

## **Pajulinnun syysmuuton suuntautuminen Hangon lintuasemalla**

Solveig Roos  
Pro gradu, joulukuu 1995  
Populaatiobiologian osasto  
Ekologian ja systematiikan laitos  
Helsingin yliopisto

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta — Fakultet Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos — Institution Ekologian ja systematiikan laitos, populaatiobiologian osasto	
Tekijä — Författare Solveig Ilona Roos			
Työn nimi — Arbetets titel Pajulinnun syysmuuton suuntautuminen Hangon lintuasemalla			
Oppiaine — Läroämne Morfologis-ekologinen eläintiede			
Työn laji — Arbetets art Pro gradu -tutkielma		Aika — Datum 13.12.1995	Sivumäärä — Sidoantal 33
Tiivistelmä — Referat Pajulintu <i>Phylloscopus trochilus</i> on Afrikkaan Saharan eteläpuolelle muuttava hyönteissyöjä. Pajulintu on yömuuttaja. Jotta linnut osaisivat muuttaa, on niiden käytettävä erilaisia kompassia, joista tunnetuimmat ovat aurinko-, tähti- ja magneetikompassi. Tein pajulinnuilla suunnistautumiskokeita Hankoniemen kärjessä sijaitsevalla Hangon lintuasemalla elo-syyskuussa vuosina 1994-95. Tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako Hankoniemen maantieteellinen sijainti ja muoto lintujen muuttosuuntaan. Tutkimusongelmani olivat: Muuttavatko pajulinnut Hangon lintuasemalta oletettuun muuttosuuntaan kohti etelä-kaakkoa? Käyttävätkö linnut muuttosuuntansa määrittämiseen magneetikompassia vai tähtikompassia? Mitkä muut tekijät vaikuttavat muuttosuunnan valintaan? Selvittääkseni pajulintujen muuttosuunnan käytin Emlen-suppiloita. Laskin jokaiselle pajulinnulle keskimääräisen muuttosuunnan ja miten innokkaasti lintu pyrki tiettyyn suuntaan. Poistin tuloksista linnut, jotka eivät olleet riittävän aktiivisia ja yksilöt, jotka olivat suuntautuneet satunnaisesti. Laskin myös lintujen yhteisen suunnan poikkeamisen satunnaisesta. Vuonna 1994 pajulintuja testattiin 90, joista 48 lintua (53%) ei ollut riittävän aktiivisia tai linnut eivät olleet suuntautuneita tiettyyn muuttosuuntaan. Vuonna 1995 42 testatusta pajulinnusta jouduin poistamaan tuloksista 4 lintua (10%). Vuonna 1994 lintujen näkökenttä oli 64°, tällöin niiden keskimääräinen muuttosuunta ei poikennut satunnaisesta (Rayleighin testi, $p = 0.3$ ). Vuonna 1995 lintujen näkökenttä oli 105°. Silloinkaan suunta ei eronnut satunnaisesta, mutta ero oli melkein merkitsevä (Rayleighin testi, $p = 0.054$ ). Vuonna 1995 muuttosuunta oli 359° eli kohti pohjoista. Vain vuoden 1995 naaraiden (356°) ja vuoden 1995 pilvisellä säällä testattujen pajulintujen (354°) muuttosuunta poikkesi satunnaisesta. Pajulintujen rasvan määrä ei vaikuttanut lintujen suuntautuneisuuteen. Kuitenkin vähärasvaiset pajulinnut olivat suuntautuneempia kuin runsasrasvaiset linnut. Syynä voi olla vähärasvaisten lintujen suurempi halu päästä pois Emlen-suppiloista keräämään lisää ravintoa. Pohjoisiin ja eteläisiin ilmansuuntiin pyrkivien pajulintujen rasvan määrässä ja suuntautuneisuudessa ei ollut eroja. Syynä muuttosuuntien lähes tasaiseen jakautumiseen eri suuntiin voi olla Hangon lintuaseman maantieteellinen sijainti niemen kärjessä. Pajulinnuilla oli kuitenkin vuonna 1995 heikko taipumus lentää kohti pohjoista. Linnut eivät uskalla lähteä ylittämään merta, jolloin ne palaavat takaisin rannikolle. Nuoret linnut joutuvat todennäköisesti vanhoja lintuja helpommin Hankoniemen kärkeen rannikkoa seurattessaan. Vanhat linnut sen sijaan tietävät, mitä reittejä kannattaa käyttää. Vuonna 1995 pajulinnut olivat suuntautuneempia kuin vuonna 1994. Tähän on voinut vaikuttaa koeolosuhteiden muutos, sillä vuonna 1995 lintujen näkökenttä oli 41° suurempi kuin vuonna 1994. Tämä viittaa siihen, että pajulintujen muuton suunnan valinnan kannalta on tärkeää nähdä taivasta laajalta alueelta. Kokeet tehtiin vuonna 1995 myös edellistä vuotta myöhemmin syksyllä, joka vastaa paremmin pajulintujen syysmuuton ajankohtaa. Auringon laskusuunnan näkeminen vaikutti pajulintujen suuntautuneisuuteen siten, että linnut olivat suuntautuneempia, kun auringon laskusuunta ei ollut näkyvässä. Kun lisäksi otetaan huomioon, että pajulinnut olivat vuonna 1995 suuntautuneempia taivaan ollessa pilvinen kuin pilvetön, voidaan olettaa pajulintujen käyttävän magneetikompassia muuttosuuntansa määrittämiseen.			
Avainsanat — Nyckelord pajulintu, muuton suuntautuminen, magneetikompassi, tähtikompassi, fysiologiset tekijät, säätekijät			
Säilytyspaikka — Förvaringställe Populaatiobiologian osaston kirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter			

## Sisällys

1. Johdanto .....	1
1.1. Lintujen muuton tutkiminen .....	1
1.2. Lintujen eri kompassit.....	2
1.2.1. Aurinkokompassi.....	2
1.2.2. Tähtikompassi.....	3
1.2.3. Magneettikompassi .....	3
1.3. Pajulinnun muuton tutkiminen Hangon lintuasemalla.....	5
2. Aineisto ja menetelmät.....	9
2.1. Aineiston keruu .....	9
2.2. Koeolosuhteet.....	9
2.3. Tilastolliset menetelmät .....	12
3. Tulokset .....	13
3.1. Pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautuminen Emlen-suppiloissa .....	13
3.2. Pajulintujen fysiologisen tilan vaikutus muuttolevottomuuden suuntautuneisuuteen .....	17
3.3. Säätekijöiden vaikutus pajulintujen muuton aktiivisuuteen .....	19
4. Tulosten tarkastelu.....	21
4.1. Syitä muuttosuunnan näennäiseen satunnaisuuteen .....	21
4.2. Miksi suuntautuneet pajulinnut pyrkivät pohjoiseen? .....	24
4.3. Vuosien 1994 ja 1995 tulosten välinen ero .....	26
4.4. Vanhat pajulinnut puuttuivat lähes kokonaan.....	26
4.5. Pajulintujen suuntautuneisuus eri rasvaluokissa .....	27
4.6. Pajulintujen suuntautuneisuus eri pilvisyysluokissa ja auringon laskusuunnan näkemisen merkitys.....	28
4.7. Syitä vähärasvaisten pajulintujen suureen määrään.....	28
4.8. Tutkimusmenetelmien ja koeolosuhteiden luotettavuus .....	29
5. Kiitokset .....	30
6. Kirjallisuus .....	30

## 1. Johdanto

### 1.1. Lintujen muuton tutkiminen

Lintujen muuton tutkimuksessa on viime vuosina paneuduttu suuressa määrin kahden ongelman ratkaisemiseen: miten lintu suunnistaa muuttomatallaan ja miten lintu tietää sijaintinsa (Sandberg 1990). Tämä on kuitenkin vain yksi osa muuttolintututkimusta. Muita keskeisiä ongelmia ovat muuttotapahtuman eri osatekijöiden säätely ja perinnöllisyyden merkityksen osoittaminen sekä näihin liittyen muuton evoluutioon liittyvien kysymysten tutkimus.

Uskotaan, että linnuilla on kaksi tapaa suunnistaa paikasta toiseen: orientaatio ja navigaatio (esim. Alerstam 1984, Berthold 1993). Orientaatio tarkoittaa sitä, että lintu kykenee ylläpitämään tietyn suunnan muuttaessaan. Navigoidessaan lintu puolestaan kykenee paikallistamaan itsensä tiettyyn päämäärään, kuten kotiseutuunsa nähden.

Navigaatiota on tutkittu pääasiassa siten, että lintu on pyydystetty, kuljetettu pois pyydystyspaikalta ja vapautettu. Sitten on tutkittu, osaako lintu takaisin pyydystyspaikkaansa. Erityisen paljon tähän on käytetty kirjekyyhkyjä (polveutuneet kalliokyyhkystä *Columba livia*), jotka palaavat takaisin kyyhkylakkaansa (esim. Alerstam 1984, Helbig 1991, Berthold 1993).

Jo 1940-luvulla havaittiin, että muuttoaktiiviset linnut pyrkivät häkeissään kohti todellista muuttosuuntaansa (Helbig 1991). Tämän jälkeen alettiin kehittää erilaisia orientaatiohäkkejä. Eniten käytetty häkki on ns. Emlen-suppilo, jonka Emlen & Emlen (1966) kehittivät 1960-luvulla. Se on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen ja käyttökelpoinen jopa maasto-oloissa. Wiltschkon (esim. Wiltschko & Wiltschko 1992) kehittämällä häkillä suunnistautumista voidaan rekisteröidä paljon monipuolisemmin ja tehokkaammin, mutta se on suurikokoinen ja kallis eikä sitä siksi voida käyttää rutiininomaisesti. Lintujen orientaatiotutkimusta tehdään pääasiassa edellä mainittuja orientaatiohäkkejä käyttämällä.

## 1.2. Lintujen eri kompassit

Linnuilla on oltava kyky erottaa eri suunnat toisistaan, jotta ne voisivat orientoida. Siitä syystä linnut tarvitsevat erilaisia kompasseja, joista tärkeimmät ovat aurinko-, tähti- ja magneetikompassi (Alerstam 1984, Berthold 1993).

### 1.2.1. Aurinkokompassi

Aurinkokompassin avulla lintu osaa valita oikean suunnan auringon aseman ja oman sisäisen vuorokausikellonsa avulla (Gwinner 1975). Auringon asema muuttuu  $15^\circ$ /tunti.

Lintujen aurinkokello löydettiin noin vuonna 1950, kun Gustav Kramerin johtama ryhmä tutki kottaraisten *Sturnus vulgaris* muuttoa pitäen lintuja orientaatiohäkeissä (Kramer 1952). He huomasivat, että kottaraisten orientaatio huononi huomattavasti, kun linnut eivät nähneet aurinkoa. Linnut saatiin kuitenkin suunnistamaan kirkkaan lampun avulla.

Lamppua siirrettiin tavalla, joka muistutti auringon radan kulkua. Kun lamppu pysäytettiin, lintujen suunta alkoi muuttua  $15^\circ$  tunnissa.

Myös joillakin yöllä muuttavilla lajeilla, kuten kirjokertulla *Sylvia nisoria* on todettu aurinkokompassin olemassaolo (Alerstam 1984). Alerstamin (1984) mukaan uskotaankin, että kaikilla lintulajeilla voisi olla aurinkokompassi.

Aurinkokompassin käyttöön liittyy lisäksi se, että myös laskevan auringon suunnalla on merkitystä yöllä muuttavien lintujen suunnan valinnalle (Alerstam 1984, Wiltschko & Wiltschko 1991). Kokeellisesti on osoitettu, että yömuuttajiin kuuluvat kenttäsiirkuset *Passerculus sandwichensis* osasivat suunnistaa parhaiten, kun ne ensin saivat nähdä auringonlaskun ja sitten tähtitaivaan (Bingman 1983). Linnut, jotka näkivät auringonlaskun, mutta eivät tähtiä pilvien takia suunnistivat edellisiä heikommin. Kun linnut asetettiin häkkeihin vasta auringon laskun jälkeen tähtikirkkaana yönä, eivät linnut osanneet suunnistaa lainkaan.

Linnut näkevät varsinaisen auringon valon lisäksi auringon heijastumisesta aiheutuvat polarisaatiokuviot (Alerstam 1984). Niiden avulla voi määrittää auringon sijainnin silloinkin, kun aurinkoa ei näy pilvien vuoksi. Polarisaatiokuvioita ei kuitenkaan näy pilvipeitteen ollessa yhtenäinen. Able (1982) on tehnyt tutkimuksia yöllä muuttavilla linnuilla ja todennut, että auringon polarisaatiokuvioiden näkeminen vaikuttaa lintujen muuttosuunnan valintaan. Hän kyseenalaistaa sen, että auringonlaskun näkemisellä olisi merkitystä yöllä muuttaville linnuille.

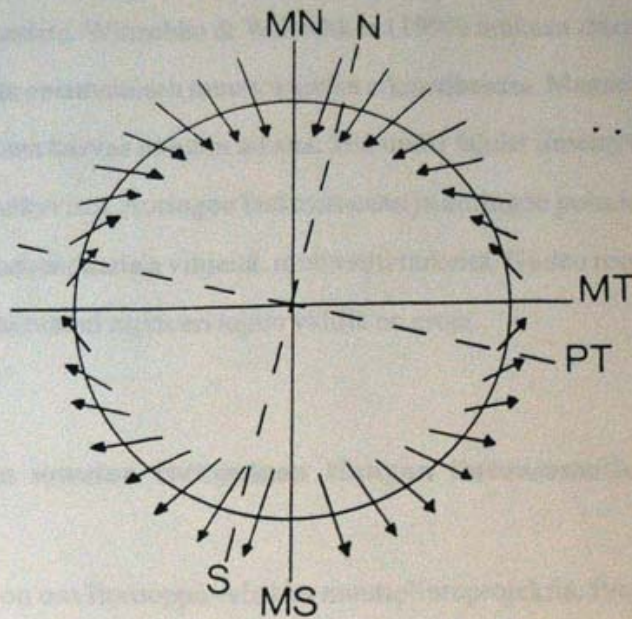
### 1.2.2. Tähtikompassi

Yöllä muuttavien lintujen orientaatiokyky vähenee pilvisellä säällä (Berthold 1993). Tämä osoittaa, että tähtikompassi on mahdollinen. Emlen (1967) on tehnyt paljon tähtikompassiin liittyviä suunnistautumiskokeita 1960-luvulla. Hän huomasi, että testatut linnut eli indigokardinaalit suunnistivat pohjoisella pallonpuoliskolla tähtitaivaan pyörimiskeskuksen eli Pohjantähden avulla. Lisäksi linnut käyttivät apunaan tiettyjä tähtikuvioita, kuten Otavaa ja Kassiopeiaa. Linnut suunnistivat oletettuun muuttosuuntaan kuitenkin myös pilvisellä säällä. Tällöin ne todennäköisesti käyttivät magneettikompassiaan.

Eri lajien välillä on eroja erilaisten kompassien käytössä, sillä indigokardinaalit *Passerina cyanea* ja punarinnat *Erithacus rubecula* osaavat tehtyjen kokeiden perusteella suunnistaa myös yksinomaan tähtien avulla (Alerstam 1984).

### 1.2.3. Magneettikompassi

Linnut osaavat suunnistaa myös maan magneettikenttää hyväksikäyttäen (esim. Alerstam 1984, Wiltschko & Wiltschko 1991). Ne pystyvät aistimaan magneettikentän inkliinaatio- eli kallistuskulman pienten magneettisten kiteiden avulla, joita on löydetty lintujen päästä



Kuva 1. Maapallon läpi kulkee sähköisiä virtauksia, jotka muodostavat maapallon ympärille magneettikentän. Nuolet osoittavat virtauksen suunnan. Magneettisten napojen (MN = magneettinen pohjoisnapa, MS = magneettinen etelänapa) kohdalla magneettikentän inkliinaatiokulma (ks. teksti) on  $90^\circ$  ja magneettisen tasaajan = MT kohdalla magneettikenttä on vaakatasossa (Alerstam 1984). N = pohjoinen, S = etelä, PT = päiväntasaaja.

(Alerstam 1984, Gould 1993). Gouldin (1993) mukaan magneettiaistinreseptori on todennäköisesti linnun silmässä. Maan magneettikenttä näkyy kuvassa 1.

Punarinnat käyttävät suunnistaessaan magneettikentän inkliinaatiokulmaa (Wiltschko & Wiltschko 1972). Punarinnat eivät osanneet suunnistaa magneettikentän ollessa horisontaalinen, jolloin inkliinaatiokulma on  $0^\circ$ . Lintu ei myöskään tiedä, kumpi magneettisista navoista on pohjoinen ja kumpi eteläinen, vaan se määrittää pohjoisella pallonpuoliskolla muuttosuuntansa sen mukaan, että inkliinaatiokulma on pienempi pohjoista kohti lennettäessä. Lintu voi myös erehtyä  $180^\circ$  suunnastaan.

Myös mm. kirjosiipoilla *Ficedula hypoleuca*, mustapääkertuilla *Sylvia atricapilla*, pensaskertuilla *Sylvia communis* ja lehtokertuilla *Sylvia borin* on tehty suunnistautumiskokeita, jotka osoittivat näiden lajien käyttävän magneettikompassia suunnistautumiseen (Alerstam 1984). Wiltschko & Wiltschko (1976) tutkivat yöllä muuttavien lajien tähti- ja magneettikompassin välistä yhteyttä ja totesivat, että tähtikompassi on riippuvainen

magneetikompassista. Wiltschko & Wiltschkon (1991) mukaan tähtikompassin merkitys on tärkeimmillään ensimmäisen muuttokauden alkuvaiheessa. Magneetikompassin merkitys puolestaan kasvaa muuton aikana, kun uudet tähdet ilmestyvät näkyviin ja tutut tähdet häviävät näkyvistä. Auringon laskusuunnan ja auringon polarisaatiokuvioiden näkeminen ovat sekundaarisia vihjeitä, mutta silti tärkeitä. Niiden rooli vaihtelee muuton aikana ja todennäköisesti myös eri lajien välillä on eroja.

### 1.3. Pajulinnun muuton tutkiminen Hangon lintuasemalla

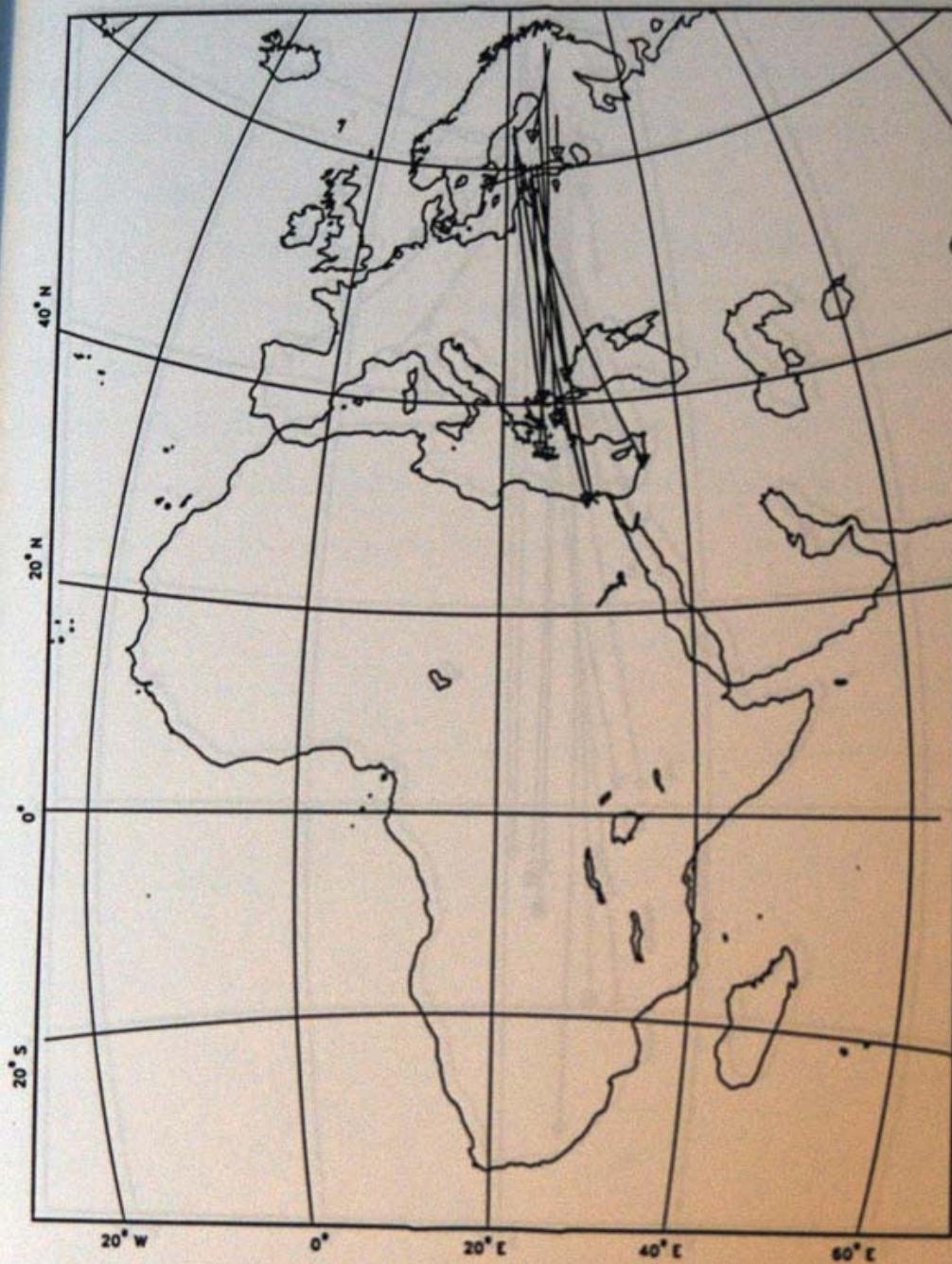
Pro gradu -työni on osa Eurooppa-Afrikka muuttolintuprojektia. Projektin tarkoituksena on vuosien 1994–95 aikana selvittää Euroopasta Afrikkaan muuttavien hyönteissyöjien muuttoreittejä, levähdyspaikkoja, muutonaikaista habitaatinvalintaa ja muuton fysiologiaa. Tietoja voidaan myöhemmin käyttää hyväksi lintujen muutonaikaisessa suojelussa.

Suomesta projektiin osallistuvat Hangon lintuasema, Tauvon lintuasema ja Jurmo/Turku.

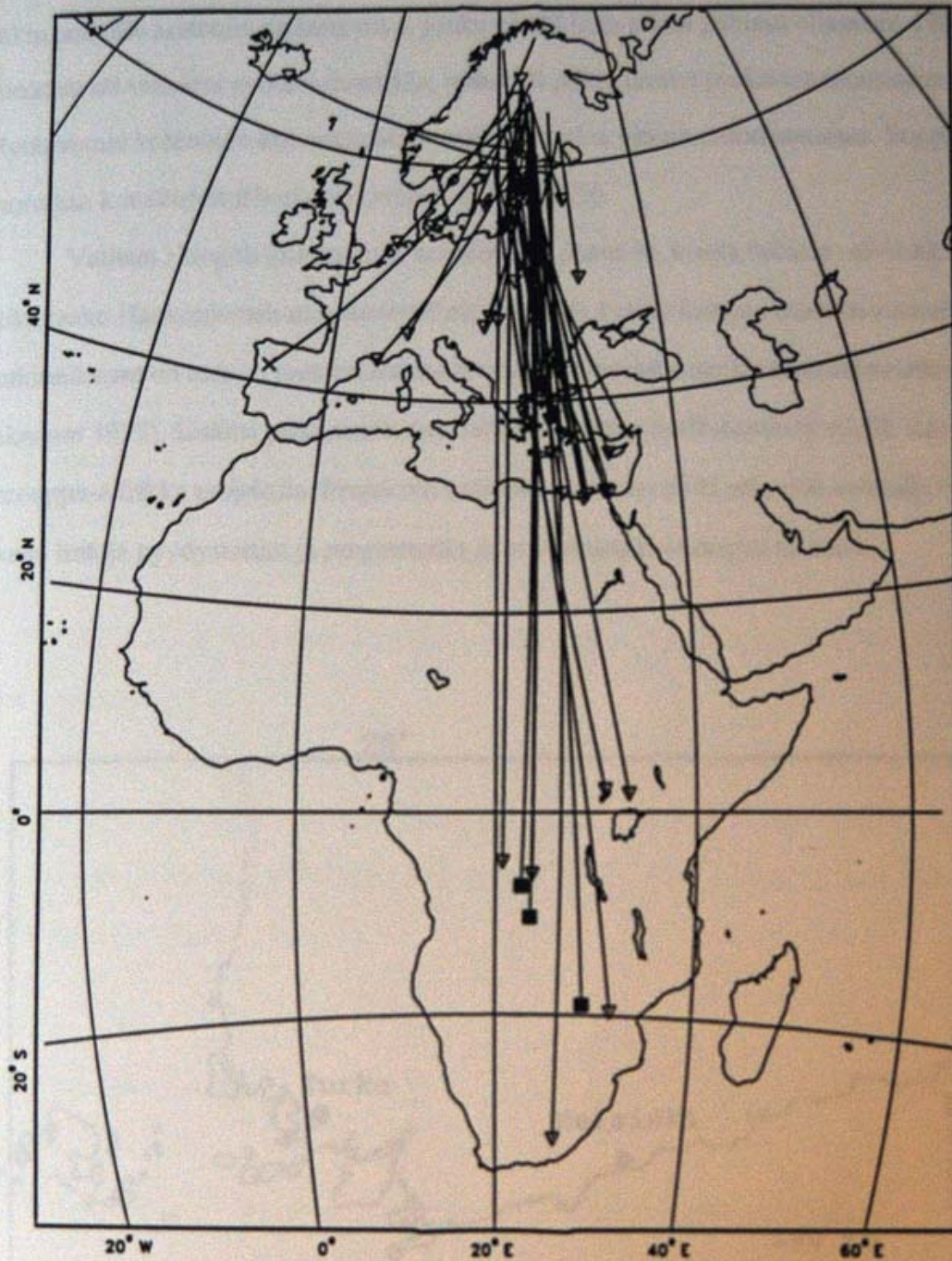
Itse tutkin pajulinnun *Phylloscopus trochilus* syysmuuton aikaista suuntautumista Hangon lintuasemalla. Pajulintu on Afrikkaan Saharan eteläpuolelle muuttava hyönteissyöjä, joka on yömuuttaja. Kuvissa 2 ja 3 on Suomessa rengastettujen pajulintujen syysmuuton aikaisia rengaslöytöjä. Yöllä muuttavat linnut lähtevät muutolle iltahämärissä (Alerstam 1984). Vaikka pajulintu on Suomen runsaslukuisin lintulaji (Solonen 1994), ei tiedetä, käyttääkö se magneetti- vai tähtikompassia tai mahdollisesti joitakin muita keinoja muutollaan.

Tässä työssä selvitin seuraavia kysymyksiä: 1. Muuttavatko pajulinnut Hangon lintuasemalta oletettuun muuttosuuntaan kohti eteläkaakkoa (Zink 1973, Hedenström & Pettersson 1987)? 2. Käyttävätkö linnut muuttosuuntansa määrittämiseen magneetikompassia vai tähtikompassia? 3. Vaikuttavatko muut tekijät muuttosuuntaan, kuten sääolot tai linnun kunto, ikä tai sukupuoli?





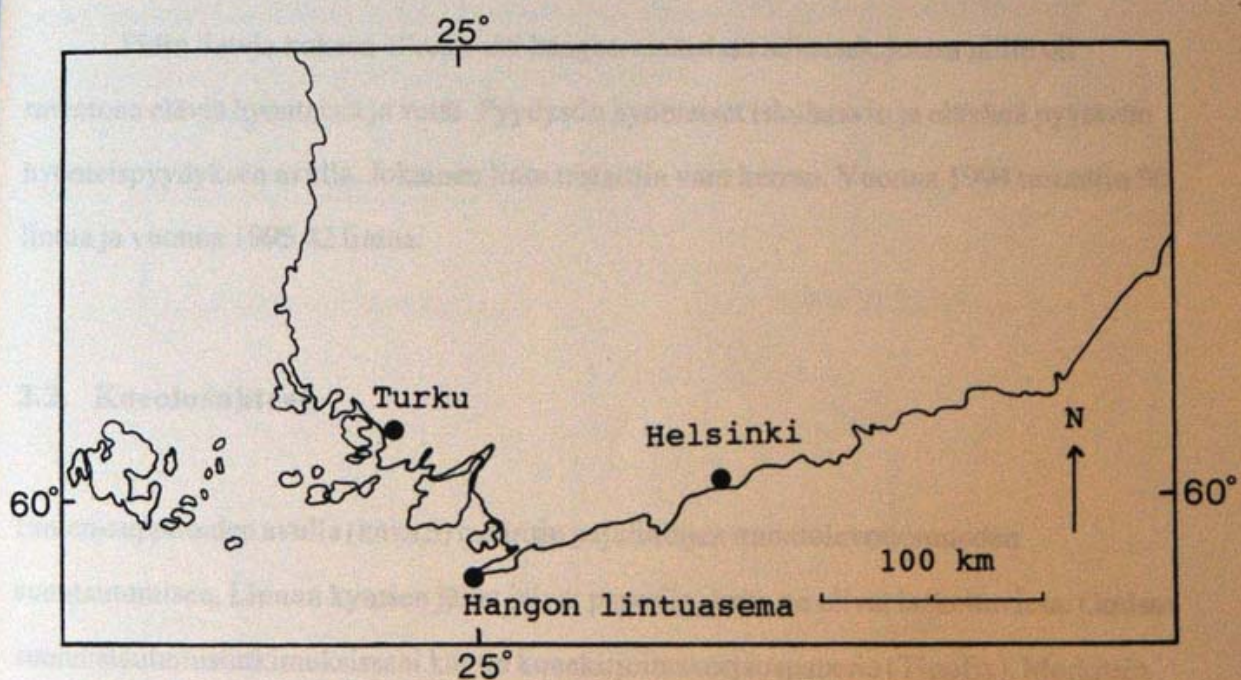
Kuva 2. Suomessa rengastettujen pajulintujen syysmuuton (▽) aikaiset rengaslöydöt. Rengastus- ja löytöpaikka on yhdistetty viivalla. Pesäpoikasina rengastetut linnut.



Kuva 3. Suomessa rengastettujen pajulintujen syysmuuton (▽) ja talven (■) aikaiset rengaslöydöt. X = löytöajan tarkkuus > 2 viikkoa. Rengastus- ja löytöpaikka on yhdistetty viivalla. Syysmuuton aikana rengastetut linnut. Kartassa näkyy muutamia selvästi yleisestä muuttosuunnasta poikkeavia muuttosuuntia. (Lähde: rengastustoimiston julkaisematon aineisto, luonnontieteellinen keskusmuseo).

Tein linnuilla suunnistautumiskokeita ns. Emlen-suppiloiden avulla (Emlen & Emlen 1966). Oikean muuttosuunnan selvittämiseksi Emlen-suppiloiden kehittäjät käyttivät häkin pohjalle asetettua mustetyynyä, jonka päällä lintu seiso i häkissä ollessaan. Häkin seinämät oli vuorattu suodatinpaperilla, johon jäi jälkiä linnun pyrkiessä muuttosuuntaansa. Myöhemmin kehitettiin kuitenkin helpompi tapa tutkia linnun muuttosuuntaa. Suppilo vuorataan konekirjoituskorjauspaperilla (Rabøl 1979).

Valitsin Hangon lintuaseman koalueeksi (kuva 4), koska halusin selvittää, vaikuttaako Hankoniemen maantieteellinen sijainti ja muoto lintujen muuttosuuntaan. Tutkimuksissa on todettu monien muuttolintujen seuraavan rannikkoa muuttomatallaan (Åkesson 1993). Lisäksi paikanvalintaan vaikutti aseman osallistuminen edellä mainittuun Eurooppa-Afrikka projektiin. Projektiin osallistuminen varmisti sen, että asemalla oloni aikana lintuja pyydystettiin ja rengastettiin ja se varmisti koelintujen saannin.



Kuva 4. Hangon lintuaseman sijainti Suomen etelärannikolla.

## **2. Aineisto ja menetelmät**

### **2.1. Aineiston keruu**

Keräsin aineistoni syysmuuton aikana vuosina 1994 ja 1995. Vuonna 1994 kokeet tehtiin 30.7.–17.9. ja seuraavana vuonna 7.8.–8.9. Suunnistautumiskoetta varten pajulinnut pyydystettiin lintuverkoilla normaalin rengastuksen ohessa iltapäivän ja illan kuluessa kello 14 jälkeen. Linnut rengastettiin ja niistä selvitettiin ikä, paino, siiven pituus, jonka avulla määritettiin linnun sukupuoli (Niemeyer 1969, Tiainen 1983, Hedenström & Pettersson 1984, Svensson 1992) ja yksilön ihonalaisen rasvavaraston suuruus puhaltamalla linnun vatsapuolelle. Rasvan määrä luokiteltiin asteikolla 0–8 (Kaiser 1993) ja se kuvastaa linnun muuttokuntoa. Jos linnulla ei ole yhtään rasvaa se on erittäin huonokuntoinen. Rengastuksen yhteydessä pyydystettyjen lintujen luokittelu alkaa käytännössä luokasta 1 (P. Pynnönen suull. ilm.). Rasvaluokka 5 oli Hangossa olevilla pajulinnuilla käytännössä suurin mahdollinen.

Pidin lintuja kokeen alkuun asti kangasseinäisissä häkeissä, joissa niille oli ravintona eläviä hyönteisiä ja vettä. Pyydystin hyönteiset iskuhaavin ja elävänä pyytävän hyönteispyydyksen avulla. Jokainen lintu testattiin vain kerran. Vuonna 1994 testattiin 90 lintua ja vuonna 1995 42 lintua.

### **2.2. Koeolosuhteet**

Emlen-suppiloiden avulla (kuva 5) määritin pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautumisen. Linnun kynsien jäljet jäivät paperiin, josta ne olivat laskettavissa. Omissa suunnistautumistutkimuksissani käytin konekirjoituskorjauspaperia (TippEx). Merkitsin jokaiseen paperiin pohjoisen ja asetin paperin suppiloon kompassia apuna käyttäen.

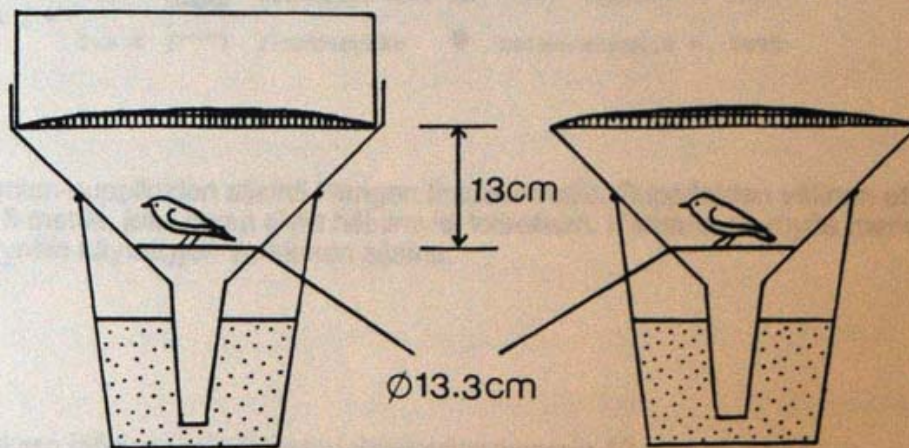
Tein kokeet lintuaseman alueella iltaisin. Asetetin linnut Emlen-suppiloihin noin viisi minuuttia ennen kokeen alkua, jolloin koesuppilon päällä oli näköeste ja linnut olivat

pimeässä. Kokeen alkaessa poistin näköesteenä olleen levyn, jolloin linnut näkivät yllä olevan taivaan, mutta eivät muuta ympäristöä. Aloitin kokeet vuonna 1994 10 minuuttia auringon laskun jälkeen (Sandberg 1990) ja vuonna 1995 15 minuuttia ennen auringon laskua. Linnut olivat kokeessa tunnin, jonka jälkeen ne vapautettiin. Kokeiden alkamisaikaan kirjasin seuraavat säätiedot: lämpötila, tuulen voimakkuus (bf) ja suunta, näkyvyys sekä pilvisuus asteikolla 0/8–8/8 (0/8 = täysin pilvetön taivas, 8/8 = taivas on kokonaan pilvessä). Lisäksi kirjasin tiedon siitä, näkyykö laskevan auringon suunta.

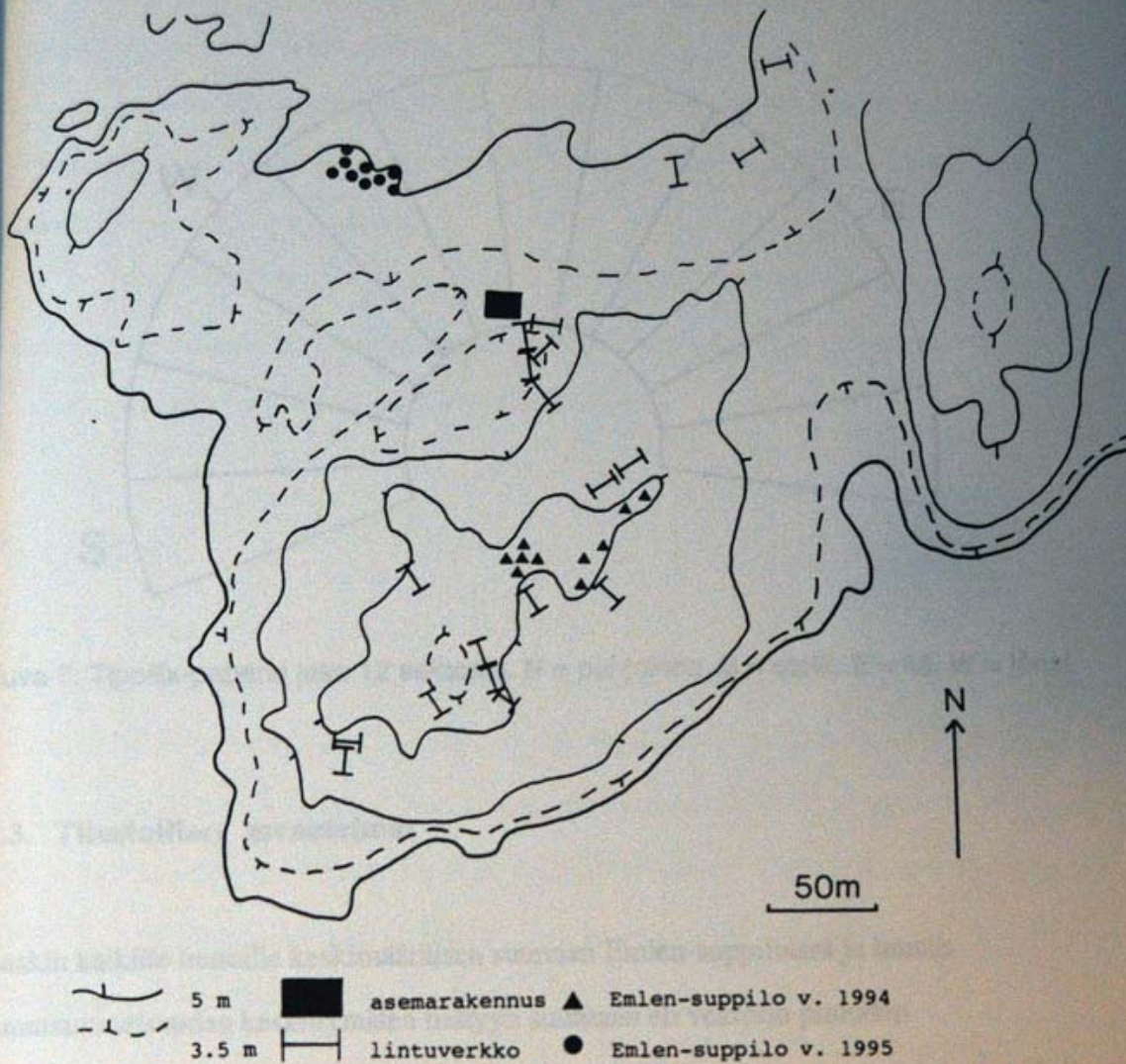
Syksyllä 1994 Heikki Nevanlinna ja Kari Pajunpää Ilmatieteen laitokselta mittasivat koealueen magneettikentän ja havaitsivat sen normaaliksi. Kokonaisvoimakkuus on 50 500 nT (nanotesia), deklinaatio on maantieteellisestä pohjoisesta 4° itään ja inkliinaatio on 73.5°.

Eri syksyjen välillä muutin koeolosuhteita seuraavalla tavalla: kokeen alkamisajan aikaistamisen lisäksi poistin vuonna 1994 suppilon päällä näköesteenä olleen lieriön, jolloin suppilon pohjalla olevan linnun näkökenttä laajeni n. 41°. Vuonna 1994 linnun näkökenttä oli n. 64° ja vuonna 1995 n. 105° (kuva 5). Tällöin suppilot piti siirtää toiseen paikkaan, koska muussa tapauksessa ympärillä olevat puut olisivat näkyneet suppiloihin.

Koesuppiloiden sijainti eri vuosina näkyy kuvassa 6.

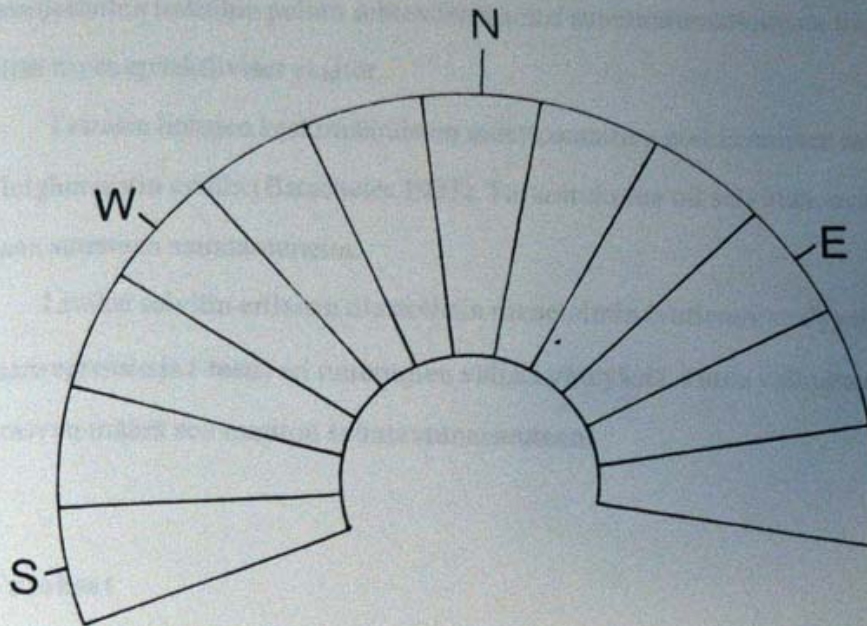


Kuva 5. Emlen-suppilo: a) koesuppilo vuonna 1994, b) koesuppilo vuonna 1995. Suppilon korkeus on 13 cm ja irrallisen istuinalustan halkaisija on 13.3 cm. Kantena on muovilieriö, johon on kiinnitetty hyttysverkko. Suppiloissa ei ollut metallia, jotta lintujen magneettikompassi ei häiriintyisi. Suppilot sijoitettiin puoliksi hiekalla täytettyihin ämpäreihin, jonka ansiosta ne pysyivät vakaasti pystyssä.



Kuva 6. Emlen-suppiloiden sijainti Hangon lintuasemalla. Suppiloiden välinen etäisyys oli vähintään 5 metriä, jotta linnut eivät häiriintyisi toisistaan. Karttaan on myös merkitty lintujen pyyntiin käytettyjen verkkojen sijainti.

Kokeen jälkeen jaoin konekirjoituskorjauspaperin 12 sektoriin lintujen muuttosuunnan määrittämistä ja naarmujen laskemista varten siten, että sektori numero 1 oli suoraan kohti pohjoista (kuva 7).



Kuva 7. TippEx-paperin jako 12 sektoriin. N = pohjoinen, S = etelä, E = itä, W = länsi.

### 2.3. Tilastolliset menetelmät

Laskin kaikille linnuille keskimääräisen suunnan Emlen-suppiloissa ja linnun suuntautuneisuuden keskittymisen tiettyyn suuntaan eli vektorin pituuden ympyrästatistiikkaa käyttäen Batscheletin (1981) mukaan. Vektorin pituus  $r = 1$ , kun lintu pyrkii määrätietoisesti tiettyyn suuntaan ja  $r = 0$ , kun linnulla ei ole minkäänlaista suuntautuneisuutta. Pajulinnut eivät muuta suppiloissa, mutta pystyin määrittämään muuttolevottomuuden suuntautumisen lintujen jättämien jälkien perusteella.

Poistin tuloksista linnut, jotka eivät olleet riittävän aktiivisia ja ne, joilla ei ollut minkäänlaista muuttosuuntaa havaittavissa. Aktiivisuuden alarajana oli 40 naarmua, koska suuntautumista ei voi määrittää linnuilta, jotka eivät ole jättäneet tarpeeksi jälkiä paperiin. Testattujen lintujen naarmujen lukumäärä vaihteli välillä 2–1035 naarmua, kun naarmuja oli keskimäärin 220. Suuntautuneisuuden alarajana oli  $Nr^2 < 3$  ( $N$  = naarmujen lukumäärä ja  $r$  = vektorin pituus) (Sandberg 1990, Åkesson & Sandberg 1994). Viitatessani kyseisiin

poissuljettuihin lintuihin puhun selkeyden vuoksi suuntautumattomista linnuista, joka siis sisältää myös epäaktiiviset yksilöt.

Testasin lintujen keskimääräisten muuttosuuntien poikkeamisen satunnaisesta Rayleighin testin avulla (Batschelet 1981). Tarkoituksena oli selvittää, ovatko linnut samaan suuntaan suuntautuneita.

Lisäksi selvitin erilaisin tilastollisin menetelmin (variانسianalyysi,  $\chi^2$ -testi, lineaariregressio ja t-testi) eri muuttujien välisiä yhteyksiä, kuten vaikuttaako linnun vararasvan määrä sen muuton suuntautuneisuuteen.

### 3. Tulokset

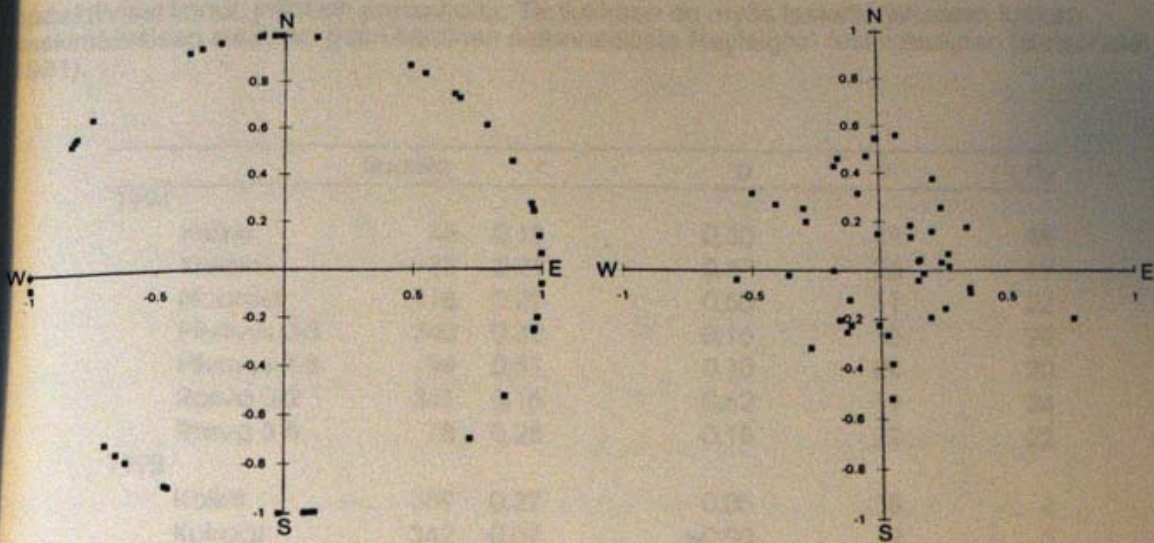
Vuoden 1994 kokeissa selvitin pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautumista Emlen-suppiloissa 10 minuuttia auringon laskun jälkeen aloitetuissa kokeissa. Tällöin lintujen näkökenttä oli rajattu 64 asteeseen. Testatuista linnuista ( $n = 90$ ) 48 yksilöä (53%) ei osoittanut suuntautuneisuutta. Vuonna 1995 aloitin kokeet 15 minuuttia ennen auringon laskua. Pajulintujen näkökenttä oli  $105^\circ$ . Testatuista pajulinnuista ( $n = 42$ ) 4 lintua ei suuntautunut lainkaan (10%).

#### 3.1. Pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautuminen Emlen-suppiloissa

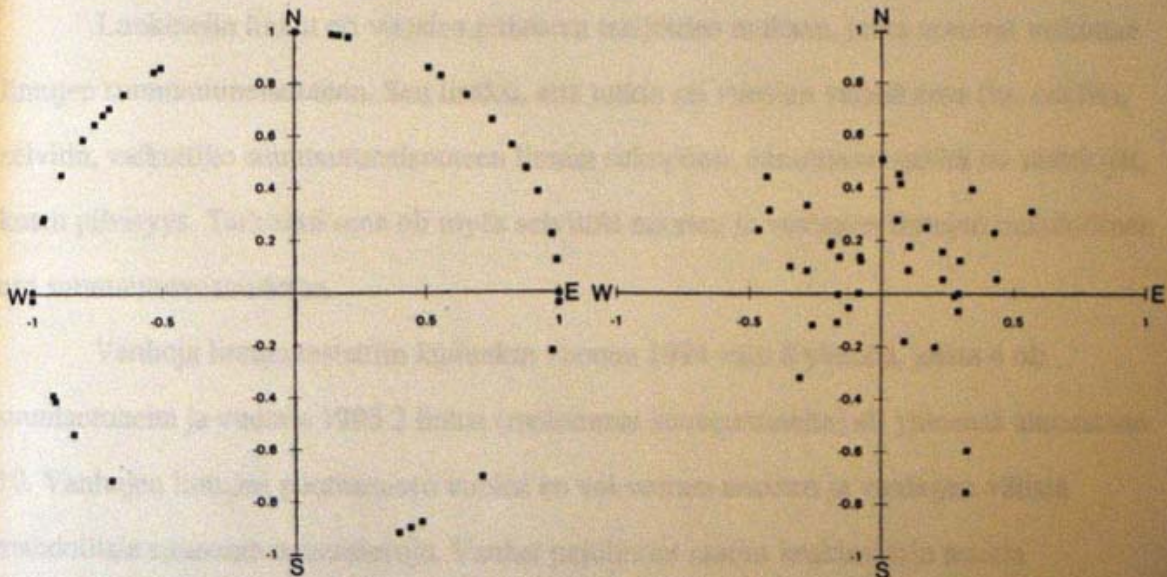
Pajulintujen keskimääräinen suunta oli vuoden 1994 elo-syyskuussa  $48^\circ$  eli koilliseen ja vektorin pituus  $r = 0.18$ . Kuvassa 8 on yksittäisten lintujen suuntautuminen. Vuoden 1994 keskimääräinen muuttosuunta ei eronnut satunnaisesta (Rayleighin testi,  $p = 0.3$ ,  $n = 42$ ).

Vuonna 1995 keskimääräinen muuttosuunta oli  $359^\circ$  eli kohti pohjoista ja  $r = 0.27$ . Muuttosuunta ei eronnut satunnaisesta, vaikka ero oli lähes merkitsevä (Rayleighin testi,  $p = 0.054$ ,  $n=38$ ). Kuvassa 9 ovat yksittäisten lintujen muuttosuunnat.





Kuva 8. Pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautuneisuus Emlen-suppiiloissa v. 1994 a) yksittäisten lintujen muuttosuunnat yksikköympyrän kehälle kuvattuna, b) eri yksilöiden suuntautuneisuus, kun otetaan huomioon vektorin pituus eli suuntautuneisuuden keskittyminen tiettyyn suuntaan. Mitä pidempi vektorin pituus on, sen lähempänä yksittäistä lintua kuvaava neliö on kuvitellun yksikköympyrän kehää. N = pohjoinen, S = etelä, E = itä, W = länsi. Linnuilla ei ole tiettyä yhteistä muuttosuuntaa.



Kuva 9. Pajulintujen muuttolevottomuuden suuntautuneisuus Emlen-suppiiloissa v. 1995 a) lintujen muuttolevottomuuden suuntautuneisuus, b) eri yksilöiden suuntautuneisuus ja suuntautuneisuuden keskittyminen tiettyyn suuntaan. N = pohjoinen, S = etelä, E = itä, W = länsi. Pajulintujen keskimääräinen muuttosuunta poikkesi satunnaisesta melkein merkitsevästi ( $p = 0.054$ ).

Taulukko 1. Yhteenveto eri luokkien keskimääräisistä muuttosuunnista (asteina).  $r$  = vektorin pituus,  $n_1$  = aktiiviset linnut, joiden keskimääräinen suunta on laskettu taulukkoon ja  $n_2$  = epäaktiiviset linnut, jotka on poissuljettu. Taulukkoon on myös laskettu jokaisen luokan keskimääräisen suunnan poikkeaminen satunnaisesta Rayleighin testin mukaan (Batschelet 1981).

	Suunta	$r$	$p$	$n_1$	$n_2$
1994					
Kaikki	48	0,18	0,30	42	48
Koiraat	35	0,21	0,37	26	19
Naaraat	118	0,22	0,60	11	22
Pilvisyys 0-3	340	0,32	0,16	18	28
Pilvisyys 4-8	94	0,31	0,10	24	20
Rasva 0-2	341	0,16	0,62	19	24
Rasva 3-5	78	0,28	0,18	22	22
1995					
Kaikki	359	0,27	0,05	38	4
Koiraat	342	0,07	>0,90	19	3
Naaraat	356	0,52	0,02	15	1
Pilvisyys 0-3	124	0,19	0,79	7	1
Pilvisyys 4-8	354	0,36	0,02	31	3
Rasva 0-2	350	0,35	0,09	20	2
Rasva 3-5	379	0,20	0,49	18	2

Luokittelin linnut eri vuosina erilaisten tekijöiden mukaan, jotka voisivat vaikuttaa lintujen suuntautuneisuuteen. Sen lisäksi, että tutkin eri vuosien välistä eroa (ks. edellä), selvitin, vaikuttiko suuntautuneisuuteen linnun sukupuoli, vararasvan määrä tai säätekijät, kuten pilvisyys. Tarkoituksena oli myös selvittää nuorten ja vanhojen lintujen mahdollinen ero suuntautuneisuudessa.

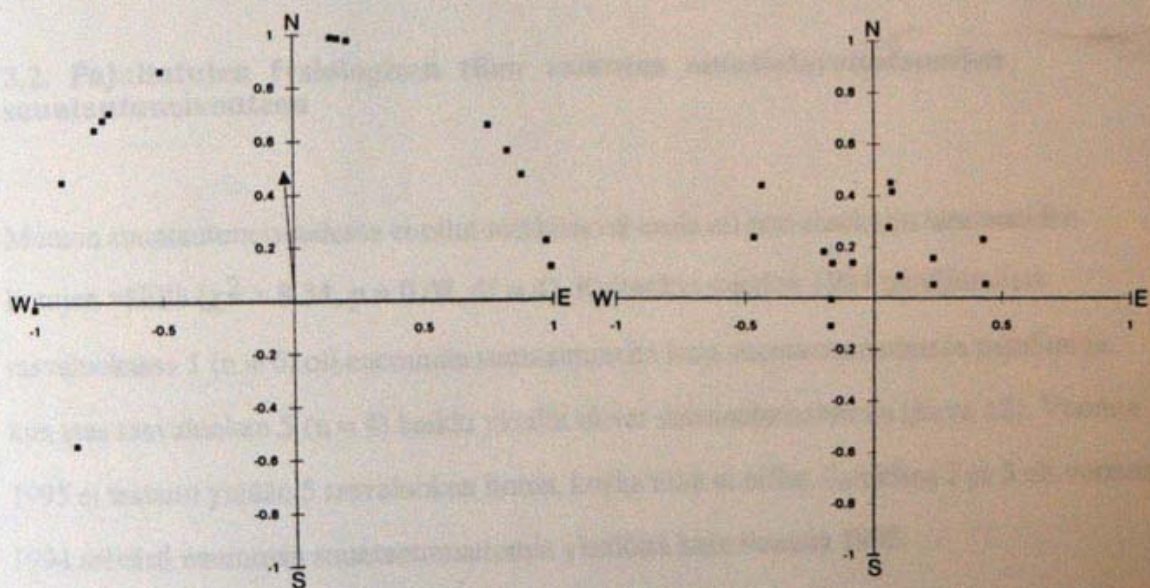
Vanhoja lintuja testattiin kuitenkin vuonna 1994 vain 8 yksilöä, joista 4 oli suuntautuneita ja vuonna 1995 2 lintua (molemmat suuntautuneita) eli yhteensä ainoastaan 10. Vanhojen lintujen puuttumisen vuoksi en voi verrata nuorten ja vanhojen välisiä mahdollisia suuntautuneisuuseroja. Vanhat pajulinnut saatiin keskimäärin nuoria myöhemmin, ero oli tilastollisesti merkitsevä ( $t = 2.20$ ,  $p = 0.03$ ,  $df = 130$ ).

Taulukossa 1 on yhteenveto eri luokkien suuntautuneisuudesta. Rayleighin testillä testattuna ainoastaan kahdessa luokassa suunta poikkesi satunnaisesta. Vuoden 1995

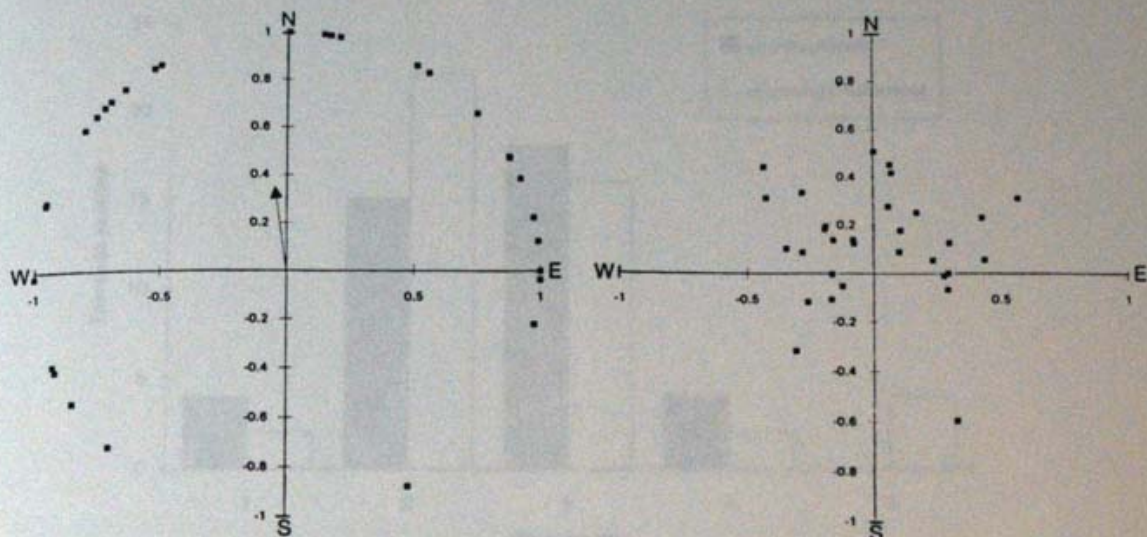
testatuista linnuista naaraiden ja pilvisen sään (pilvisuus 4/8–8/8) aikana testattujen lintujen keskimääräinen muuttosuunta erosi satunnaisesta. Vuoden 1995 naaraiden muuttosuunta oli  $356^\circ$  ja samana vuonna pilvisellä säällä testattujen pajulintujen keskimääräinen muuttosuunta oli  $354^\circ$  (kuvat 10 ja 11).

Vuoden 1994 eri luokkien keskimääräisissä suunnissa ei juurikaan ole huomattavissa yhtäläisyyksiä (taulukko 1). Vuoden 1995 suunnat ovat pilvettömällä säällä testattuja lintuja lukuun ottamatta lähellä toisiaan, jolloin suuntana on pohjois-luode tai pohjoinen. Kaikkien luokkien suunnat vaihtelevat välillä  $342\text{--}379^\circ$ .

Lisäksi jaoin linnut kahteen eri ryhmään sen mukaan, pyrkivätkö ne pohjoisiin vai eteläisiin ilmansuuntiin ja selvitin  $\chi^2$ -testin avulla, onko kyseisten ryhmien välillä eroja. Eri suuntaan pyrkivien lintujen suuntautuneisuuden aktiivisuudessa ei ollut eroa ( $\chi^2 = 2.22$ ,  $p = 0.136$ ,  $df = 1$ ). Myöskään lintujen rasvan määrässä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa pohjoiseen ja etelään pyrkivien lintujen välillä ( $\chi^2 = 8.56$ ,  $p = 0.073$ ,  $df = 4$ ).



Kuva 10. Vuonna 1995 testattujen naaraiden suuntautuneisuus häikeissä. a) Yksittäisten yksilöiden suunnat ja keskimääräinen suunta  $356^\circ$  keskivektorin avulla kuvattuna. Nuolen pituus vastaa keskimääräisen suunnan vektorin pituutta,  $r = 0.52$ . b) Eri yksilöiden suuntautuneisuus, kun suunnan keskittyneisyys otetaan huomioon. N = pohjoinen, S = etelä, E = itä, W = länsi.

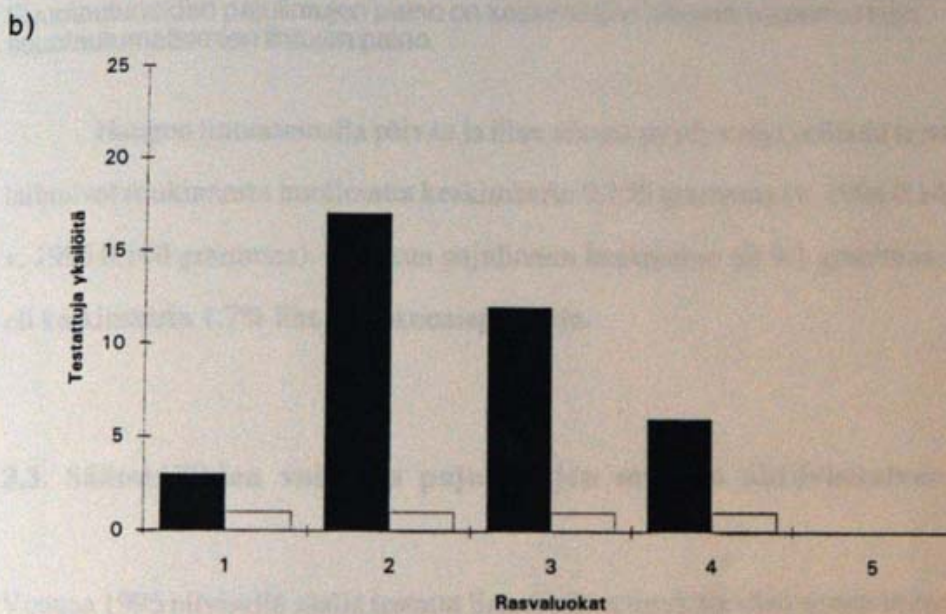
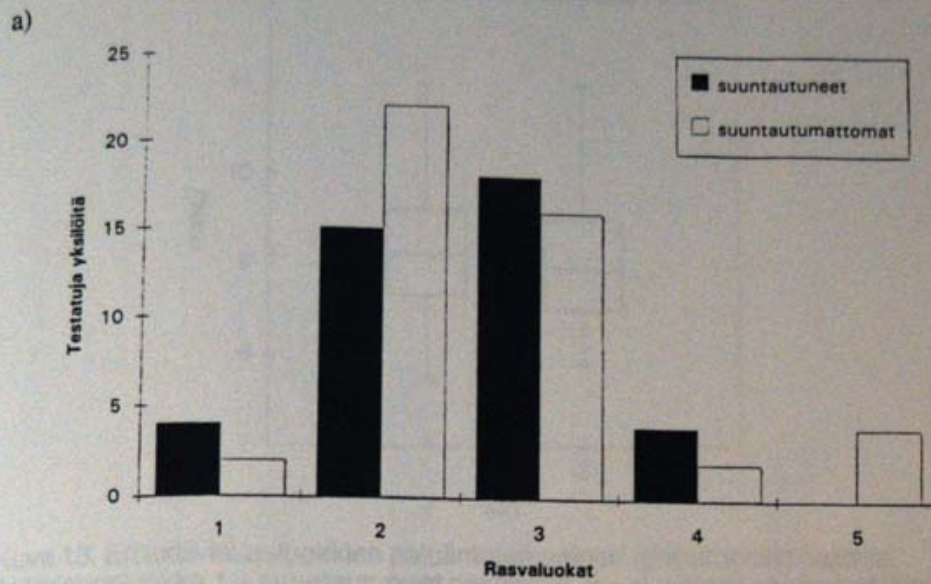


Kuva 11. Vuonna 1995 pilvisellä säällä (4/8–8/8) testattujen pajulintujen suuntautuneisuus. a) Yksittäisten lintujen suunnat ja niiden keskimääräinen suuntautuneisuus  $354^\circ$  nuolen avulla kuvattuna, jossa nuolen pituus vastaa vektorin pituutta  $r = 0.36$ . b) Eri yksilöiden suunnat, kun suuntautuneisuuden keskittyneisyys otetaan huomioon. N = pohjoinen, S = etelä, E = itä, W = länsi.

### 3.2. Pajulintujen fysiologisen tilan vaikutus muuttolevottomuuden suuntautuneisuuteen

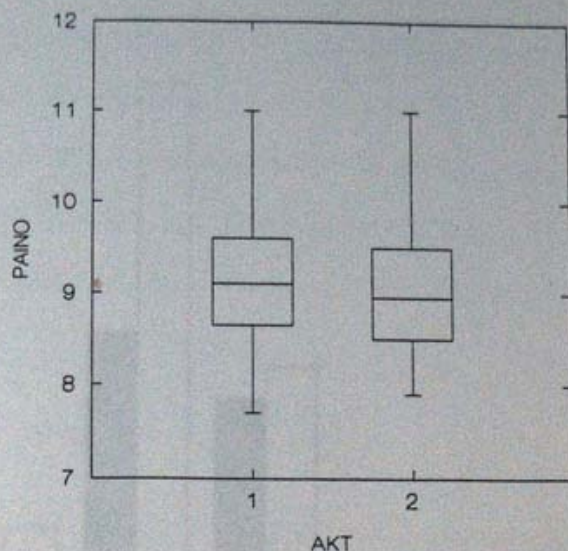
Muuton suuntautuneisuudessa ei ollut merkitseviä eroja eri rasvaluokkiin kuuluneiden lintujen välillä ( $\chi^2 = 8.34$ ,  $p = 0.08$ ,  $df = 4$ ). Kuitenkin vuoden 1994 pajulinnuista rasvaluokassa 1 ( $n = 6$ ) oli enemmän suuntautuneita kuin suuntautumattomia pajulintuja, kun taas rasvaluokan 5 ( $n = 4$ ) kaikki yksilöt olivat suuntautumattomia (kuva 12). Vuonna 1995 ei testattu yhtään 5 rasvaluokan lintua, koska niitä ei tullut. Luokissa 2 ja 3 oli vuonna 1994 selvästi enemmän suuntautumattomia yksilöitä kuin vuonna 1995.

Vähärasvaisemmat pajulinnot olivat aktiivisempia suuntautumaan kuin rasvaiset linnut (varianssianalyysi,  $F = 2.7$ ,  $p = 0.033$ ,  $df = 1, 4$ ). Testattujen lintujen rasvan määrä kasvoi muuttokauden kuluessa tilastollisesti merkitsevästi (lineaariregressio,  $r = 0.368$ ,  $p < 0.001$ ,  $N = 129$ ).



Kuva 12. Suuntautuneiden ja suuntautumattomien lintujen lukumäärä eri rasvaluokissa. a) Testatut pajulinnut vuonna 1994. b) Testatut pajulinnut vuonna 1995. Vuonna 1995 ei testattu yhtään 5 rasvaluokan lintua.

Suuntautuneiden ja suuntautumattomien yksilöiden painot eivät eronneet toisistaan (variانسsianalyysi,  $F = 0.33$ ,  $p = 0.567$ ,  $df = 1, 130$ , kuva 13). Pajulintujen paino nousi muuttokauden aikana, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi (regressioanalyysi,  $b=0.007$ ,  $p = 0.202$ ,  $N = 132$ ).

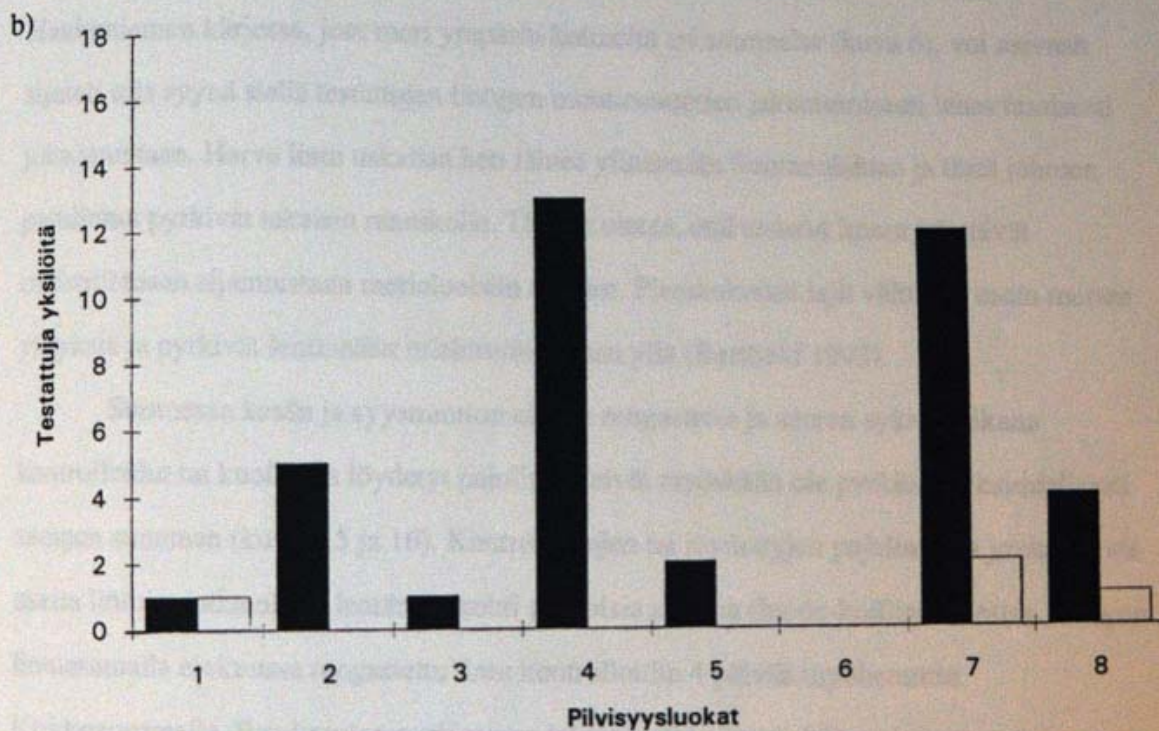
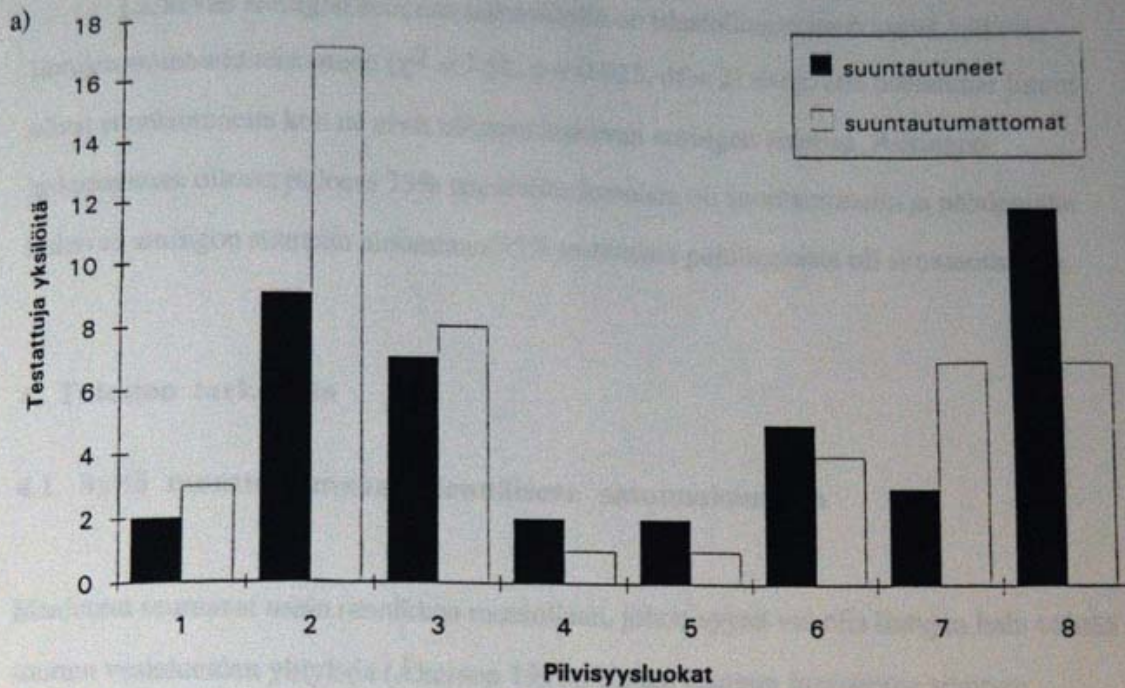


Kuva 13. Eri aktiivisuusluokkien pajulintujen painon (grammoina) hajonta. Aktiivisuusluokka 1 = suuntautuneet pajulinnut, 2 = suuntautumattomat linnut. Suuntautuneiden pajulintujen paino on keskimäärin hieman suurempi kuin suuntautumattomien lintujen paino.

Hangon lintuasemalla päivän ja illan aikana pyydystetyt ja illalla testatut linnut laihtuivat ruokinnasta huolimatta keskimäärin 0.155 grammaa (v. 1994 0.145 grammaa ja v. 1995 0.164 grammaa). Testatun pajulinnun keskipaino oli 9.1 grammaa. Painon lasku oli keskimäärin 1.7% linnun kokonaispainosta.

### 3.3. Säätekijöiden vaikutus pajulintujen muuton aktiivisuuteen

Vuonna 1995 pilvisellä säällä testatut linnut olivat merkitsevästi suuntautuneet, kuten edellä mainitsin (Rayleighin testi,  $p = 0.019$ ). Pilvisyyden ollessa vähäinen tulos ei poikennut satunnaisesta suunnanvalinnasta kumpanakaan vuonna. Vuosien 1994–95 aikana testatuista linnuista suuntautuneiden yksilöiden osuus ei eroa pilvisellä ja pilvettömällä säällä tilastollisesti merkisevästi toisistaan ( $\chi^2 = 13.43$ ,  $p = 0.062$ ,  $df = 7$ ). Tosin tulos on lähes merkitsevä siten, että suuntautuneita yksilöitä oli suhteessa enemmän pilvisellä säällä. Kuvassa 14 on esitetty suuntautuneiden ja suuntautumattomien pajulintujen lukumäärät eri pilvisyysluokissa vuosina 1994 ja 1995.



Kuva 14. Suuntautuneiden ja suuntautumattomien pajulintujen lukumäärä eri pilvisyysluokissa. Kumpanakaan vuonna ei ollut kertaakaan täysin pilvetöntä säätä (pilvisyysluokka 0) lintuja testattaessa. Vuonna 1995 pilvisyys ei myöskään kertaakaan ollut 6/8 lintuja testattaessa. a) Testatut pajulinnut vuonna 1994. b) Testatut pajulinnut vuonna 1995.

Laskevan auringon suunnan näkemisellä on tilastollisesti merkitsevä vaikutus lintujen suuntautuneisuuteen ( $\chi^2 = 7.52$ ,  $p = 0.023$ ,  $df = 2$ ) siten, että useimmat linnut olivat suuntautuneita kun ne eivät nähneet laskevan auringon suuntaa. Auringon laskusuunnan ollessa piilossa 73% testatuista linnuista oli suuntautuneita ja nähdessään laskevan auringon suunnan ainoastaan 55% testatuista pajulinnuista oli suuntautuneita.

#### 4. Tulosten tarkastelu

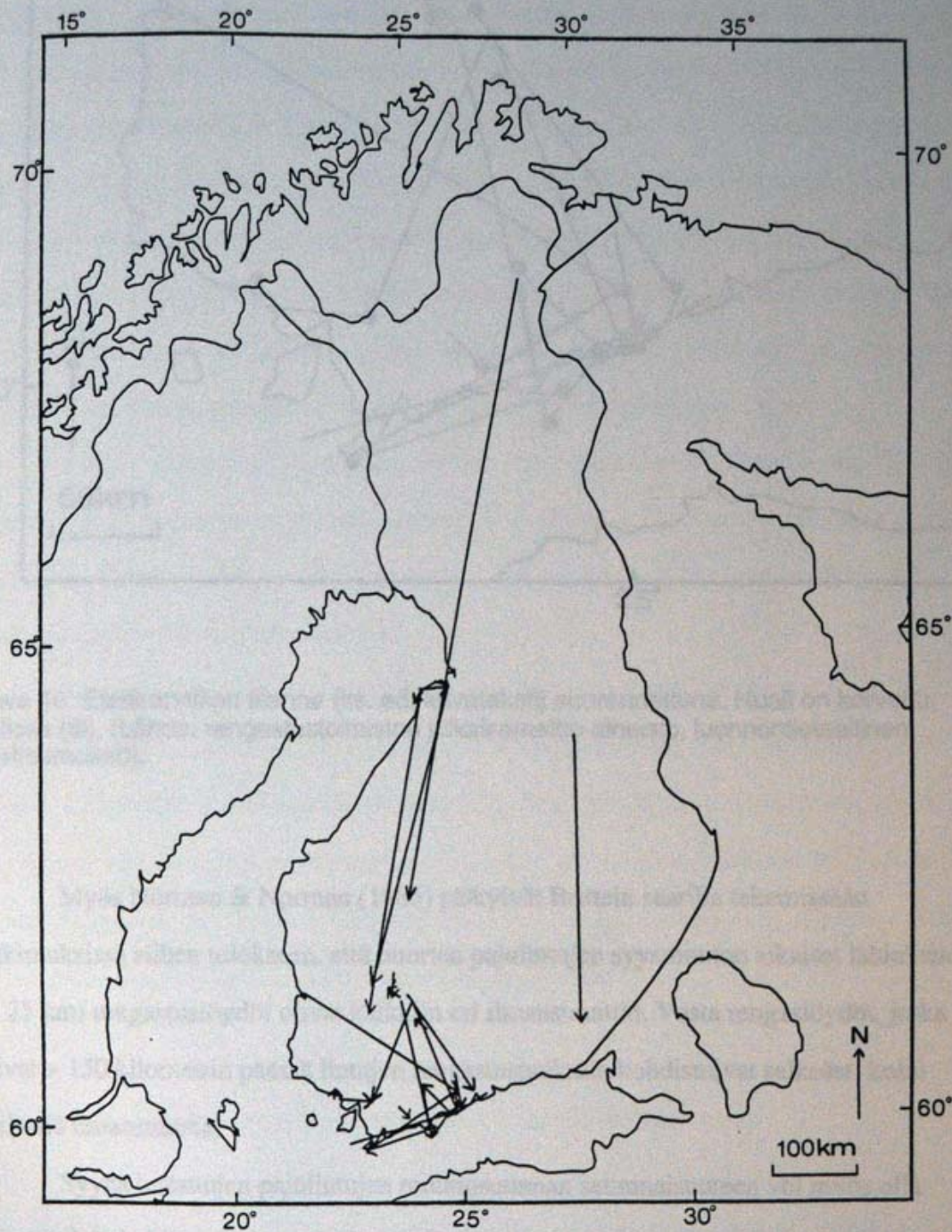
##### 4.1. Syitä muuttosuunnan näennäiseen satunnaisuuteen

Maalinnut seuraavat usein rannikkoa muutollaan, johon syynä voi olla lintujen halu välttää suurten vesialueiden ylityksiä (Åkesson 1993). Koska Hangon lintuasema sijaitsee Hankoniemen kärjessä, jota meri ympäröi kolmelta eri suunnalta (kuva 6), voi aseman sijainti olla syynä siellä testattujen lintujen muuttosuuntien jakautumiseen lähes tasaisesti joka suuntaan. Harva lintu uskaltaa heti lähteä ylittämään Suomenlahtea ja tästä johtuen pajulinnut pyrkivät takaisin rannikolle. Tällöin oletan, että testatut linnut käyttävät muistitietoaan sijainnistaan merialueisiin nähden. Pienikokoiset lajit välttävät usein merten ylityksiä ja pyrkivät lentämään mielummin maan yllä (Berthold 1993).

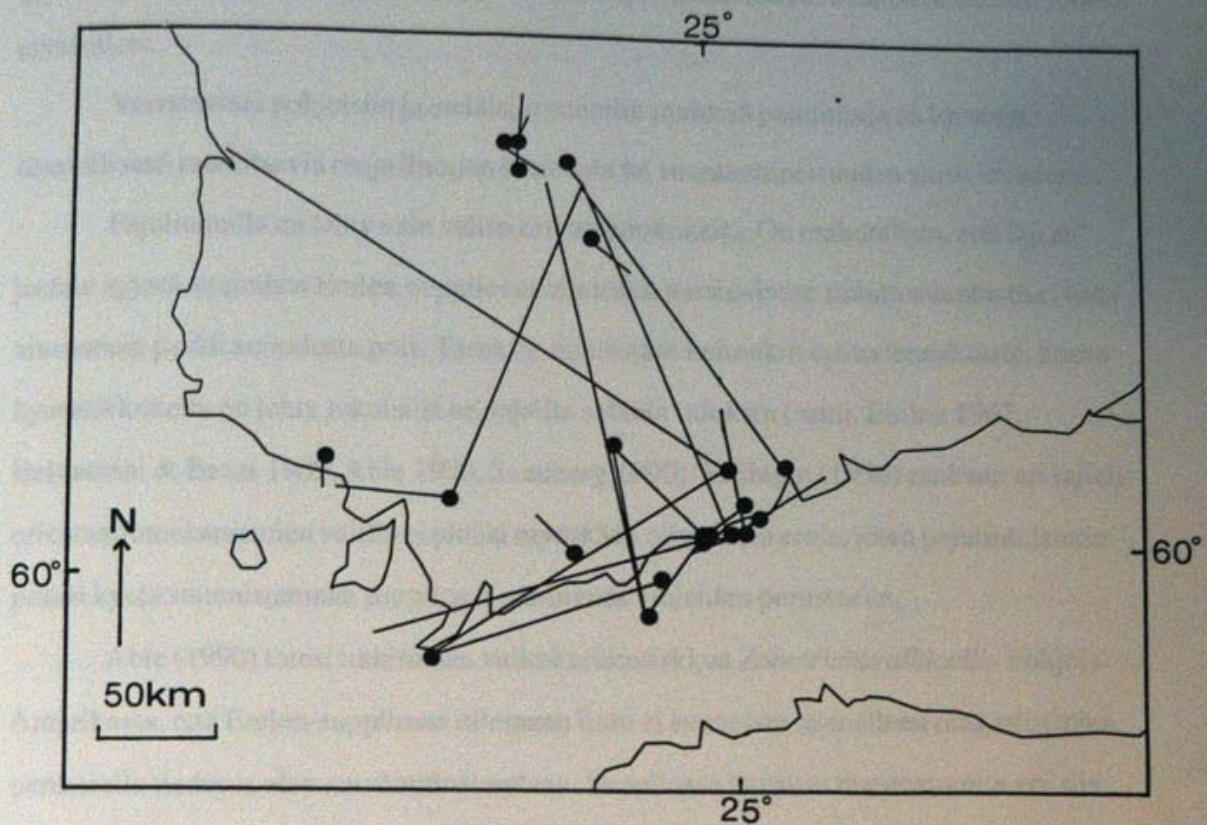
Suomessa kesän ja syysmuuton aikana rengastetut ja saman syksyn aikana kontrolloidut tai kuolleena löydetty pajulinnut eivät myöskään ole pyrkineet yksimielisesti samaan suuntaan (kuvat 15 ja 16). Kontrolloitujen tai löydettyjen pajulintujen joukossa oli useita lintuja, jotka olivat lentäneet kohti pohjoisia suuntia (luode-koillinen), esim. Hangon lintuasemalla elokuussa rengastettu lintu kontrolloitiin 4 päivää myöhemmin Kirkkonummella. Pajulintujen pyrkiminen takaisinpäin ei myöskään rajoittunut ainoastaan rannikolle, vaan myös sisämaasta on löydetty vastaavia tapauksia, esim. elokuussa Kangasalla (Tampereelta 10 km kaakkoon) rengastettu pajulintu löydettiin 5 päivän kuluttua Tampereelta. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, etteivät linnut muuttomatallaan lennä suoraviivaisesti kohti talvehtimisalueitaan, vaan voivat jopa palata osittain takaisinpäin



muuttokauden aikana. Syynä voi olla maantieteellisten tekijöiden (esim. meri, vuoristo) lisäksi ravinnon saatavuuteen liittyvät syyt.



Kuva 15. Suomessa kesän ja syksyn aikana rengastetut ja saman syksyn aikana kontrolloidut tai kuolleena löydetyt pajulinnut. Nuoli yhdistää muuttosuuntaan rengastus- ja löytöpaikan. (Lähde: rengastustoimiston julkaisematon aineisto, luonnontieteellinen keskusmuseo).



Kuva 16. Etelärannikon tilanne (ks. ed. kuvateksti) suurennettuna. Nuoli on korvattu pallolla (●). (Lähde: rengastustoimiston julkaisematon aineisto, luonnontieteellinen keskusmuseo).

Myös Norman & Norman (1985) päätyivät Brittein saarilla tekemissään tutkimuksissa siihen tulokseen, että nuorten pajulintujen syysmuuton aikaiset lähialueiden (< 25 km) rengastuslöydöt olivat kaikkiin eri ilmansuuntiin. Vasta rengaslöydöt, jotka olivat > 150 kilometrin päässä lintujen rengastuspaikasta kohdistuivat selkeästi kohti eteläisiä ilmansuuntia.

Syynä testattujen pajulintujen muuttosuunnan satunnaisuuteen voi myös olla orientaatiokokeiden aikainen ajankohta. Tein kokeet muuton alkuvaiheessa, erityisesti vuonna 1994. Pajulinnut ovat mahdollisesti olleet vasta keräämässä rasvavarastojaan muuttoa varten eivätkä varsinaisesti vielä olleet aloittaneet muuttoa. Mutta tällöin olisi

pajulintujen pitänyt olla suhteessa suuntautuneempia muuttokauden loppuvaiheessa, jota ne eivät olleet.

Verratessani pohjoisiin ja eteläisiin suuntiin pyrkiviä pajulintuja en löytänyt tilastollisesti merkitseviä eroja lintujen kunnossa tai suuntautuneisuuden aktiivisuudessa.

Pajulinnuilla on tehty vain vähän orientaatiokokeita. On mahdollista, että laji ei jostain syystä suunnista Emlen-suppilossa ollessaan varsinaiseen muuttosuuntaansa, vaan ainoastaan pyrkii suppilosta pois. Tämä on mielestäni kuitenkin epätodennäköistä, koska kyseisiä kokeita on tehty lukuisilla eri lajeilla selkein tuloksin (esim. Emlen 1967, Baldaccini & Bezzi 1989, Able 1990, Sandberg 1990). Helbigin (1990) mukaan eri lajien orientaatiomekanismien välillä ei pitäisi myöskään olla suuria eroja, joten pajulintujenkin pitäisi kyetä suunnistamaan suppilossa saamiensa vihjeiden perusteella.

Able (1990) totesi tutkittuaan valkokurkkusirkkua *Zonotrichia albicollis* Pohjois-Amerikassa, että Emlen-suppilossa ollessaan lintu ei suunnista täsmälleen rengaslöytöjen perusteella tiedossa olevaan muuttosuuntaan. Suppilossa havaittu muuttosuunta voi siis poiketa todellisesta muuttosuunnasta.

Koska pajulintujen suunnistautumiskokeiden tulokset eivät juuri missään luokassa poikenneet satunnaisesta, en saanut luottettavia tuloksia eri sukupuolten välisistä muuttosuuntien eroista tai yhtäläisyyksistä. Vuoden 1994 suunnat erosivat toisistaan, mutta kumpikaan ei eronnut satunnaisesta tilastollisesti merkitsevästi (taulukko 1). Vuonna 1995 muuttosuunnat eri sukupuolten välillä erosivat toisistaan ainoastaan 14°, mutta koiraiden muuttosuunta ei tänäkään vuonna eronnut satunnaisesta.

#### **4.2. Miksi suuntautuneet pajulinnut pyrkivät pohjoiseen?**

Satunnaisesta suunnasta poikkeavien suuntien luokat eli vuoden 1995 naaraat ja saman vuoden pilvisellä säällä testatut pajulinnut ovat suuntautuneet hyvin samaan suuntaan keskenään eli lähes täsmälleen kohti pohjoista (356° ja 354°). Myös vuoden 1995

satunnaisesta melkein merkitsevästi poikkeava, kaikkien lintujen muuttosuunta (359°) on samansuuntainen edellisten ryhmien kanssa. Vaikuttaa siis siltä, että vuonna 1995 pajulinnuilla olisi heikko taipumus lentää takaisin kohti pohjoista, joka on täsmälleen 180° odotetusta muuttosuunnasta poispäin.

Myös Sandberg (1990) totesi tutkiessaan punarintoja Falsterbossa osan suunnistavan takaisin kohti pohjois-luodetta (332°) syysmuuton aikana. Tuloksen todenmukaisuutta tukevat myös Falsterbossa rengastetuista punarinnoista muutaman päivän sisällä saadut kontrollit, jotka todistavat ainakin osan punarinnoista lentävän Falsterbosta kohti pohjoista syysmuuton aikana. Sandbergin mukaan syynä voisi olla lintujen vähäiset rasvavarat, jolloin osa linnuista palaa takaisinpäin kerätäkseen riittävästi rasvavarastoja meren ylitykseen. Falsterbon sijainti on hyvin samantapainen kuin Hangon lintuaseman sijainti, sekin sijaitsee niemenkärjessä. Myös eräissä muissa tutkimuksissa on todettu, että syysmuuton aikana rannikon läheisyydessä muuttolinnut voivat lentää kohti pohjoisia ilmansuuntia (Richardson 1978, Åkesson & Sandberg 1994).

Pajulinnut laihtuivat keskimäärin 0.155 grammaa, kun ne luonnossa olisivat lihoneet päivän aikana. Luonnossa ollessaan pajulinnun paino nousee päivän aikana. Britanniassa syysmuuton aikana tehdyssä tutkimuksessa Norman (1987) totesi, että pajulinnut lisäävät painoaan keskimäärin 8% päivän aikana muuton alkuvaiheessa ja hieman enemmän muuttokauden loppupuolella. 8% painonnousu päivän aikana tarkoittaisi 0.7 gramman lisäystä pajulinnulle, kun linnun paino on 9.1 grammaa (joka oli testattujen pajulintujen keskimääräinen paino Hangon lintuasemalla tekemissäni kokeissa). Myöskin Britanniassa tehdyssä tutkimuksessa Riddiford ja Auger (1983) havaitsivat, että kevätmuuton aikainen painonousu oli 0.4–0.7 grammaa päivässä. Tämä pajulintujen painon lasku voi olla osasyynä lintujen pyrkimiseen takaisinpäin mahdollisesti uusia rasvavarastoja hakemaan ja haluttomuuteen lähteä kohti odotettua muuttosuuntaa eli etelää (Sandberg kirjall. ilm.). Syysmuuttokaudella pajulintujen paino nousee aamusta klo 15–18 välille asti, mutta laskee illalla klo 18–21 välillä noin prosentti (Tiainen 1991). Tämä vastaa pyydystämieni pajulintujen päivänaikaista painon pudotusta.

### **4.3. Vuosien 1994 ja 1995 tulosten välinen ero**

Selkein ero eri vuosien välillä oli se, että vuoden 1994 tulokset eivät poikenneet satunnaisesta missään luokassa Rayleighin testin perusteella (Batschelet 1981) ja suurin osa linnuista oli suuntautumattomia. Myös lintujen muuttosuunnat eri luokissa vaihtelivat suuresti. Vuonna 1995 tehdyissä kokeissa on nähtävissä jonkinlaista suuntautuneisuutta kohti pohjois-luodetta ja pohjoista, sen lisäksi ainoastaan 4 lintua oli suuntautumattomia.

Tämä vuosien välinen ero johtuu todennäköisesti siitä, että vuonna 1995 kokeet tehtiin Emlen-suppiloissa, joissa näkökenttä oli  $41^\circ$  suurempi kuin vuonna 1994 eli taivasta näkyi selvästi edeltävää vuotta enemmän. Tämä viittaisi siihen, että taivaalla näkyvät vihjeet ovat tärkeitä pajulinnun muuttosuunnan määrittämiselle.

Toisaalta vuosien välisen eron syynä voi olla se, että tein orientaatiokokeet vuonna 1995 edellisvuotta myöhemmin, joka vastaa paremmin pajulintujen syysmuuton ajankohtaa. Myös suppiloiden paikanvaihto on voinut aiheuttaa muutoksia pajulintujen motivaatioon pyrkiä muuttosuuntaansa, koska vuonna 1995 linnut olivat aivan meren rannalla ja kuulivat aaltojen äänen edeltävää vuotta paremmin. Mutta koska linnut kuulivat aaltojen äänen myös vuoden 1994 suppiloihin, ei ole todennäköistä, että suppiloiden paikanvaihdolla olisi ollut vaikutusta lintujen motivaatioon pyrkiä muuttosuuntaansa.

### **4.4. Vanhat pajulinnut puuttuivat lähes kokonaan**

Brittein saarilla tehdyn tutkimuksen mukaan nuoret pajulinnut muuttavat ainakin osittain ennen vanhoja (Norman & Norman 1985). Tein suunnistautumiskokeet pajulintujen muuton alkupuolella, joka voi olla syynä vanhojen lintujen puuttumiseen. Vanhat linnut testattiinkin keskimäärin nuoria myöhemmin ja ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Myös pajulintujen suuri poikastuotto selittää osittain nuorten pajulintujen suurta määrää vanhoihin nähden.

Syynä voi olla myös Hangon lintuaseman sijainti. Vanhat linnut tietävät, missä kannattaa ruokailla ennen Suomenlahden ylitystä ja uskaltavat paremmin lähteä meren yli kohti Baltiaa heti rannikolle saavuttuaan. Nuoret seuraavat puolestaan ensin mielummin rannikkoa, jolloin ne joutuvat vanhoja lintuja helpommin Hankoniemeä pitkin lentäessään Hangon lintuasemalle.

#### **4.5. Pajulintujen suuntautuneisuus eri rasvaluokissa**

Rasvaiset linnut pyrkivät vähärasvaisempia innokkaammin muuttosuuntaansa orientaatiokokeiden aikana (Able 1977, Sandberg 1990). Sandbergin (1990) mukaan vähärasvaiset linnut pyrkivät lähinnä keräämään suurempia rasvavarastoja muuton jatkamista varten.

Pajulinnuilla tekemissäni kokeissa vastaavanlaista eroa ei ollut huomattavissa, pikemminkin päinvastoin. Syynä vuoden 1994 rasvaluokan 1 pajulintujen suuntautuneisuuteen ja rasvaluokan 5 lintujen suuntautumattomuuteen voi olla pienet otoskoot kyseisissä rasvaluokissa. Toisaalta vähärasvaisten lintujen suuntautuneisuutta voi selittää myös suurempana haluna päästä pois Emlen-suppilosta mahdollisesti keräämään ravintoa.

Testattujen lintujen rasvan määrän kasvu muuttokauden kuluessa johtui osittain siitä, että saadessani paljon pajulintuja valitsin hyväkuntoisimmat pajulinnut. Alkuvaiheessa lintuja tuli vähemmän, jolloin testasin enemmän myös vähärasvaisia pajulintuja.

Tarkasteltaessa pajulintujen painonnousua rasvaluokkien kasvaessa on muistettava, että painoon vaikuttaa myös linnun koko, toisin sanoen suurikokoiset pajulinnut painavat todennäköisesti pieniä yksilöitä enemmän.

#### **4.6. Pajulintujen suuntautuneisuus eri pilvisyysluokissa ja auringon laskusuunnan näkemisen merkitys**

Lintujen orientaatiokyky vähenee pilvisellä säällä (Petersen & Rabøl 1972, Alerstam 1984, Berthold 1993). Kuitenkin pajulinnuilla tehdyissä kokeissa vuonna 1995 testatut pajulinnut pyrkivät pilvisellä säällä määrätietoisemmin tiettyyn yhteiseen suuntaan kuin tähtitaivaan näkyessä, jolloin testattujen lintujen keskimääräinen suunta ei eronnut satunnaisesta. Syynä voi olla sattuma, koska vuoden 1995 aineisto oli melko pieni. Mahdollisesti todellisuudessa eri pilvisyysluokkien välillä ei ollut suurtakaan eroa ja molemmat olivat enemmän tai vähemmän satunnaisesti jakautuneita.

Myös auringon laskusuunnan vaikutus oli päinvastainen odotettuun tulokseen nähden (Alerstam 1984, Wiltschko & Wiltschko 1991). Useammat pajulinnut olivat suuntautuneita, kun ne eivät nähneet laskevan auringon suuntaa. Vaikka tulos oli tilastollisesti merkitsevä, voi silti olla kyseessä pajulintujen melko satunnainen aktiivisuus suuntautuneisuudessa riippumatta siitä, näkevätkö linnut laskevan auringon tai eivät.

Toisaalta edellä mainitut tulokset viittaavat magneettikompassin käyttöön, koska pajulinnut olivat suuntautuneempia, kun ne eivät nähneet tähtiä tai laskevan auringon suuntaa.

#### **4.7. Syitä vähärasvaisten pajulintujen suureen määrään**

Pajulintujen rasvan määrä kasvoi muuttokauden aikana tilastollisesti merkitsevästi. Täten pajulintujen rasvan määrään vaikutti todennäköisesti kokeiden melko aikainen ajankohta syysmuuttoa ajatellen.

Lisäksi hyvin runsasrasvaisia pajulintuja tavataan Suomessa vain vähän. Vaikuttaa siltä, että pajulinnut täydentävät rasvavarastojaan muuttomatkinsa aikana joko vähitellen tai vasta juuri ennen pitkiä lentoja, kuten Saharan ylitystä. Lähtiessään ylittämään Saharaa

pajulinnuilla on enemmän rasvaa kuin Hangossa tutkimillani pajulinnuilla (Biebach 1988). Edellä mainittua olettamusta tukee myös Britanniassa tehty tutkimus pajulinnuilla. Tutkimuksessa todettiin, että syynä pajulintujen vähäiseen rasvamäärään voi olla se, että pajulinnut eivät ole erikoistuneet mihinkään tiettyyn ravintoon, jolloin niiden on helppo löytää ravintoa matkansa aikana. Normanin (1987) mukaan pajulinnun kannalta on järkevää, että lintu kerää päivän aikana ainoastaan seuraavan yön aikana tarvittavan energian. Tällöin se ei joudu käyttämään energiaa ylimääräisen rasvan kantamiseen. Pajulintu lentää siis pääasiassa lyhyitä lentomatkoja kerrallaan ja ruokailee lentomatkojen välillä (Norman & Norman 1985).

Vastaavia tutkimuksia on tehty myös Suomessa rytikerttusilla *Acrocephalus scirpaceus* ja ruokokerttusilla *Acrocephalus schoenobaenus* (Yrjölä ym. 1989, Aalto & Lehikoinen 1995). Tutkimuksissa todettiin näiden lähisukuisten lajien selvä ero vararasvan keruussa Suomessa. Rytikerttunen kerää Suomessa vain vähän rasvaa, kun taas ruokokerttusella on runsaasti rasvaa jo Suomesta lähtiessään. Syynä on nimenomaan erilaiset ravinnonhankintastrategiat: rytikerttunen ei ole yhtä erikoistunut muutonaikaisen ravinnon suhteen kuin ruokokerttunen. Ruokokerttunen syö muuton aikana lähinnä luumukirvoja, jotka voivat esiintyä hyvin laikuttain. Tässä suhteessa pajulintu muistuttaa enemmän rytikerttusta.

#### **4.8. Tutkimusmenetelmien ja koeolosuhteiden luotettavuus**

Emlen-suppiloita on käytetty jo kymmenien vuosien ajan saaden luotettavia tuloksia. Vaikka tekemäni tutkimukset pajulinnuilla eivät osoitakaan odotettuja tuloksia, myös eräissä muissa tutkimuksissa on päädytty samansuuntaisiin tuloksiin (Richardson 1978, Sandberg 1990, Åkesson & Sandberg 1994).



Hangon lintuasemalta itään olevan vapaasataman valot ovat saattaneet vaikuttaa koeolosuhteisiin. Tosin varsinaiset valot eivät näkyneet Emlen-suppiloihin, mutta ne ovat voineet heijastua esim. pilviin pilvisellä säällä.

## 5. Kiitokset

Suomen Biologian Seura Vanamon apuraha edesauttoi pro gradu -työni valmistumista. Kiitän Hangon lintuasemaa siitä, että sain tehdä kenttätyöt aseman alueella ja asua asemalla. Kiitos työni ohjaajalle Juha Tiaiselle avusta ja neuvoista työni eri vaiheissa. Erityisen suuren kiitoksen haluan osoittaa väsymättömälle auttajalleni Anssi Vähätalolle, joka antoi korvaamattoman työpanoksen gradulleni. Tapio Solonen lainasi tarvittavat suppilot ja Jarmo Piironen lintuhäkit, joissa pidin pajulintuja päivisin. Heikki Nevanlinna ja Kari Pajunpää mittasivat magneettikentän. Luonnontieteellisen keskusmuseon rengastustoimistosta sain ystävällistä apua ja tärkeitä tietoja. Atlastoimiston pojat Esa ja Pekka neuvoivat tietokoneasioissa. Kenttävaiheen tärkeänä konkreettisena ja henkisenä tukena minulla oli Sanna Kokkonen, kiitos Sanna. Lisäksi kiitän rakasta miestäni Markku Mikkola-Roosia saamastani avusta ja rohkaisusta. Ilman teidän apuanne en olisi päässyt näin pitkälle.

## 6. Kirjallisuus

- Aalto, T. & Lehtikoinen, E. 1995: Rytikerttunen ei liho Turussakaan – ainakaan huomattavasti. – Teoksessa: Hohtola, E. & Orell, M. (toim.), Linnut 1995, III Suomen lintutieteen kongressi, Oulu 10.–12.8.1995, s. 7. Oulun yliopisto, Oulu.
- Able, K. P. 1977: The orientation of passerine nocturnal migrants following offshore drift. – *Auk* 94:320–330.
- Able, K. P. 1982: Skylight polarization patterns at dusk influence migratory orientation in birds. – *Nature* 299:550–551.

- Able, K. P. 1990: Comparison of vanishing bearings, orientation directions and ringing recoveries of spring migrant White-throated Sparrows (*Zonotrichia albicollis*). – *J. Orn.* 131:317–323.
- Alerstam, T. 1984: Fågelflyttning. – Bokförlaget Signum, Lund.
- Baldaccini, N. E. & Bezzi, E. M. 1989: Orientational responses to different light stimuli by adult and young Sedge Warbler (*Acrocephalus schoenobaenus*) during autumn migration: a funnel technique study. – *Behaviour* 110:115–124.
- Batschelet, E. 1981: Circular statistic in biology. – Academic Press, London.
- Berthold, P. 1993: Bird migration. – Oxford University Press, New York.
- Biebach, H. 1988: Ecophysiology of resting Willow Warblers (*Phylloscopus trochilus*) crossing the Sahara. – *Proc. Int. Orn. Congr.* XIX:2162–2168.
- Bingman, V. P. 1983: Magnetic field orientation of migratory Savannah Sparrows with different first summer experience. – *Behaviour* 87:43–53.
- Emlen, S. T. 1967: Migratory orientation in the Indigo Bunting *Passerina cyanea*. – *Auk* 84:309–352, 463–489.
- Emlen, S. T. & Emlen, J. T. 1966: A technique for recording migratory orientation of captive birds. – *Auk* 83:361–367.
- Gould, J. L. 1993: Birds lost in the red. – *Nature* 364:491–492.
- Gwinner, E. 1975: Circadian and circannual rhythms in birds. – Ss. 221–285 kirjassa: Farner, D. S. & King, J. R. (toim.), *Avian biology* 5. Academic Press, New York.
- Hedenström, A. & Pettersson, J. 1984: Lövsångarens *Phylloscopus trochilus* flyttning vid Ottenby. – *Vår Fågelvärld* 43:217–228.
- Hedenström, A. & Pettersson, J. 1987: Migration routes and wintering areas of Willow Warblers *Phylloscopus trochilus* (L.) ringed in Fennoscandia. – *Ornis Fennica* 64:137–143.
- Helbig, A. J. 1990: Are orientation mechanisms among migratory birds species-specific? – *TREE* 5:365–367.
- Helbig, A. J. 1991: Experimental and analytical techniques used in bird orientation research. – Ss. 270–306 kirjassa: Berthold, P. (toim.), *Orientation in birds*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Kaiser, A. 1993: A new multi-category classification of subcutaneous fat deposits of songbirds. – *J. Field Ornithol.* 64:246–255.
- Kramer, G. 1952: Experiments on bird orientation. – *Ibis* 94:265–285.
- Niemeyer, H. 1969: Versuch einer biometrischen Analyse der Flügellänge Helgoländer Fitislaubsänger unter Berücksichtigung des Einflusses von Alter, Geschlecht und Durchzugszeit. – *Zool. Anz.* 183:326–341.

- Norman, C. S. 1987: Body weights of Willow Warblers during autumn migration within Britain. – *Ringing & Migration* 8:73–82.
- Norman, S. C. & Norman, W. 1985: Autumn movements of Willow Warblers ringed in the British Isles. – *Ringing & Migration* 6:7–18.
- Pertersen, F. D. & Rabøl, J. 1972: Comparison of the overcast and a starry sky orientation in nightmigrating passerines. – *Dansk Orn. Fören. Tidsskr.* 66:113–122.
- Rabøl, J. 1979: Magnetic orientation in night-migrating passerines. – *Ornis Scand.* 10:69–75.
- Richardson, W. J. 1978: Reorientation of nocturnal landbird migrants over the Atlantic Ocean near Nova Scotia in autumn. – *Auk* 95:717–732.
- Riddiford, N. & Auger, R. C. 1983: Weight gains and resumption of passage by Willow Warblers on spring migration. – *Bird Study* 30:229–232.
- Sandberg, R. 1990: Celestial and magnetic orientation of migrating birds: Field experiments with nocturnal passerine migrants at different sites and latitudes. – Ph. D. thesis. Lund University, Sweden.
- Solonen, T. 1994: Structure and dynamics of the Finnish avifauna. – *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica* 70:1–22.
- Svensson, L. 1992: Identification guide to European passerines. – Fingraf AB, Södertälje.
- Tiainen, J. 1983: Dynamics of a local population of the Willow Warbler *Phylloscopus trochilus* in southern Finland. – *Ornis Scand.* 14:1–15.
- Tiainen, J. 1991: *Phylloscopus trochilus* (Linnaeus 1758) – Fitis, Fitislaubsänger. – Ss. 1292–1357 kirjassa: Glutz von Blotzheim, U. N. & Bauer, K. M. (toim.), *Hanbuch der Vögel Mitteleuropas*. Aula-Verlag, Wiesbaden.
- Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1972: Magnetic compass of European Robins. – *Science* 176:62–64.
- Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1976: Interrelation of magnetic compass and star orientation in night-migrating birds. – *J. comp. Physiol.* 109:91–99.
- Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1991: Magnetic orientation and celestial cues in migratory orientation. – Ss. 16–37 kirjassa: Berthold, P. (toim.), *Orientation in birds*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1992: Migratory orientation: Magnetic compass orientation of Garden Warblers (*Sylvia borin*) after a simulated crossing of the magnetic equator. – *Ethology* 91:70–74.
- Zink, G. 1973: *Der Zug europäischer Singvögel: Ein Atlas der Wiederfunde beringter Vögel*, Vol. 1. – Vogelzug-Verlag, Möggingen.
- Yrjölä, R., Routasuo, P., Mikala, A., Mikkola, M. & Laurila, A. 1989: Rytikerttunen ei ole läskimaha. – *Lintumies* 24:132–133.

- Åkesson, S. 1993: Coastal migration and wind drift compensation in nocturnal passerine migrants. – *Ornis Scand.* 24:87–94.
- Åkesson, S. & Sandberg, R. 1994: Migratory orientation of passerines at dusk, night and dawn. – *Ethology* 94:177–191.