesta ja kyseessä on pituuskasvu. Käsittelyryhmillä tämän muuttujan avulla tarkastellaan niiden kasvua leikkauskäsittelyn jälkeen. Kontrolliryhmän kasveilla pituuskasvu vaihteli paljon, 2,5 sentistä 21 senttiin, keskiarvon ollessa 10,1 senttiä. Käsittelyryhmissä käsittelyajan vaikutus kompensoitioon näkyi selvästi; heinäkuun alussa leikatut ketokatkerot pystyivät molemmilla käsittelytasolla kasvattamaan menetetyt verson pituuden takaisin samoin kuin 10 % käsittelyryhmä 15.7. (kuva 9b). Muiden käsittelyryhmien kasvit eivät saavuttaneet ennen leikkausta ollutta verson pituutta. Kontrolliryhmään verrat-

tuna kaikki käsittelyryhmät alikompensoivat eli niiden kasvu käsittelyn jälkeen jäi kontrolliryhmän kasvua pienemmäksi.

Käsittelyryhmissä leikkausajankohta ja -taso vaikuttivat kasvien kykyyn kompensoida, eli kasvattaa menetetty verson pituus takaisin. Tämä näkyy merkitsevästi yhdysvaikutuksena käsittelyajan ja -tason välillä ( $F_{1,67} = 8,66$ ;  $p = 0,005$ ) (taulukko 2). Käsittelyaika vaikutti kasvumuuttujaan eri tavoin eri käsittelytasolla. Molemmissa ryhmissä kasvu tosin väheni ajan kuluessa, mutta 10 % ryhmässä merkitsevästi vähemmän. Käsittelyryhmät, joissa versosta poistettiin 50 %, erosivat kompensatiokasvun osalta toisistaan siten, että heinäkuun alussa käsitellyt kasvit ovat kompensoineet versonmenetyksen. 50 % käsittelytason ryhmien väliset erot olivat erittäin merkitseviä. Pienemmällä 10 % käsittelytasolla ei ollut eroja kahden ensimmäisen käsittelykerran osalta. Kolmas 10 % käsittelyryhmä erosi molemmista muista saman tason ryhmistä, sillä se ei ollut pystynyt kasvattamaan takaisin menetettyä versonpituutta. Käsittelytasojen välillä ei ollut eroja kasvussa ensimmäisellä käsittelykerralla (2.7.), vaan molemmilla tasoilla kasvit kykenivät kompensoimaan verson menetyksen. Myöhemmillä käsittelykerroilla käsittelytasojen välillä oli erittäin merkitsevä ero, siten, että 50 % käsittelytason kasvit olivat kasvaneet vähemmän pituutta kuin 10 % käsittelytason kasvit (taulukko 3).

Verson kuivapaino kertoo käsittelyn vaikutuksesta kasvuun, kuten edellä läpikäyty verson pituutta kuvavat muuttujat. Kokonaiskuivapainossa, jota tässä käsitellään, ovat mukana leikatun versonosan paino sekä verson lopullinen paino kokeen päättyessä. Verson leikatun osan painoon vaikuttaa käsittelytaso sekä käsittelyaika siten, että painot ovat suurempia 50 % käsittelyssä ja kasvavat heinäkuun kuluessa.

Keskimäärin suurimmat kuivapainot löytyvät heinäkuun alun 50 % käsittelyryhmästä (ka. 0,894 g). Pienimmät kuivapainot sijoittuvat 15.7. käsiteltyyn 50 % ryhmään, jossa kokonaiskuivapainon keskiarvo jäi selvästi muita ryhmiä alhaisemmaksi (ka. 0,335 g). Vaihtelu ryhmien välillä oli melko suurta, sillä pienin kuivapaino oli 0,09 grammaa ja suurin 3,13 grammaa. Kontrolliryhmä poikkesi merkitsevästi vain kahdesta käsittelyryhmästä, jotka olivat 10 % käsittely 2.7. sekä 50 % käsittely 15.7.. Nämä kaksi ryhmää alikompensoivat kokonaiskuivapainon suhteen (kuva 9c). Muut neljä käsittelyryhmää eivät poikenneet merkitsevästi kontrolliryhmästä, joten ne pystyivät kompensoimaan biomassan tuotannon.

Käsittelyryhmiä verrattaessa huomattiin käsittelyajan ja -tason välillä merkitsevä yhdysvaikutus ( $F_{2,84} = 4,02$ ;  $p = 0,022$ ) (taulukko 2). Päävaikutus löytyi käsittelytasofaktorista: 15.7. tehdyissä käsittelyissä käsittelytasojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero kokonaiskuivapainossa siten, että 50 % käsittely oli tuottanut vähemmän biomassaa eli kevyempiä kasveja. Käsittelyajalla ei ollut merkitsevää päävaikutusta. Tosin 50 % käsittelytasolla vaikutus oli lähes merkitsevä, sillä 15.7. käsittelyryhmä erosi muista saman tason ryhmistä siten, että sen kasvit olivat muita ryhmiä kevyempiä (taulukko 3).

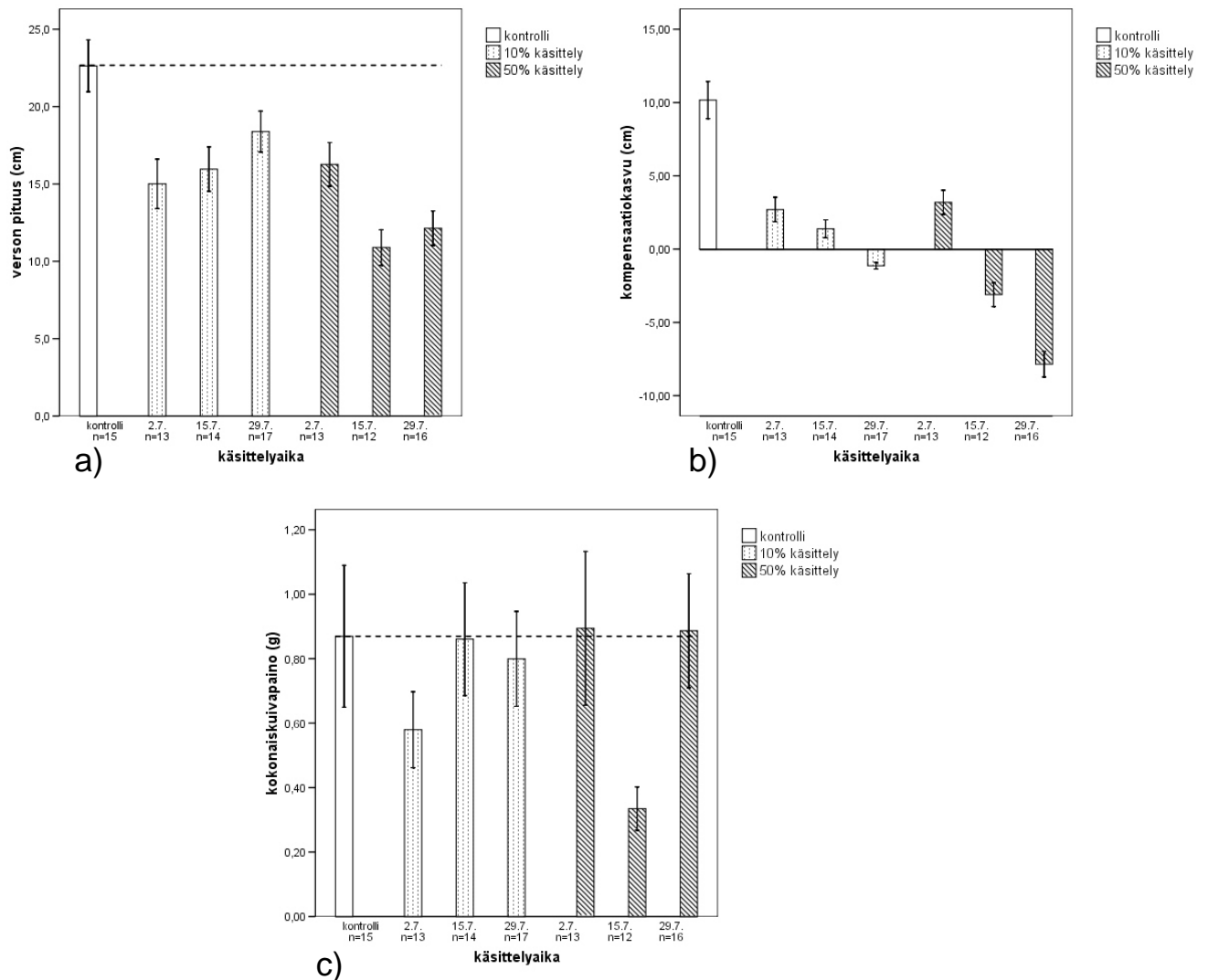
**Taulukko 2** Varianssianalyysin tulokset verson pituuden, kasvun sekä kokonaiskuivapainon osalta, kun faktoreina ovat olleet käsittelyaika (2.7., 15.7. ja 29.7) sekä käsittelytasot (10 % ja 50 %), kovariaattina on käytetty versojen korkeutta 1.7.

2-ANOVA		verson pituus			kasvu			kokonaiskuivapaino				
Vaihtelun lähde	df	MSq.	F	p	df	MSq	F	p	df	MSq.	F	p
aika	2	8,095	0,934	0,397	2	400,858	45,406	<0,001	2	0,128	0,534	0,588
käsittely	1	292,984	33,806	<0,001	1	53,920	6,108	0,016	1	0,123	0,510	0,477
aika*käsittely	2	93,847	10,829	<0,001	1	76,920	8,660	0,005	2	0,966	4,016	0,022
kovariaatti	1	1354,498	156290	<0,001	1	12,425	1,407	0,240	1	11,871	49,345	<0,001
yhteensä	84				67				84			

**Taulukko 3** Käsittelyryhmien parittaiset vertailut käsittelyajan (2.7., 15.7. ja 29.7.) ja -tason (10 % ja 50 %) suhteen verson pituuden, kasvun ja kokonaisbiomassan osalta. Vertailussa on käytetty least significant difference -menetelmää.

Parittaiset vertailu				verson pituus	kasvu	kokonaiskuivapaino
LSD -testi	taso	aika		p	p	p
10 %	2.7.	15.7		0,193	0,227	0,083
		29.7		0,008	0,001 <sup>a</sup>	0,318
		29.7		0,168	0,001 <sup>a</sup>	0,401
50 %	2.7.	15.7		0,002	<0,001	0,043
		29.7		<0,001	<0,001	0,986
		29.7.		0,742	<0,001	0,036
	aika	taso		verson pituus	kasvu	kokonaiskuivapaino
				p	p	p
	2.7.	10 %	50 %	0,770	0,738	0,240
	15.7.	10 %	50 %	<0,001	<0,001	0,010
	29.7.	10 %	50 %	<0,001	<0,001 <sup>a</sup>	0,776

<sup>a</sup> t-testi



**Kuva 9** a) Versojen pituus, b) kompensaatiokasvu sekä c) kuivapaino. Pylväät esittävät käsittelyryhmien keskiarvoja ja janat keskiarvon keskivirhettä (SE +/- 1). Katkoviivalla on merkitty kontrolliryhmän keskiarvo ja kuvassa 10b viiva kuvaa verson pituutta ennen käsittelyä (0-taso)

#### 4.5. Nivelten ja haarojen määrät kokeen päättyessä

Nivelten määrä pääversolla ei lisääntynyt leikkauksen jälkeen, koska pääverso ei kasva enää pituutta. Haarautuminen tapahtuu nivelistä, joten leikkauksen jälkeen jäljelle jääneiden nivelten määrä on tärkeä muodostuvien haarojen kannalta. Kasvukauden lopulla niveliä oli selvästi eniten leikkaamattomilla kontrolliryhmän kasveilla, keskimäärin seitsemän niveltä (ka. 7,47). Vaihteluväli oli neljästä yhdeksään niveltä. Käsittelyryhmistä keskimäärin eniten niveliä oli 10 % käsittelyllä 29.7. (ka. 5,47). Niveliä oli käsiteltyihin kasveihin jäänyt vähimmillään kaksi ja enimmillään kuusi. Käsittelytasojen välillä oli kaikilla käsittelykerroilla yhden nivelen suuruinen ero (kuva 10a). Muuttujan tilastollista tarkastelua häiritsi se, että yhdessä käsittelyryhmässä (50 % 2.7.) varianssi oli nolla eli kaikilla yksilöillä niveliä oli yhtä paljon. Kyseinen käsittelyryhmä jouduttiin jättämään varianssianalyysin ulkopuolelle.

Käsittelyryhmiä verrattaessa huomattiin käsittelyajalla sekä -tasolla olevan merkitystä nivelten määrään ( $F_{1,71} = 9,60$ ;  $p = 0,003$ ) (taulukko 4). Käsittelyaika vaikutti eri käsittelytasolla nivelten määrään eri tavoin. 10 % käsittelytasolla nivelten määrä kasvoi ajan kuluessa, kun taas 50 % tasolla se pysyi lähes samana. Tämä näkyy päävaikutusten

tarkasteluissa, joissa 10 % käsittelytason ryhmien välille löytyi merkitseviä eroja, 50 % tasolla käsittelyajan merkitys oli lähes merkitsevä. Myös käsittelytasolle löytyi merkitsevä päävaikutus sekä 15.7. että 29.7. käsittelyissä. Näillä kahdella käsittelykerralla käsittelytasot poikkesivat toisistaan siten, että 10 % käsittelytason ryhmissä oli enemmän niveliä (taulukko 6).

Ketokatkerot kasvattavat pääversoon sivuhaaroja nivelten kohdalla, joten nivelten määrä on varsin merkittävä ensimmäisen asteen haarojen kannalta. Kun tätä yhteyttä tutkittiin korrelaatioiden avulla, huomattiin nivelten lukumäärän ja ensimmäisen asteen haarojen välillä on voimakas yhteys ( $n = 100$ ;  $r = 0,749$ ;  $p < 0,001$ ). Riippuvuus on positiivista eli mitä enemmän niveliä sitä enemmän ensimmäisen asteen haaroja. Samankaltainen riippuvuus löytyy ensimmäisen ja toisen asteen haarojen väliltä; mitä enemmän ensimmäisen asteen haaroja kasvulla on, sitä enemmän sillä on myös toisen asteen haaroja ( $n = 100$ ;  $r=0,538$ ;  $p<0,001$ ). Toisen asteen haaroilla on myös merkitystä kotien määrän kannalta.

Ensimmäisen asteen haarojen määrät vaihtelivat välillä 0 – 22. Eniten ensimmäisen asteen haaroja oli kontrolliryhmän kasveilla (max 22 ja ka.13). Vähiten haaroja oli 50 % ryhmässä 15.7. (ka. 3,75). Toisen asteen haarojen määrä vaihteli nolasta 73:een. Suurin toisen asteen haarojen määrä löytyi kontrolliryhmästä. Keskimäärin eniten toisen asteen haaroja oli kuitenkin 15.7. tehdyn käsittelyn 10 % ryhmässä (ka. 23,57). Ensimmäisen ja toisen asteen haarojen lisäksi voidaan tarkastella haarojen kokonaismäärää, jolloin kaikki haarat lasketaan yhteen. Suurin haarojen yhteismäärä löytyi kontrolliryhmästä, jonka kasveilla oli keskimäärin 30 haaraa. Lähes samaan keskiarvoon ylsi 10 % käsittelyryhmä 15.7 (ka. 29,14). Vastaavasti vähiten haaroja oli saman ajankohdan 50 % käsittelyryhmässä (ka. 12,5).

Käsittelyryhmät poikkesivat erittäin merkitsevästi kontrolliryhmästä ensimmäisen asteen haarojen suhteen. Kaikissa käsittelyryhmissä ensimmäisen asteen haaroja oli vähemmän kuin kontrolliryhmässä, joten ne alikompensoivat tämän ominaisuuden suhteen (kuva 10b). Käsittelyryhmien vertailussa käsittelytaso oli merkittävin ensimmäisen asteen haarojen määrään vaikuttava tekijä ( $F_{1,84} = 16,060$ ;  $p<0,001$ ) (taulukko 5). Käsittelytasojen välillä oli eroa viimeisellä käsittelykerralla. 10 % käsittelytasolla ensimmäisen ja viimeisen käsittelykerran välillä oli merkitsevä ero ja toisen ja kolmannen välillä lähes merkitsevä ero (taulukko 6).

Toisen asteen haarojen kohdalla vain yksi käsittelyryhmä alikompensoi (kuva 10c). Tämä käsittelyryhmä oli 50 % käsittely 15.7. Kaikki muut käsittelyryhmät kompensoivat eli niiden toisen asteen haarojen määrä ei poikennut merkitsevästi kontrolliryhmästä. Käsittelyryhmien väliltä ei löytynyt käsittelytason tai -ajan aiheuttamia eroja (taulukko 5). Ainoastaan kovariaattina käytetty alkukorkeus antoi testissä merkitsevän tuloksen.

Haarojen kokonaismäärän osalta kolme käsittelyryhmää poikkesi merkitsevästi kontrolliryhmästä ja nämä ryhmät alikompensoivat tämän muuttujan suhteen. Vastaavasti kolme ryhmää kompensoi haarojen kokonaismäärän osalta (kuva 10d). Haarojen kokonaismäärän kohdalla käsittelytaso oli tärkein haarojen määrään vaikuttava tekijä ( $F_{1,84} = 5,269$ ;  $p = 0,024$ ) (taulukko 5). Käsittelytason merkitys näkyy etenkin kahdella viimeisellä käsittelykerralla, jolloin 50 % tasolla haarojen yhteismäärä oli merkitsevästi pienempi kuin 10 % tasolla (taulukko 6).

**Taulukko 4** Varianssianalyysin tulos pääversion nivelten osalta kun faktoreina ovat olleet käsittely aika (2.7., 15.7. ja 29.7) sekä käsittelytasot (10 % ja 50 %), kovariaattina on käytetty versojen korkeutta 1.7.

2-ANOVA		nivelet		
lähde	df	mean sq.	F	p
aika	2	11,031	42,648	<0,001
käsittely	1	33,946	131,244	<0,001
aika*käsittely	1	2,483	9,595	0,003
kovariaatti	1	1,200	4,639	0,035
yhteensä	71			

**Taulukko 5** Varianssianalyysin tulokset ensimmäisen ja toisen asteen sekä haarojen yhteismäärän osalta, kun faktoreina ovat olleet käsittelyaika (2.7., 15.7. ja 29.7) sekä käsittelytasot (10 % ja 50 %), kovariaattina on käytetty versojen korkeutta 1.7.

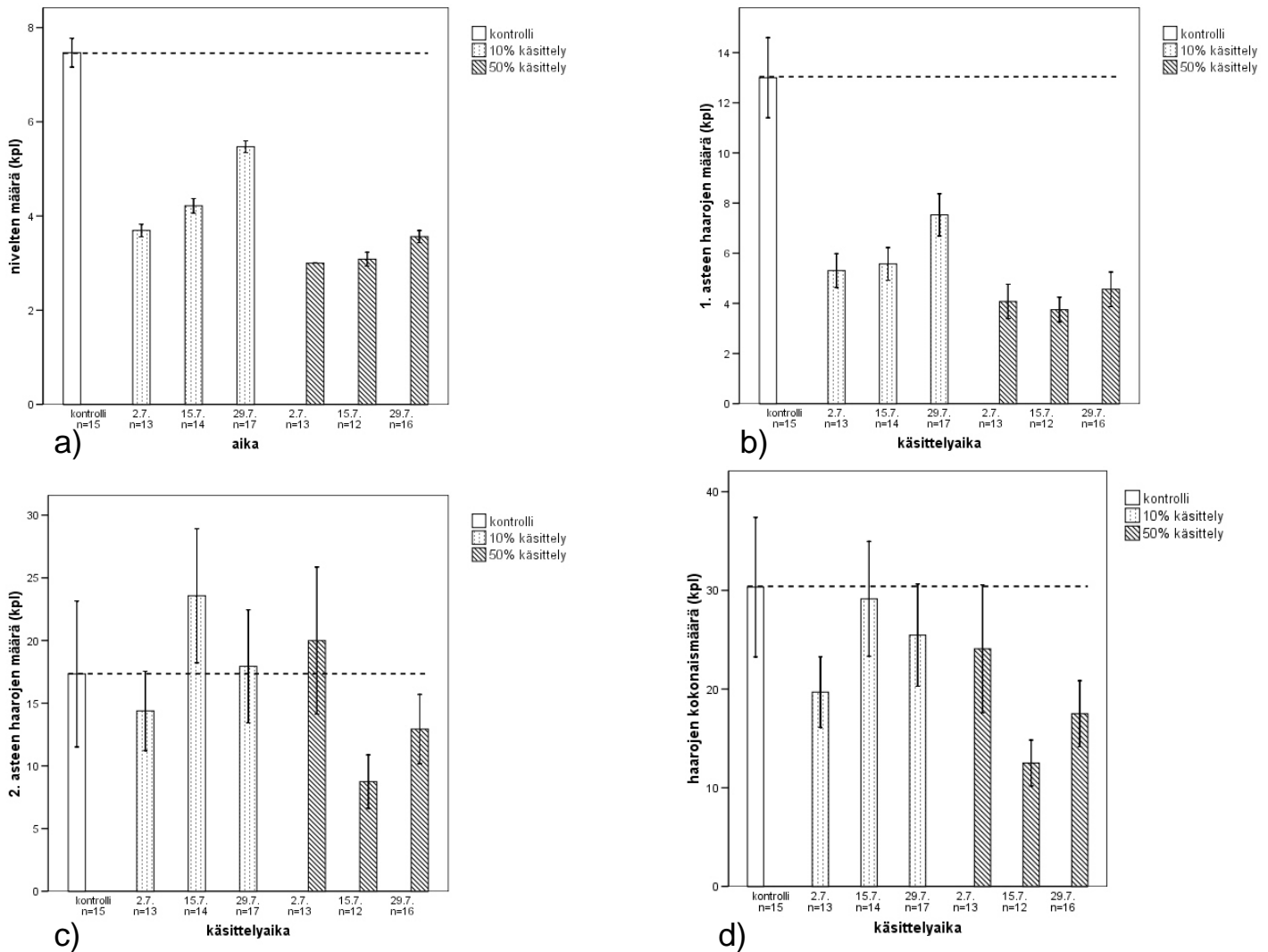
2-ANOVA		1.asteen haarat			2. asteen haarat <sup>a</sup>				haarat yhteensä			
lähde	df	mean sq.	F	p	df	mean sq.	F	p	df	mean sq.	F	p
aika	2	12,751	2,142	0,124	2	0,122	0,757	0,472	2	40,893	0,172	0,842
käsittely	1	95,602	16,060	<0,001	1	0,222	1,379	0,244	1	1250,248	5,269	0,024
aika*käsittely	2	6,230	1,047	0,356	2	0,306	1,903	0,156	2	567,672	2,393	0,098
kovariaatti	1	100,986	16,965	<0,001	1	6,284	39,059	<0,001	1	7133,184	30,063	<0,001
yhteensä	84				84				84			

<sup>a</sup> Log x+1muunnos

**Taulukko 6** Käsittelyryhmien parittaiset vertailut käsittelyajan (2.7., 15.7. ja 29.7.) ja -tason (10 % ja 50 %) suhteen nivelten sekä haarojen osalta. Vertailussa on käytetty least significant difference -menetelmää

Parittaiset vertailu		nivelet		1. asteen haarat <sup>b</sup>	2. asteen haarat	haarat yhteensä
LSD -testi	aika		p	p	p	p
10 %	2.7.	15.7	0,008	0,663	0,191	0,076
		29.7.	<0,001	0,022	0,896	0,369
	15.7	29.7.	<0,001	0,058	0,128	0,298
50 %	2.7.	15.7.	0,586 <sup>a</sup>	0,902	0,157	0,212
		29.7.	0,001 <sup>a</sup>	0,671	0,159	0,248
	15.7.	29.7.	0,053	0,775	0,926	0,867
		nivelet		1. asteen haarat <sup>b</sup>	2. asteen haarat	haarat yhteensä
aika	taso		p	p		p
2.7.	10 %	50 %	<0,001 <sup>a</sup>	0,126	0,500	0,709
15.7.	10 %	50 %	<0,001	0,069	0,041	0,009
29.7.	10 %	50 %	<0,001	<0,001	0,529	0,090

<sup>a</sup> t-testi, <sup>b</sup>Log x+1 muunnos



**Kuva 10** a) nivelet, b) ensimmäisen ja c) toisen asteen haarat sekä d) haarojen kokonaismäärä. Pylväät esittävät käsittelyryhmien keskiarvoja ja janat keskiarvon keskivirhettä (SE +/- 1). Katkoviivalla on merkitty kontrolliryhmän keskiarvo.

#### 4.6. Kodat ja siemenet

Kotien määrä tutkimuskasveissa vaihteli nolasta lähes sataan (max 98). Suurin kotien määrä löytyi kontrolliryhmästä, mutta myös 10 % käsittelyryhmissä oli korkeita maksimimääriä. Kontrolliryhmässä kotia oli myös keskiarvona mitattuna eniten, tosin 10 % käsittelyssä 15.7. oli lähes yhtä paljon eikä kovin paljoa vähempää ollut ensimmäisessä 50 % käsittelyryhmässä. Vähiten kotia oli 50 % käsittelyissä 15.7. (ka. 13,5) ja 29.7. (ka. 17,88). Kotien lukumäärä riippui sekä kontrolli- että käsittelyryhmissä erittäin voimakkaasti toisen asteen haarojen määrästä sekä haarojen kokonaismäärästä. Korrelaatio oli positiivinen, joten mitä enemmän kasvissa on haaroja sitä enemmän se tuottaa kotia. Tämä johtuu ketokatkeron kasvutavasta, jossa kukat ja kodat kehittyvät haarojen kärkiin.

Kotien määrässä löytyi sekä kompensatiota että alikompensatiota kontrolliryhmään verrattuna. Kymmenen prosentin käsittelytasolla kaksi ryhmää kompensoi (15.7. ja 29.7.) ja yksi alikompensoi. 50 % käsittelytasolla ensimmäinen käsittelyryhmä kompensoi ja muut ryhmät alikompensoivat kotien tuotannossa (kuva 11a). Käsittelytaso ja -aika eivät vaikuttaneet merkittävästi kotien määrään ( $F_{2, 84} = 1,63; p = 0,202$ ) (taulukko 7). Sen sijaa



kovariaattina käytetyllä alkukorkeudella näytti olevan erittäin suuri vaikutus kotien määrää ( $F_{1,84} = 32,27$ ;  $p < 0,001$ ).

Siementen määrän keskiarvo eli kotakohtainen siementuotanto on laskettu kustakin kasvusta satunnaisesti valitusta neljän kodan otoksesta. Siementen määrän keskiarvossa ei ollut suurta vaihtelua. Eniten siemeniä oli ensimmäisessä 50 % käsittelyssä (ka. 36,38). Samasta ryhmästä löytyi myös yhden kodan sisältämien siementen maksimimäärä, 75 siementä. Vähiten siemeniä oli 50 % käsittelyssä 29.7. (ka. 14,41). Otoksessa oli mukana jonkin verran kotia, jotka olivat tyhjiä. Siemenkohtaisessa kotatuotannossa löytyi eniten kompensoineita käsittelyryhmiä ja vain yksi ryhmä alikompensoi (kuva 11b). Käsittelytasolla ei ollut vaikutusta kotakohtaiseen siementuotantoon (taulukko 7), mutta käsittelyaika sai varianssianalyysissä merkitsevän tuloksen ( $F_{1,83} = 4,43$ ;  $p = 0,015$ ). Ajan vaikutus näkyi 50 % käsittelytasolla, jossa viimeisen käsittelykerran kotakohtainen siementuotanto poikkesi merkitsevästi molemmista aiemmista käsittelykerroista (taulukko 8)

Kasvikohtainen siementen kokonaismäärä arvioitiin kertomalla saadut siementen keskiarvot kotien määrällä. Kontrolliryhmän kasveilla oli eniten siemeniä (ka. 909,27). Seuraavaksi eniten siemeniä on 50 % käsittelyssä 2.7. Pienin siementen kokonaismäärä löytyi viimeiseltä 50 % käsittelykerralta (ka. 297). Kasvikohtaisessa siementuotannossa kolme ryhmää alikompensoi ja kolme kompensoi (kuva 11c). Käsittelyajalla tai -tasolla ei ollut merkitsevää vaikutusta käsittelyryhmien osalta (taulukko 7).

**Taulukko 5** Varianssianalyysin tulokset kotien, kotakohtaisen sekä kasvikohtaisen siementuotannon osalta, kun faktoreina ovat olleet käsittelyaika (2.7., 15.7. ja 29.7) sekä käsittelytasot (10 % ja 50 %), kovariaattina on käytetty versojen korkeutta 1.7.

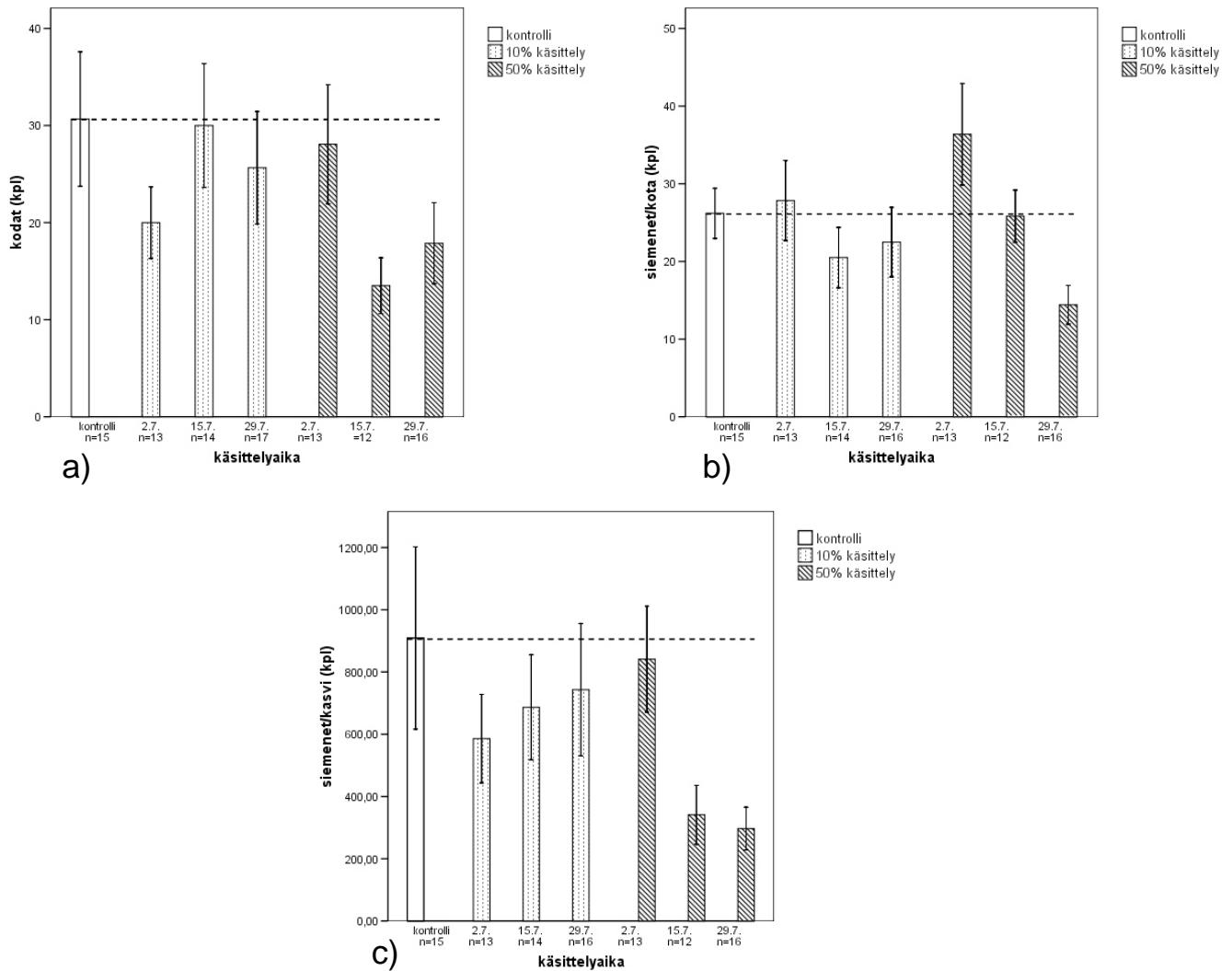
2-ANOVA	kodat <sup>a</sup>				siemeniä/kota <sup>b</sup>				siemeniä/kasvi <sup>b</sup>			
	Vaihtelun lähde	df	mean sq.	F	p	df	mean sq.	F	p	df	mean sq.	F
aika	2	1,464	1,84	0,166	2	17,678	4,43	0,015	2	320,651	2,61	0,080
käsittely	1	1,249	1,57	0,214	1	1,724	0,43	0,513	1	190,462	1,55	0,217
aika*käsittely	2	1,302	1,63	0,202	2	5,517	1,38	0,257	2	291,065	2,37	0,101
kovariaatti	1	25,728	32,27	<0,001	1	11,378	2,85	0,095	1	2686,329	21,83	<0,001
yhteensä	84				83				83			

<sup>a</sup> Ln x+1 muunnos, <sup>b</sup> neliöjuurimuunnos

**Taulukko 6** Käsittelyryhmien parittaiset vertailut käsittelyajan (2.7., 15.7. ja 29.7.) ja -tason (10 % ja 50 %) suhteen kotien sekä siementuotannon osalta. Vertailussa on käytetty least significant difference -menetelmää

Parittaiset vertailu		siemeniä/kota <sup>a</sup>		
LSD -testi	taso	aika	p	
10 %		2.7.	15.7	0,426
		15.7.	29.7.	0,280
		15.7.	29.7.	0,791
50 %		2.7.	15.7.	0,459
		29.7.	29.7.	0,003
		15.7.	29.7.	0,031
		siemeniä/kota		
aika	taso		p	
2.7.	10 %	50 %	0,321	
15.7.	10 %	50 %	0,311	
29.7.	10 %	50 %	0,322	

<sup>a</sup> neliöjuurimuunnos



**Kuva 11** a) kodat, b) kotakohtainen ja c) kasvikohtainen siementuotanto

Pylväät esittävät käsittelyryhmien keskiarvoja ja janat keskiarvon keskivirhettä (SE +/- 1).  
Katkoviivalla on merkitty kontrolliryhmän keskiarvo

#### 4.8. Kokeen aikana tuhoutuneet versot

Ketokatkeroina tuhoutui kokeen aikana pääasiassa kahdesta syystä, kuivuuden ja tiehallinnon tekemän niiton takia. Kokeen alkuun sattui noin kaksi viikkoa kestänyt kuiva ja lämmin kausi, joka aiheutti tutkimusalueen tietyillä kohdilla versojen kuivumisen ja kuoleman. Tiehallinnon niitto tuhosi osan kasveista elokuun puolen välin jälkeen, mutta niitossa tuhoutuneista versoista suurin osa oli jo aiemmin kuivuneita kasveja. Kuivuudesta tai niitosta johtuen kuolleiksi luokiteltiin kaikkiaan 39 kasvia. Kuivuuden aiheuttama hävikki oli 28 yksilöä. Kuolleita versoja ei ollut erityisesti jossakin tietyssä käsittelyryhmässä, vaan kuolleisuus oli riippuvainen siitä, missä kohdin kyseinen yksilö kasvoi. Eniten kuolleita yksilöitä oli viimeisen kerran 10 % käsittelytasolla (7 kpl). Nämä yksilöt olivat kuitenkin jo kuivia ennen käsittelyn tekemistä.

#### 4.9. Tietoja Joutsan ketokatkeropopulaatiosta vuonna 2004

Vuonna 2004 Joutsan ketokatkeropopulaatiosta laskettiin lähes 900 kukkivaa versoa (Uusitalo 2005, julkaisematon). Seuraavana kesänä näistä löytyi kaikkiaan 120 versoa, jotka olivat säilyneet talven yli. Näistä niitettyjä oli 53 ja niittämättömiä 67 kappaletta. Ylitalviset versot sijoittuivat pientareelle hyvin eri etäisyyksille tiestä: lähimmät olivat kasvaneet 63 senttimetrin ja kaukaisimmat kolmen metrin etäisyydellä asfaltin reunasta. Keskimääräinen etäisyys tiestä oli niitetyillä versoilla noin metrin ja niittämättömillä noin puolitoista metriä. Niittämättömien kasvien verson pituus oli keskimäärin jonkin verran suurempi (ka. 17,25 cm) kuin niitetyillä (ka. 14,71 cm). Havaittu ero verson pituudessa oli tilastollisesti merkitsevä ( $n = 120$ ;  $t = 2,33$ ;  $p = 0,021$ ). Niitetyillä kasveilla verson pituus vaihteli 7,5 ja 27,5 senttimetrin välillä ja niittämättömillä vastaavasti 5,8:sta 35,8 senttimetriin. Niitetyillä kasveilla niittokorkeus vaihteli noin neljästä sentistä lähes 16 senttiin. Keskimäärin niittokorkeus oli 7,6 senttiä. Niveliä oli eniten niittämättömissä versoissa (ka. 6,6 kpl) samoin kuin 1. asteen haaroja (ka. 9,5 kpl). Vastaavat keskiarvot niitettyjen kasvien osalta olivat 2,96 kpl ja 5,11. Ryhmät poikkesivat näiden ominaisuuksien osalta toisistaan erittäin merkitsevästi (nivelet:  $n = 120$ ;  $t = 17,024$ ;  $p < 0,001$  ja haarat:  $n = 120$ ;  $t = 5,281$ ,  $p < 0,001$ ). Kotien määrä vaihteli melkoisesti; niittämättömillä kasveilla 1-116 ja niitetyillä 2-136 kappaleeseen. Kotia on voinut lisäksi tuhoutua jonkin verran talven aikana. Niitetyillä kasveilla oli enemmän kotia (ka. 29,66 kpl) kuin niittämättömillä (ka 19,03 kpl). Ero oli merkitsevä ( $n = 120$ ;  $t = -2,256$ ;  $p = 0,026$ ). Kodissa oli myös ylitalvisia siemeniä, joita ei kuitenkaan laskettu.

### 5. TULOSTEN TARKASTELU

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan kontrolliryhmän kasvit olivat pääosin pärjänneet käsittelyryhmien kasveja paremmin. Kahden ominaisuuden verson pituuden ja ensimmäisen asteen haarojen osalta kaikki käsittelyryhmät alikompensoivat. Muista ominaisuuksista löytyi myös kompensatiota eli käsitellyt kasvit olivat samalla tasolla kontrolliryhmä kanssa. Huomattavaa on se, että käsittelyryhmien kasvit kykenivät kompensatioon erityisesti lisääntymisen kannalta tärkeissä ominaisuuksissa, kuten kota- ja kasvikohtaisessa siementuotannossa. Ylikompensatiota ei havaittu lainkaan.

#### 5.1. Säätilan sekä kasvupaikan vaikutukset

Koejakson alkuun sattui vuoden 2005 kesällä noin kahden viikon pituinen kuiva ja lämmin jakso. Sääolojen vaikutuksia ei tutkittu erikseen, vaan kuivuuden vaikutuksista saatiin havaintoja tutkimuksen aikana. Heinäkuun kahden ensimmäisen viikon aikana tietyiltä tutkimusalueen kohdilta kuivuivat lähes kaikki ketokatkerot käsittelyistä riippumatta. Osa toisen käsittelykerran kasveista oli 15.7. jo niin nuutuneita, etteivät ne kestäneet leikkausta, mikä osaltaan vaikutti kyseisten käsittelyryhmien lopullisiin yksilömääriin. Viimeisellä käsittelykerralla kuolleita yksilöitä voitiin jonkin verran korvata kontrolliryhmän kasveilla.

Kuivuuden aiheuttamat versojen kuolemiset osoittavat, että yhtenäiseltä vaikuttavalla tienpientareella on erilaisia pienympäristöjä. Tutkimusalueella nämä pienympäristöt olivat ilmeisesti muuta piennarta paahteisempia, sillä ne sijoittuivat alueille, joissa metsää ei ollut tai se oli matalampikasvuista. Näin ollen aurinko paistoi näille kohdille esteettömästi pidempään. Kuivuudella on aiemminkin todettu olevan merkitystä ketokatkeron selviytymiselle. Lennartsson ja Oostermeijer (2001) esittävät, että ilmaston mahdollinen kuivuminen lisää ketokatkeron häviämiskäyttöä erityisesti kuivilla kasvupaikoilla. Lisäksi Keski-Suomen ketokatkeropopulaatioissa huomattiin kuivuuden vaikutus poikkeuksellisen kuivana kesänä

2006, jolloin seurantalaskentojen yhteydessä havaittiin useita kuivuneita versoja. Esimerkiksi Joutsan populaatiosta laskettiin kesällä 2006 kaikkiaan 415 versoja, joista kuivuneita ja siemeniä tuottamattomia oli lähes puolet. Kuivuuteen kuolleet versot olivat pääosin tien länsipuolella, kun edellisenä kesänä ne olivat itäpuolen pientareella. Ketokatkeroiden määrät olivat muissakin populaatioissa varsin pienet ja kuivuuden vaikutuksia havaittiin myös muilla kasvupaikoilla (Uusitalo, julkaisematon). Piippo (1999) esittää kuitenkin, ettei koko vuoden sademäärillä ole vaikutusta kukkivien yksilöiden lukumäärään. Lisäksi keskimääräistä lämpimämpi kasvukausi lisää kukintaa sekä siementuotantoa ja vaikuttaa näin myös seuraavien vuosien yksilömääriin. Kasvukauden aikaista lämpötilaa Piippo (1999) pitää ketokatkeroiden kannalta tärkeänä yksittäisenä säätekijänä.

Kuivuuden on todettu siirtävän ketokatkeron kukinnan alkua myöhemmäksi. Tämän seurauksena on mahdollista, että ketokatkeron siemenet eivät ehdi kypsyä, mikäli kasvukausi ei ole riittävän pitkä (Lennartsson ym. 1998). Joutsan populaatioissa pääkukinta ajoittui maastohavaintojen perusteella heinäkuun loppuun ja elokuun puoliväliin. Vuonna 2004 ketokatkerot olivat olleet täydessä kukassa elokuun alussa (Uusitalo, julkaisematon). Uusitalo mainitsee myös, lähellä tietä kasvaneet katkerot olivat kukinnassa pidemmällä kuin alempana pientareella kasvavat. Keski-Suomen ketokatkeropopulaatioiden pääkukinnan on aiemmin todettu ajoittuvan heinä-elokuun vaihteesta elokuun loppuun (Välivaara & Saari 1994) ja viimeiset kukkivat yksilöt on tavattu lokakuussa. Joutsassa oli joitakin yksittäisiä kukkia auki syyskuun lopulla, kun koe päätettiin. Kuivuuden vaikutuksesta kukinta-aikaan ei voida tehdä johtopäätöksiä, koska aiempia tietoja populaation kukinnan ajoittumisesta ei ole. Tässä tutkimuksessa ei myöskään huomioitu kotia, jotka eivät olleet kypsiä kokeen päättyessä.

Suurin osa kokeeseen mukaan tulleista ketokatkerosta sijoittui noin metrin levyiselle alueelle alkaen puolen metrin etäisyydeltä päällysteen reunasta. Versojen alkukorkeuden ja etäisyyden tienreunasta todettiin korreloivan positiivisesti toistensa kanssa. Kauempana tiestä kasvoi siis keskimäärin suurempia katkeroita. Verson etäisyys tiestä vaikuttaa pientareilla siihen tuleeko verso niitetyksi vai ei. Vuodelta 2004 säilyneistä versoista niittämättömät olivat kasvaneet keskimäärin puoli metriä kauempana tien reunasta. Kasvupaikan voisi olettaa vaikuttavan esimerkiksi toisen asteen haarojen määrään tai lisääntymismenestykseen vaikuttaviin tekijöihin. Kontrolliryhmää tarkasteltaessa mitään tällaista yhteyttä ei kuitenkaan havaittu. Koska piennar on kuitenkin suhteellisen kapea, on todennäköistä että ketokatkeroiden siemenet leviävät koko pientareen alueelle. Näin ei pääse syntymään tietylle etäisyydelle tiestä sopeutunutta ketokatkerolinjaa, jonka kasvit joko hyötyisivät tai kärsisivät katkeamisesta niiton yhteydessä.

## **5.2. Pohja- ja kenttäkerroksen peittävydet sekä seuralaislajisto**

Pohjakerroksen peittävydet vaihtelivat <25 %:sta yli 75 %:iin, mutta suurin osa versoista sijoittui kuitenkin pienten peittävyksien luokkiin. Tämän ilmiön saattoi havaita myös silmämääräisesti eli alueella ketokatkeroita kasvoi etenkin paljaalla maalla. Syyskuussa löytyi myös ruusuketaimia, jotka nekin kasvoivat suurelta osin paljaalla maalla. Tämä voisi vahvistaa sitä käsitystä, että ketokatkero tarvitsee itääkseen paljasta maanpintaa ja että vahva pohjakerroksen kasvillisuus voi tukahduttaa ruusuketaimien kasvun ensimmäisenä kasvukautena. Hoidon kannalta olisi siis hyvä paljastaa maanpintaa ketokatkeroiden kasvualueilta. Aiemmassa tutkimuksessa (Lennartsson & Oostermeijer 2001) ovat todenneet karikkeen heikentävän ruusukkeiden kehittymistä ja selviytymistä. Vastaava vaikutuksen aiheuttanee myös tiivis sammal- tai muu kasvillisuuskerros. Kenttäkerroksen peittävydellä oli merkitsevä vaikutus ketokatkeroiden verson pituuteen ennen leikkauskäsittelyä. Tähän lienee syynä valokilpailu, jolloin tiheämmässä kasvillisuudessa kasvavien katkeroiden kannattaa kasvaa pituutta. Haarojen määrään kenttä- ja pohjakerroksen peittä-

vyydellä ei näytä olevan vaikutusta. Pienten peittävyksien kasvupaikoilla ei siis ollut runsaammin haaroja. Sekä pohja- että kenttäkerroksesta tulisi olla tieto myös niiden korkeudesta tai paksuudesta.

Koealueelta löydettiin kaikkiaan 47 putkilokasvilajia, joista osa on määritetty sukutalolle. Lajit olivat pääosin tyypillisiä pientareiden ja muiden avoimien ja valoisien paikkojen kasveja. Ketokatkeron lisäksi tutkimusalueella kasvoi melko runsaasti ketonoidanlukkua, joka on valtakunnallisesti silmälläpidettävä ja alueellisesti uhanalainen eteläboreaalisella vyöhykkeellä (Järvi-Suomi). Lisäksi aivan tutkimusalueen ulkopuolella kasvoi ketoneilikkaa, joka on myös arvioitu valtakunnallisesti silmälläpidettäväksi lajiksi. Näiden molempien lajien lisääntymiskausi sijoittuu alkukesään ja ne voivat kärsiä ketokatkeron hoitotoimiin liittyvästä aikaisemmasta niitosta. Ketokatkeron on selvästi myöhäisempi kukkija kuin sen seuralajit Joutsan populaatiossa. Näin se tarjoaa mesilähteen mm. perhosille, joista ainakin sitruuna- ja lanttuperhonen vierailivat ketokatkeroiden kukissa heinäkuun lopussa ja elokuun puolivälissä.

### **5.3. Niittokorkeuden ja -ajan vaikutukset ketokatkeroiden kasvuun ja lisääntymismenestykseen**

Versojen pituuden osalta käsittelyryhmien kasvit olivat pienempiä eli ne alikompensoivat (taulukko 9). Horkkakatkerolla tehdyssä tutkimuksessa (Pulkinen 2004) havaittiin myös, etteivät käsitellyt kasvit kyenneet kompensoimaan pituuskasvua kontrolliryhmään verrattuna. Kasvun osalta käsittelyryhmiä on ehkä tarpeetonta verrata kontrolliryhmään vaan vertailu suoritetaan ennen leikkausta olleeseen verson pituuteen. Osa käsitellyistä kasveista kykeni saavuttamaan tai ylittämään ennen käsittelyä olleen pituuden. Onkin varsin ymmärrettävää, etteivät käsitellyt kasvit voi saavuttaa samoja mittoja kuin kontrollit niin verson pituuden kuin kasvun suhteen. Sen sijaan kuivapainossa kontrolli- ja käsittelyryhmien välillä ei ole eroja ja monet käsittelyryhmät kompensoivat tämän ominaisuuden suhteen. Tämä johtunee siitä, että käsiteltyjen kasvien biomassassa kasvaa niiden haarottua leikkauskäsittelyn jälkeen. Lisäksi kuivapainoon vaikuttaa myös leikatun osan paino, joka on luonnollisesti suurempi myöhemmin leikatuissa kasveissa. Leikattujen kasvien on todettu kompensoivan tai ylikompensoivan maanpäällisen biomassan tuotannon, jopa 75 % käsittelytasolla eteläisemmässä Ruotsissa sijainneessa populaatiossa (Huhta ym. 2000). Samassa tutkimuksessa Keminmaan populaatiot kompensoivat suurinta vaurioluokkaa lukuun ottamatta. Biomassan mittaustavoissa saattaa olla eroja tämän ja Huhdan ym. (2000) tutkimuksen välillä, mutta tulokset ovat kuitenkin samansuuntaiset Suomen populaatioissa. Ruotsin populaatioissa biomassassa kompensatio oli alemmilla vauriotasoilla moninkertainen kontrolleihin verrattuna. Tällaista ylikompensaatiota ei havaittu Joutsassa tässä tutkimuksessa.

Käsittelytasolla sekä käsittelyajalla oli vaikutusta verson loppupituuteen, kasvuun käsittelyn jälkeen sekä kuivapainoon. Näiden kaikkien ominaisuuksien kohdalta löytyi faktoreiden väliltä merkitsevä yhdysvaikutus, mikä merkitsee sitä, että niittokorkeudella ja -ajalla oli erilainen vaikutus lopputulokseen. Hyvin selvästi tämä näkyi etenkin versojen pituudessa, sillä 10 % käsittelytasolla versot olivat pidempiä heinäkuun lopun ryhmässä ja vastaavasti 50 % tasolla pienimpiä. Käsittelytason ja -ajan erilainen vaikutus selittyy sillä, että kasvien koko kasvaa kasvukauden aikana, minkä seurauksena käsittelyajan merkitys 10 % tasolla pysyy suunnilleen samana, kun taas 50 % poistolla on suurempi vaikutus.

Joutsan ketokatkeropopulaatiossa käsittelyryhmien kasvit kompensoivat toisen asteen haarojen suhteen, yhtä ryhmää lukuun ottamatta. Ensimmäisen asteen haaroja käsitellyt kasvit tuottivat kuitenkin kontrollikasveja vähemmän ja haarojen yhteismäärässä vain kolme ryhmää kompensoi (taulukko 9). Lennartsson ym. (1998) ovat havainneet leikattujen ketokatkeroiden tuottavan enemmän haaroja. Samanlaisen tulokseen ovat tulleet myös

Huhta ym. (2000). Toisaalta Huhta ym (2000) tutkimuksessa Keminmaan populaatiossa ei syntynyt lainkaan toisen asteen haaroja ja ensimmäisen asteen haarojen osalta käsittelyryhmät alikompensoisivat. Joutsan populaatio näyttääkin edustavan haarojen osalta näiden kahden populaation välimuotoa. Haarojen osalta käsittelytaso näytti olevan tärkein tekijä, tosin kovariaattina käytetty alkukorkeus oli kaikkien haarojen määrä kuvaavien muuttujien osalta erittäin merkitsevä. Käsittelyn vaikutus näkyi etenkin ensimmäisen asteen haaroissa, mikä taas johtuu pääverson nivelten määrästä, joka käsittelyjen jälkeen ei muutu. Ensimmäisen asteen haaroja oli enemmän 10 % käsittelytasolla ja haarojen määrä pysyi ajan kuluessa lähes samana. Toisen asteen haarojen kohdalla tulokset menevät ristiin niin, ettei käsittelytasolla tai -ajalla näytä olevan merkitsevää vaikutusta. Kuitenkin voidaan sanoa, että 50 % käsittelytasolla myöhäisempi käsittelyaika vähentää toisen asteen haarojen määrää.

**Taulukko 7 Käsittelyryhmien ja kontrolliryhmän väliset erot** Taulukossa esitetään yhden otoksen keskiarvotestien tulokset käsittelyryhmien ja kontrolliryhmän välillä. Tiedot ovat seuraavasti: kompensaa-tio (alikompen-saatio = - ja kompen-saatio = 0), t-testin testisuure ja p-arvo. Harmaalla taustalla olevat ryhmät ovat kompensoineet kyseisen ominaisuuden suhteen.

taso	aika	verson pituus	1.asteen haarat	2.asteen haarat	haarojen kokonais- määrä	kokonais- kuivapaino	kodat	siemenet /kota	siemenet /kasvi
	2.7.	- -4,758 /<0,001	- - 11,421/ <0,001	0 -0,930/ 0,371	- -2,976 0,012	- -2,456/ 0,030	- -2,892 0,014	0 0,321/ 0,754	- -2,272/ 0,042
10 %	15.7.	- -4,368/ <0,001	- - 11,389/ <0,001	0 1,167/ 0,264	0 -0,205 0,841	0 -0,049/ 0,962	0 - 0,105/ 0,918	0 -1,464/ 0,167	0 -1,317/ 0,210
	29.7.	- -3,216/ 0,005	- -6,507/ <0,001	0 0,136/ 0,894	0 -0,938 0,362	0 -0,474/ 0,642	0 - 0,868/ 0,398	0 -0,827/ 0,421	0 -,781/ 0,447
	2.7.	- -4,506/ 0,001	- - 13,051/ <0,001	0 0,455/ 0,657	0 -0,965 0,354	0 0,104/ 0,919	0 - 0,422/ 0,680	0 1,563/ 0,144	0 -0,400/ 0,696
50 %	15.7.	- - 10,226/ <0,001	- - 18,714/ <0,001	- -4,030/ 0,002	- -7,673 <0,001	- -7,947/ <0,001	- - 5,967/ <0,001	0 -0,110/ 0,914	- -6,002/ <0,001
	29.7.	- -9,403/ <0,001	- - 12,246/ <0,001	0 -1,590/ 0,133	- -3,832 0,002	0 0,099/ 0,923	- - 3,067/ 0,008	- -4,709/ <0,001	- -8,944/ <0,001

Lisääntymismenestystä mitataan tuotettujen siementen määrällä, mutta myös kotien määrällä. Ketokatkerolla on todettu leikattujen kasvien tuottavan enemmän kypsiä kotia ja siemeniä kuin leikkaamattomien. Lisäksi kotatuotannon on todettu kasvaneen jopa nelinkertaiseksi (Lennartsson ym. 1998). Joutsan populaatiossa ketokatkerot eivät ylikompensoineet missään lisääntymismenestystä mittaavassa muuttujassa (taulukko 9). Kompensaa-tiota tosin esiintyi niissä kaikissa, eniten kotakohtaisessa siementuotannossa. Vastaava

tulos on saatu Keminmaan populaatiossa (Huhta ym. 2000), jossa ylikompensaatiota ei esiintynyt, mutta alemmilla vauriotasoilla havaittiin kompensaatiota kotien ja siementen määrässä. Suurin 75 % käsittelytaso aiheutti alikompensaatiota.

Välivaara ja Saari (1994) havaitsivat keskisuomalaisten ketokatkeroiden tuottavan keskimäärin 7,9 kotaa versoa kohti, 55,5 siementä versoa kohti ja kasvikohtaiseksi siementuotannoksi he saivat 450 siementä. Joutsan populaatiossa kotien määrä oli huomattavasti suurempi, mutta kotakohtainen siementuotanto selvästi pienempi. Arvio kasvikohtaisesta siementuotannosta oli myös kontrollikasveilla keskimäärin suurempi kuin Välivaaran ja Saaren (1994) esittämä arvio.

Siementuotannossa havaittiin ylikompensaatiota Huhdan ym. (2000) tutkimuksessa, jossa ruotsalaisessa katkeropopulaatiossa 10 % ja 50 % käsittelytasoilla esiintyi ylikompensaatiota kotien tuotannossa ja 75 % tasolla kompensaatiota. Keminmaan populaatiossa alemmat vauriotasot kompensoivat, mutta 75 % vauriotaso heikensi lisääntymismenestystä. Ruotsin populaatiossa käsittelyillä ei ollut vaikutusta kotakohtaiseen siementuotantoon, mutta Keminmaalla korkein vauriotaso tuotti vähemmän siemeniä per kota.

Poistettavan versonosan pituus kasvaa kasvukauden loppua kohti eli kasvit ovat suurempia, joten ne menettävät suhteessa enemmän biomassaa. Kun saadun aineiston tietoja käytettiin laskennallisesti arvioimaan kuinka paljon niitto 10 senttimetrin korkeudelta poistaa versosta eri aikoina saatiin seuraavat keskimääräiset tulokset: 2.7. n. 20 %, 15.7. n. 30 % ja 29.7. n. 50 %. Kaikissa ryhmissä oli myös versoja, jotka jäivät niittämättä, mutta toisaalta myös pitkiä versoja, joiden pituudesta hävisi yli 50 %. Niittokorkeuden alapuolella jääneitä kasveja oli vastaavasti 2.7. 6 kpl, 15.7. 4 kpl ja 29.7. 2 kpl. Vuonna 2004 niitossa katkenneiden kasvien perusteella niittokorkeudessa on varsin paljon vaihtelua ja keskimääräinen niittokorkeus jäi alle 10 cm. Mikäli tiehallinnon niitto todella poistaa heinäkuun alkupuolella 20 -30 % biomassasta, voidaan todeta, ettei niitolla pitäisi olla haitallisia vaikutuksia ketokatkeron menestymiseen kyseisellä kasvupaikalla.

## 5.5. Johtopäätökset

Tulosten perusteella ketokatkeron sietää niittoa, mutta ei hyödy siitä ainakaan niin, että lisääntymismenestys suoranaisesti kasvaisi. Niiton on myös tapahduttava sopivana ajankohtana, sillä liian myöhään tehty niitto heikentää siementuotantoa. Aikaisin tehdystä 50 % niitosta näyttää olevan vähemmän haittaa kuin myöhemmin tehdystä. On tosin huomattava, että tässä tutkimuksessa 50 % käsittely 15.7. antoi lähes kaikissa ominaisuuksissa heikompia tuloksia. Tämä voi johtua sattumasta, jonka seurauksena kyseiseen käsittelyryhmään on valikoitunut poikkeuksellisen heikkoja yksilöitä, jotka ovat esimerkiksi kärsineet kuivuudesta muita enemmän.

Joutsan populaation kasvupaikka on niitetty tiehallinnon toimesta heinäkuun alkupuolella. Tämä niittoajankohta kannattaa säilyttää edelleen. Perinteinen niittoaika heinäelokuun vaihteessa ei sovi ketokatkerolle, koska sen pääkukinta osuu juuri kyseiseen ajankohtaan. Niittokorkeudella on merkitystä, mikäli niitto tehdään heinäkuun lopulla, sillä suurempi biomass poisto vähentää huomattavasti siementuotantoa. Niitto korkeammalta ei vaurioita ketokatkeron niin, että niiden siementuotanto vaarantuisi merkittävästi. Vastaavasti heinäkuun alussa tehty 50 % käsittely tuotti käsittelyryhmistä suurimman kasvikohtaisen siementuotannon. On kuitenkin huomattava, että kontrolliryhmän kasvit tuottivat yhtä paljon tai enemmän siemeniä ja kotia kuin käsitellyt kasvit. Kasvien runsaalla haaroimisella ei näytä näin olevan positiivista vaikutusta kotien tuotantoon ja tätä kautta kasvikohtaiseen siementuotantoon. Näin ollen niitto ei näytä lisäävän ketokatkeron lisääntymismenestystä tämän tutkimuksen perusteella. Niitto voi kuitenkin vaikuttaa ketokatkeron menestymiseen myös muilla tavoin mm. pitämällä ympäröivän kasvillisuuden matalana sekä estämällä umpeenkasvua. Lisäksi aikainen niitto voi pitää kurissa lupiinikasvustoja,

jotka aloittavat kukintansa kesä-heinäkuussa, ja estää niitä leviämistä ketokatkeron kasvupaikalle.

Joutsan ketokatkerokasvupaikka poikkeaa muista Keski-Suomen populaatioista, sillä se on ainoa tienpiennarkasvupaikka. Näin ollen tämän tutkimuksen tulosten soveltaminen suoraan muiden populaatioiden hoitoon on arveluttavaa. Ainoa selkeä tulos, jota voidaan soveltaa myös muissa populaatioissa, on niittoaika. Lähes kaikki Keski-Suomen populaatiot on katsottu kuuluvaksi syysketokatkerorotuun, jonka kukinta sijoittuu heinä-elokuun vaihteeseen. Perinnebiotooppien hoitotoimiin kuuluu olennaisesti niitto heinäkuun loppupuolella, jolloin suurin osa niittykasveista tuottaa jo siementä. Tämän ei kuitenkaan sovi ketokatkerolle ja sen kasvupaikoilla hoitotoimet tulisikin ajoittaa heinäkuun alkupuolelle. Toinen vaihtoehto olisi myöhäinen niitto syyskuussa, jolloin ketokatkeron siemenet olisivat jo ehtineet kypsyä. Myöhäisestä niitosta ainoana hoitomuotona on kuitenkin huonoja kokemuksia Ruotsista (Lennartsson & Oostermeijer 2001). Myöhäisen niiton seurauksena siementuotanto laskee ja populaation häviämiskahva nousee suureksi. Samassa tutkimuksessa parhaana hoitomuotona pidettiin heinäkuun puolivälissä tapahtuvaa niittoa sekä syksyistä laidunnusta.

Mikäli ketokatkeropopulaatioita hoidetaan niittämällä heinäkuun alkupuolella, voidaan niitto mielestäni suorittaa viikatteella tai muulla leikkaavateräisellä välineellä katkeroita erikseen varomatta. Niitto olisi kuitenkin hyvä tehdä selvästi maanpinnan yläpuolelta, jolloin ketokatkeroiden vaurioituminen olisi vähäisempää. Saamieni tulosten sekä tekemieni maastohavaintojeni perusteella uskon, että ketokatkeroiden pituuskasvu on vähäistä alkukesällä, mistä johtuen niitto ei välttämättä vahingoita katkeroita lainkaan tai vain vähän. Saman havainnot ovat tehneet Väliavaara ja Saari (1994), jotka mainitsevat ketokatkeroiden olleen kesäkuun puolivälissä vain parin sentin korkuisia. Osa kasveista saattaa katketa niitossa, mutta siitä ei todennäköisesti ole niille suurta haittaa. Lisäksi osa kasveista ei katkea lainkaan, mikä osaltaan varmistaa populaation siementuotannon. Ketokatkeropopulaatioiden hoidossa kannattaisi harkita myös niin sanotun kevätkunnostuksen toteuttamista. Tämän on perinteinen lehtoniittyjen hoito-muoto, jossa ennen kasvukauden alkua huhti - toukokuussa niityltä haravoidaan sinne kertynyt karike ja poistetaan mahdolliset oksat ja puiden vesat (Hæggström ym. 1995). Haravoimalla niitty keväällä rikotaan myös maanpintaa ja poistetaan mahdollista sammalkerrosta. Keväällä tehtävä haravointi ei todennäköisesti vahingoittaisi ketokatkeron taimia, sillä ne talvehtivat silmuina ja lähtevät kasvuun vasta myöhemmin kesällä.

Laidunnuksesta tai maanpinnan rikkomisesta muulla tavoin näyttää olevan hyötyä siementen itämiselle ja ruusukkeiden kehittymiselle. Tässä tutkimuksessa havaitsin ketokatkeroiden suosivan paljasta maanpintaa, minkä voi katsoa vastaavan laidunnuksen aiheuttamaa maanpinnan rikkoutumista. Tästä johtuen pidänkin tärkeänä jatkotutkimuksen aiheena maanpinnan rikkomisen vaikutusten selvittämistä. Tästä on olemassa jo tietoja Isojärven kansallispuiston Luutsaaresta, jossa ketokatkeropopulaatiota on seurattu 1990-luvulta alkaen (Metsähallitus, julkaisematon). Hoitotoimina on tehty maanpinnan paljastamista useilta neliömetrin ruuduilta. Seurantatulokset viittaavat siihen, että maanpinnan paljastaminen ruutujen alalta lisää kukkivien versojen määrää kahden vuoden viiveellä. Seuranta-aineistoa ei ole kuitenkaan kerätty tilastollista tarkastelua ajatellen. Vastaavalla menetelmällä voitaisiin kuitenkin tehdä myös koeasetelma esimerkiksi Joutsan populaatioissa ja sen avulla seurata maanpinnan paljastumisen vaikutuksia ketokatkeroiden määriin. Tämä vaatisi kuitenkin usean vuoden seurannan, koska ketokatkeron on kaksivuotinen laji.

Hoidon kannalta tärkeää olisi myös selvittää mikä on ketokatkeron elinkierron kriittisin vaihe. Erityisesti huomiota tulisi kiinnittää ruusukevaiheeseen, joka voi hyvinkin osoittautua ratkaisevaksi populaatioiden säilymistä kannalta. Ruusukkeiden koko edellisenä kasvukautena määrää ketokatkeron kukkaverson koon ja sen seurauksena myös siemen-



tuotannon. Laidunnuksella on todettu olevan sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia ruusukkeiden selviytymiseen. Myös korkean kasvillisuuden on todettu pienentävän ruusukkeiden kokoa, mikä vaikuttaa ruusukkeiden selviytymiseen sekä kasvien kokoon seuraavana kasvukautena. Myös kuivuuden on todettu vaikuttavan haitallisesti ruusukkeiden muodostumiseen ja selviytymiseen (Lennartsson & Oostermeijer 2001). Vuoden 2006 kuivuuden vaikutukset saattavat näkyä kesällä 2007 kukkivien yksilöiden vähäisenä määränä useissa populaatioissa. Ruusukkeiden tutkiminen onnistunee parhaiten vasta loppukesällä tai alkusyksystä, jolloin ruusukkeet ovat selvemmin havaittavissa. Mielenkiintoista olisi myös selvittää miten ruusukkeiden kehittyminen kesän kuluessa etenee.

Toistaiseksi ketokatkerolta ei ole havaittu ylikompensaatiota Suomen oloissa. Sama tilanne on lähilajilla horkkakatkerolla (Huhta ym. 2003, Pulkkinen 2004). Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu ylikompensaation liittyvän vaurioajankohtaan. Ruotsissa myös perinteinen niittoajankohta on ilmeisesti ollut aiempi kuin Suomessa. Voiko siis olla mahdollista, ettei ketokatkeropopulaatioissa Suomessa esiinny lainkaan ylikompensaatiota, koska perinteinen niittoaika on estänyt ylikompensaatiokyvyn kehittymisen vaurioittamalla kasveja juuri niiden parhaaseen kukinta aikaan? Kasvukauden pituus ei siis välttämättä ole ainoa selitys ylikompensaation puuttumiselle Suomen tutkituista keto-katkeropopulaatioista.

## **KIITOKSET**

Tämän pro gradu -työn valmistumiseen ovat vaikuttaneet useat eri tahot. Aiheen työhön sain Keski-Suomen ympäristökeskuksen suunnittelubiologi Anna Uusitalolta, lisäksi ympäristökeskus antoi auton käyttöni maastokäyntejä varten. Anna Uusitalon kanssa pääsin tutustumaan myös muihin Keski-Suomen ketokatkeropopulaatioihin. Ohjaajani professori Johanna Mappes sekä lehtori Veli Saari ovat antaneet hyviä vinkkejä ja kommentteja työn edetessä. Tilastollisissa menetelmissä on auttanut lehtori Harri Högmänder matematiikan ja tilastotieteen laitokselta. Taloudellisesti tutkimuksen tekoa on tukenut Suomen Biologian Seura Vanamo ry. Lopuksi haluan kiittää vanhempiani kaikesta tuesta.

## KIRJALLISUUS

- Begon, M., Harper, J.L. & Townsend, C.R. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Science, Oxford.
- Belsky, A.J. 1986: Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *Am.Nat.* 127: 870-892.
- Crawley M.J. 1997a: Life history and environment. - Teoksessa: Crawley, M.J, (toim.): *Plant ecology*, 2. painos, Blackwell, Oxford, ss. 73-131.
- 1997b: Plant - herbivore dynamics. - Teoksessa: Crawley, M.J. (toim.): *Plant ecology*. 2. painos, Blackwell, Oxford. ss. 401-474.
- Eriksen, M., Bjureke, K.E., & Dhillion, S.S. Mycorrhizal plants of traditionally managed boreal grasslands in Norway. *Mycorrhiza* 12: 117-123.
- Huhta, A-P., Hellström, K., Rautio, P. & Tuomi, J. 2003
- Huhta, A-P., Lennartsson, T., Tuomi, J., Rautio, P. & Laine, K. 2000: Tolerance of *Gentianella campestris* in relation to damage intensity: an interplay between apical dominance and herbivory. *Evol. Ecol* 14: 373-392.
- Hellström, K., Rautio, P. & Tuomi, J. 2003: Grazing tolerance of *Gentianella amarella* and other monocarpic herbs: why is tolerance highest at low damage levels? *Plant ecology* 166: 49-61
- Hægström, C-A., Heikkilä, T., Peipponen, J. & Vuokko S. 1995. *Toukohärkä ja kultasiipi: niityt ja niiden hoito*. Otava, Keuruu.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, S. 1986: *Retkeilykasvio*. 3. uudistettu painos, Suomen luonnonsuojelun tuki oy., Helsinki.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. (toim.) 1998: *Retkeilykasvio*. 4. uudistettu painos. Luonnontieteellinen keskusmuseo, kasvimuseo, Helsinki.
- Ilmatieteenlaitos 2007a. Ilman lämpötila.  
[http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot\\_4.html](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_4.html). Luettu 23.3.2007.
- Ilmatieteenlaitos 2007b. Ilmastollinen vertailukausi 1971-2000.  
[http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot\\_100.html#6](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_100.html#6). Luettu 23.3.2007.
- Lennartsson, T. 1997: Demography, reproductive biology and adaptive traits in *Gentianella campestris* and *G. amarella*. Evaluating grassland management for conservation by using indicator plant species. Doctoral thesis. Swedish university of agricultural sciences. Uppsala 1997.
- Oostermeijer, J.G.B. 2001. Demographic variation and population viability in *Gentianella campestris*: effects of grassland management and environmental stochasticity. *Journal of Ecology* 89: 451-463.
- Tuomi, J. & Nilsson, P. 1997: Evidence for evolutionary history of overcompensation in the grassland biennial *Gentianella campestris* (Gentianaceae). *Am.Nat.* 149: 1147 - 1155.
- Nilsson, P. & Tuomi, J. 1998: Induction of overcompensation in the field gentian, *Gentianella campestris*. *Ecology* 79: 1061-1072.
- Oostermeijer, J.G.B., van Dijk, J. & den Nijs, H.C.M. 2000: Ecological significance and heritability of floral reproductive traits in *Gentianella campestris* (Gentianaceae). *Basic. Appl. Ecol.* 1: 69-81.
- McNaughton, S.J. 1983: Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos* 40: 329-336.
- Millberg, P. 1994: Germination ecology of endangered grassland biennial *Gentianella campestris*. *Biol.Cons.* 70: 287 - 290.
- Mossberg, B. & Stenberg, L. 2005: *Suuri Pohjolan kasvio*. Tammi, Helsinki.

- Nummela-Salo, U. & Salo, P. 1995: *Ketokatkeron (Gentianella campestris (L.) Böner) suojelusuunnitelma Oulun ja Lapin läänien osalta*. Yleinen osa. Oulun yliopiston kasvimuseo, Oulu
- Paige, K.N. 1999: Regrowth following ungulate herbivory in *Ipomopsis* aggregate: geographic evidence for overcompensation. *Oecologia* 118:316-323.
- Paige, K.N. & Whitham, T.G. 1987: Overcompensation in response to mammalian herbivory: the advantage of being eaten. *Am.Nat.* 129: 407-416.
- Piippo, S. 1999. *Ketokatkeron (Gentianella campestris) lisääntymismenestyksestä Keski-Suomessa*. Pro-gradu -työ. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.
- Pykälä, J. 2001. *Perinteinen karjatalous luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjänä*. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki
- Pulkkinen, S. 2004: Simuloidun herbivorian vaikutukset horkkakatkeron (*Gentianella amarella*). Pro-gradu -työ. Oulun yliopisto, Oulu.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) 2001: Suomen lajien uhanalaisuus 2000. -Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Rautiainen, V-P., Rytteri, T., Kurto, A. & Väre, H. (toim.) 2002. *Putkilokasvien uhanalaisuuden arviointi - lajikohtaiset perustelut*. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Rytteri, T. 1997: Ketokatkeron - fältgentiana. -Teoksessa: Rytteri, T. & Kettunen, T.(toim.): *Uhanalaiset kasvimme*, Kirjayhtymä Oy ja Suomen ympäristökeskus, Helsinki, ss. 160 -161
- Syrjänen, K. & Rytteri, T. 1998. *Uhanalaisten kasvien seuranta*. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Salminen, P. & Kekäläinen H. 2000. *Perinnebiotooppien hoito Suomessa. Perinnemaismien hoitotyöryhmän mietintö*. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Strauss, S.Y. & Agrawal, A.A. 1999. Cost of induced responses and tolerance to herbivory in male and female fitness components of wild radish. *Evolution* 53: 1093-1104
- Uusitalo, A. 2002. *Ketokatkeron (Gentianella campestris) Keski-Suomen esiintymien hoitosuunnitelma*. Käsikirjoitus. Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä.
- Välivaara, R. & Saari, V. 1994. *Ketokatkeron (Gentianella campestris) esiintyminen, suojeleminen ja hoito Keski-Suomessa*. Jyväskylän yliopiston museon julkaisuja, Jyväskylä.
- Wegener J.B. & Odasz A.M. 1997: Effects of laboratory simulated grazing on biomass of the perennial Arctic grass *Dupontia fisheri* from Svalbard: evidence of overcompensation. *Oikos* 79:496-502

## Liite 1 Joutsan ketokatkeroesiintymän putkilokasvilajisto

Lajien runsaus on arvioitu silmämääräisesti koko tutkimusalueelta neliportaisella luokituksella: 1 = niukka, 2 = melko niukka, 3 = melko runsas ja 4 = runsas. Esiintymisfrekvenssi kuvaa koekasvien lähellä kasvaneiden lajien esiintymistä

tieteellinen nimi	laji	runsaus	esiintymis- frekvenssi
<i>Achillea millefolium</i>	siankärsämö	3	11
<i>Agrostis capillaris</i>	nurmirölli	3	4
<i>Alchemilla sp.</i>	poimulehti sp	1	8
<i>Antennaria dioica</i>	kissankäpälä	1	0
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	sianpuolukka	2	0
<i>Betrula pentula</i>	rauduskoivu	2	2
<i>Botrychium lunaria</i>	ketonoidanlukko	2	1
<i>Calamagrostis epigejos</i>	hietakastikka	3	24
<i>Calluna vulgaris</i>	kanerva	3	15
<i>Campanula rotundifolia</i>	kissankello	1	0
<i>Crepis tectorum ssp. tectorum</i>	kallioketokeltto	2	7
<i>Dactylis glomerata</i>	koiranheinä	1	1
<i>Empetrum nigrum</i>	variksenmarja	1	0
<i>Eupharsia stricta</i>	ketosilmäruoho	2	11
<i>Festuca rubra</i>	punanata	4	104
<i>Fragaria vesca</i>	ahomansikka	2	0
<i>Galium album</i>	paimenmatara	2	0
<i>Gentianella campestris</i>	ketokatkero	2	14
<i>Juniperus communis</i>	kataja	2	0
<i>Knautia arvensis</i>	ruusuruoho	1	0
<i>Lathyrus pratensis</i>	niittynätkelmä	1	0
<i>Leontodon hipidus</i>	kesämaitiainen	3	0
<i>Leucathemum vulgare</i>	päivänkakkara	3	1
<i>Linaria vulgaris</i>	kannusruoho	2	1
<i>Luzula multiflora</i>	nurmipiippo	1	1
<i>Phleum pratense</i>	nurmitähkiö	1	1
<i>Picea abies</i>	kuusi	1	0
<i>Pilosella officinarum ssp. pilosella</i>	huopakeltano	2	0
<i>Pimpinella saxifraga</i>	pukinjuuri	3	24
<i>Pinus sylvestris</i>	mänty	2	12
<i>Plantago major</i>	piharatamo	2	3
<i>Prunella vulgaris</i>	niittyhumala	2	7
<i>Ranunculus acris</i>	niittyleinikki	1	1
<i>Rhinanthus minor</i>	pikkulaukku	1	18
<i>Rhinanthus serotinus</i>	isolaukku	1	5
<i>Rumex acetivella</i>	ahosuolaheinä	2	4
<i>Salix sp.</i>	paju sp.	1	0
<i>Silene vulgaris</i>	nurmikohokki	2	0
<i>Solidago virgaurea</i>	kultapiisku	1	1
<i>Tanacetum vulgare</i>	pietaryrtti	1	0
<i>Taraxacum sp</i>	voikukka	2	9
<i>Trifolium hybridum</i>	alsikeapila	2	0
<i>Trifolium pratense</i>	puna-apila	4	54
<i>Trifolium repens</i>	valkoapila	2	7
<i>Vaccinium myrtillus</i>	mustikka	1	0
<i>Vicia cracca</i>	hiirenvirna	2	11
<i>Viola canina</i>	aho-orvokki	1	10