

Otso Ovaskainen, akatemiututkija
 Mar Cabeza, tutkija
 Metapopulaatiobiologian tutkimusryhmä, Helsingin yliopisto

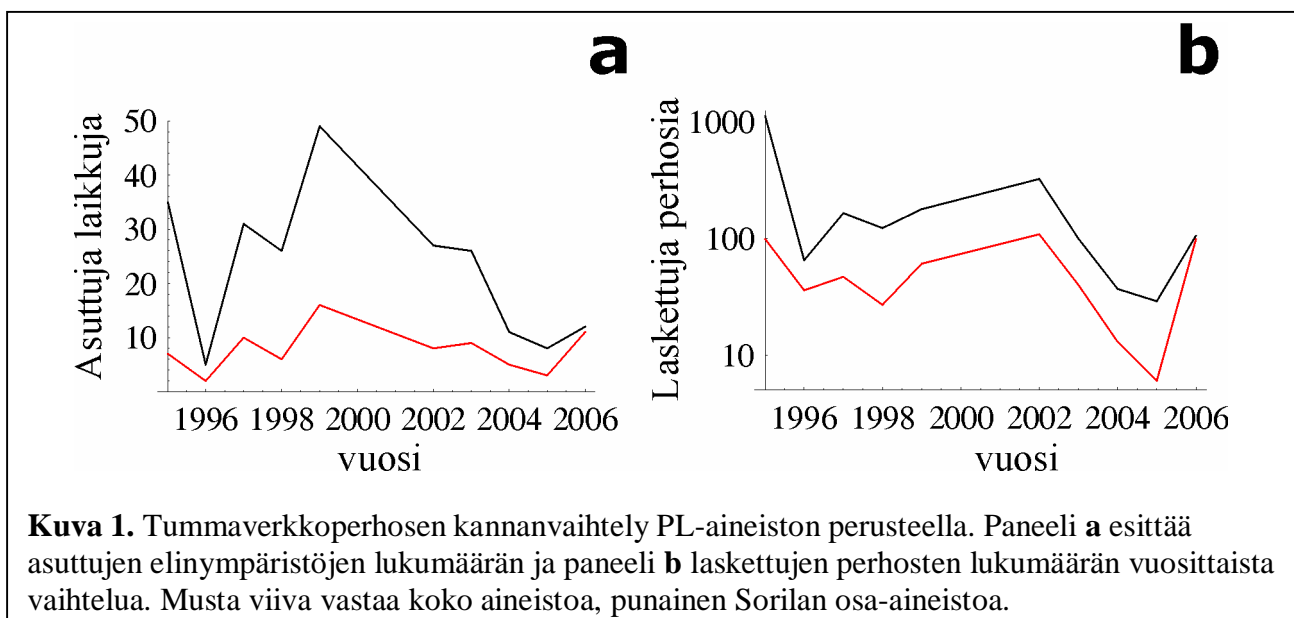
Tummaverkkoperhonen Sorilassa – näkökohtia alueen kaavoitusprosessiin

0. Abstract

Erittäin uhanalaiseksi luokiteltu tummaverkkoperhonen (*Melitaea diamina*) on rauhoitettu ja määrätty erityisesti suojeltavaksi vuonna 1989. Yksi lajin tärkeimmistä esiintymistä sijaitsee Sorilan kaavoitusalueella. Perhonen esiintyy Sorilassa metapopulaatioina, eli kokoelmana pieniä paikallispopulaatioita. Tässä raportissa tarkastellaan Sorilan perhoskannan elinvoimaisuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä eri kaavoitusvaihtoehtojen mahdollisia vaikutuksia. Käytimme kahta lähestymistapaa, joista toinen perustuu vuosina 1995-2006 tehtyihin perhoslaskentoihin, ja toinen kahteen merkintä-jälleenpyyntiaineistoon. Pehoslaskenta-aineiston analyysi osoitti, että tummaverkkoperhosen elinympäristölaikut ovat sitä todennäköisemmin asuttuja, mitä suurempia ne ovat ja mitä enemmän muita laikkuja niiden lähiympäristössä on. Asuttujen laikkujen populaatiokoot ovat suurempia suurissa laikuissa. Mallinnus antoi viitteitä myös siitä, että sekä asutustodennäköisyys että populaatiokoko pienenevät ympäristön rakentamisen intensiivisyyden funktiona. Vaikka tämän yhteyden syy-seuraussuhteita ei voida käytettävistä aineistoista päätellä, varovaisuusperiaatteen mukaan rakentamisen mahdolliset haittavaikutukset tulisi ottaa huomioon. Tilastollisen mallinnuksen perusteella rakentamisen potentiaalisten haittavaikutusten kompensoimiseksi riittäisi n. 6 kpl uutta, esim. hevoslaidunnuksella luotoa, keskikokoista (5000 m²) elinympäristölaikkuja. Merkintä-jälleenpyyntiaineiston perusteella voidaan todeta että nykytilanteessa perhosyksilöt pystyvät helposti liikkumaan toisiaan lähellä olevien laikkujen välillä, ja myös pitemmän matkan liikkeitä ovat todennäköisesti riittävän yleisiä sekä populaatiodynamiikan että geenivirran kannalta. Ympäristön muutoksen vaikutukset perhosten liikkumiseen ovat hyvin hienosyisiä, ja niitä on siten vaikea ennustaa. On epätodennäköistä, että liikkeitä voitaisiin merkittävästi lisätä luomalla maisemaan erityisiä liikkumiskäytäviä. Intensiivinen rakentaminen laikkujen välissä voi kuitenkin toimia liikkumisesteenä. Tarjolla olevista kaavavaihtoehdoista Järvikaupunki vaikuttaa perhosen kannalta parhaalta vaihtoehdolta, etenkin jos tähän liittyy hevosten luonnonlaidunnuksen avulla mahdollisuus uusien elinympäristölaikkujen tuottamiseen.

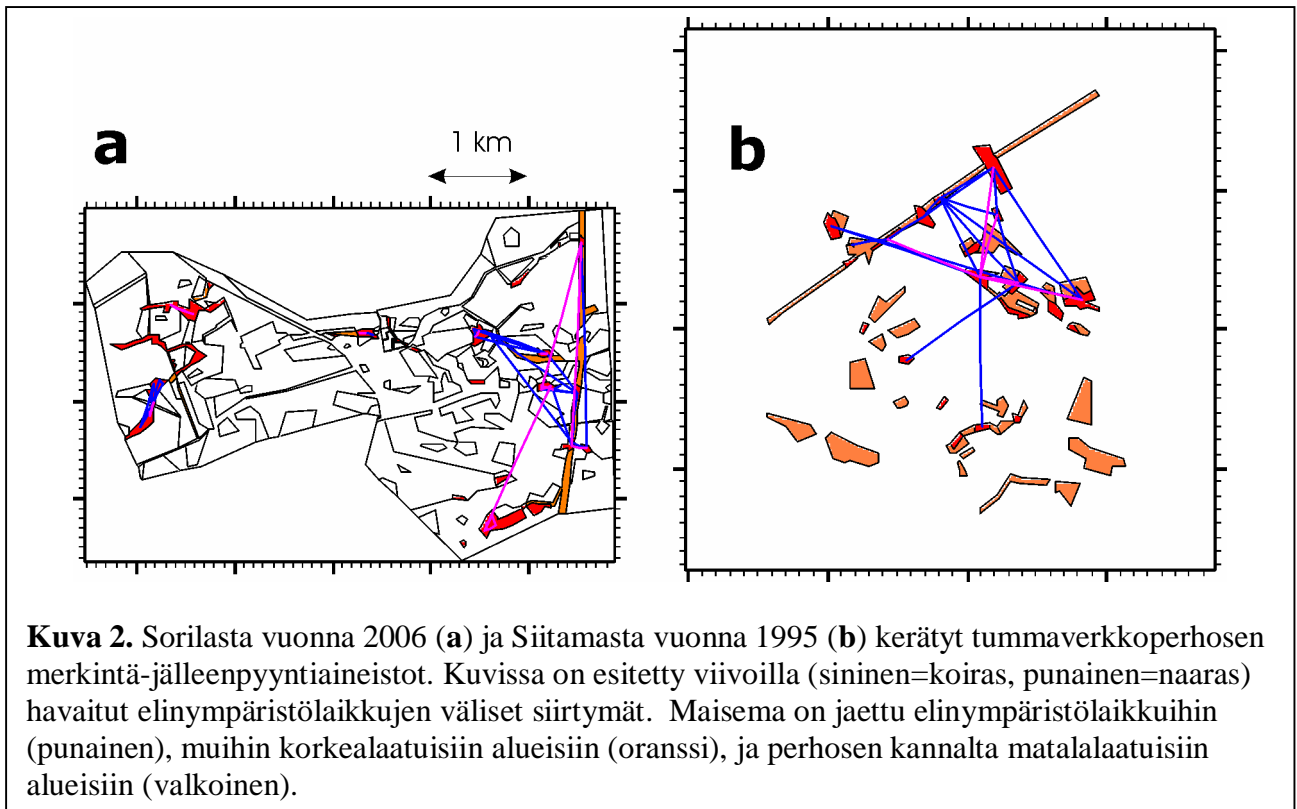
1. Aineistot

Tämä raportti perustuu kahteen erityyppiseen aineistoon: populaatiolaskentoihin (PL) sekä merkintä - jälleenpyyntiaineistoihin (MJ).



Populaatiolaskenta-aineisto koostuu Susanna Lainamon ym. vuosina 1995-2006 Sorilassa ja lähialueilla perhosen lentokauden aikana tekemistä laskennoista. Kuva 1 havainnollistaa PL aineistoa esittämällä sekä asuttujen populaatioiden että laskettujen perhosten määrän vuosittaista vaihtelua. Kuten tyypillistä perhosille, erityisesti populaatiokoko vaihtelee hyvin voimakkaasti (huomaa logaritminen asteikko kuvassa 1b). On kuitenkin huomattava, että myös perhosten laskentaan käytetty työ määrä on vaihdellut vuosien välillä, tätä ei ole huomioitu kuvassa 1.

Mekintä- jälleenpyyntiaineisto koostuu Joonas Lehtomäen ym. vuonna 2006 Sorilasta keräämästä aineistosta (MJ1), sekä Niklas Wahlbergin vuonna 1995 Siitamasta keräämästä aineistosta (MJ2). Näitä aineistoja on havainnollistettu kuvassa 2.



2. Menetelmät

PL aineiston avulla selvitettiin miten eri tekijät vaikuttavat perhosen populaatiodynamiikkaan. Tarkasteltavia vastemuuttujia olivat 1) presence/absence (p), eli oliko tietty elinympäristölaikku tietyssä vuonnassa asuttu vai ei, ja 2) populaatiokoko (n), eli havaittujen perhosten lukumäärä niissä

laikuissa jotka olivat asuttuja. Selittävinä tekijöinä käytettiin laikun kokoa (A), laikun kytkeytyneisyyttä muihin laikkuihin (S), rakentamisen intensiivisyyttä laikun ympäristössä (b), sekä näiden interaktioita. Laikun i kytkeytyneisyys S laskettiin kaavalla

$$S_i = \sum_{j \neq i} \exp(-\alpha d_{ij}) \sqrt{A_j},$$

missä d_{ij} on laikkujen i ja j välinen etäisyys, A_j on laikun j pinta-ala, ja $1/\alpha=1$ km. Kytkeytyneisyys kuvaa kohdelaikun ympäristössä olevien muiden laikkujen määrää, ja sen voi olettaa indikoivan kuinka usein muista laikuista saapuu perhosia kohdelaikkuun. Rakentamisen intensiteetti laskettiin Corine-tietokannan 100*100 m maankäyttöä kuvaavan ruudukon avulla. Laikun i ympäristössä oleva rakentamisen tiheys laskettiin kaavasta

$$b_i = \sum_j \exp(-\beta d_{ij}) o_j,$$

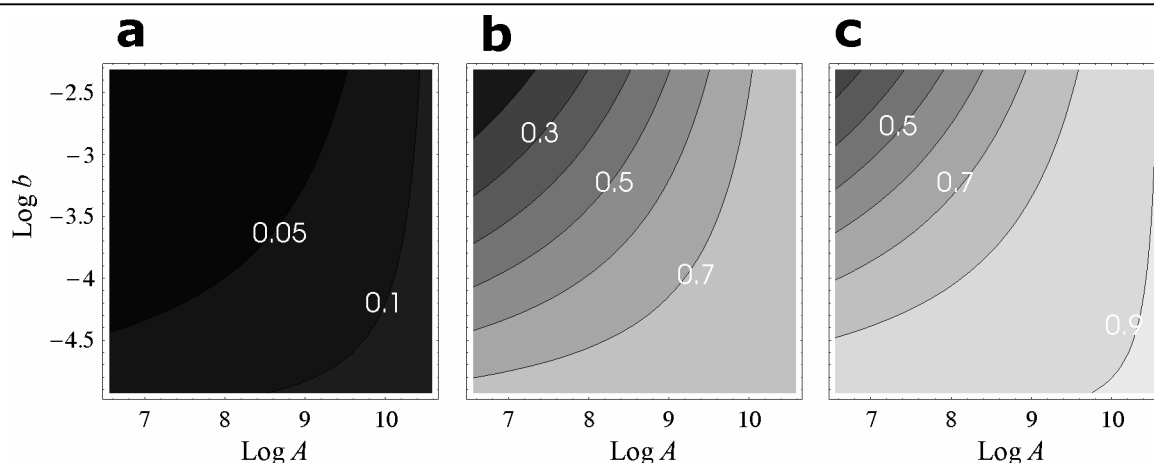
missä $o_j=1$ jos solussa j on rakentamista (Corine luokat 1,2,3,11) ja $o_j=0$ muuten. Mittakaavaksi asetettiin $1/\beta=1$ km. Mahdollisten alueellisten trendien poistamiseksi selittäviin tekijöihin lisättiin laikun sijainnin x -, ja y -koordinaatit ja näiden interaktio. Vuosittaisen vaihtelun korjaamiseksi vuotta käytettiin satunnaistekijänä. Analyysit tehtiin SAS 9.1.3. tilasto-ohjelman GLIMMIX proceduurilla. Muuttujan p tapauksessa oletettiin binomiaalinen ja muuttujan n tapauksessa Poisson-jakautunut virhe. Muuttujat A , S , ja b logaritimuunnettiin.

MJ aineistot analysoitiin Ovaskaisen (2004; *Ecology* **85**, 242-257) kehittämällä diffuusiomallilla, joka erottelee toisistaan perhosten liikkumisen ja ympäristön rakenteen vaikutukset havaintoaineistoon. Maisema jaettiin kolmeen luokkaan, eli varsinaisiin elinympäristölaikkuihin (1), ja muihin perhosen kannalta hyvälaatuisiin alueisiin (2), ja perhoselle soveltumattomiin alueisiin (3) (Kuva 2). Erytymien kiinnostus kohdistui siihen toimivatko luokan 2 alueet, kuten voimalinja-alue, perhosen liikkumiskäytävinä. Mallin parametrit olivat perhosten preferenssi eri habitaattityyppeihin (k_1, k_2, k_3), diffuusiokerroin (liikkumisnopeus) eri habitaattityypeissä (D_1, D_2, D_3), kuolleisuus (m), sekä havaittavuus (q). Koska habitaattityyppien preferenssit ovat suhteellisia lukuja, vakioitiin preferenssi elinympäristölaikuissa arvoon $k_j=100$. Parametrit estimoitiin erikseen naaraille ja koiraille, ja erikseen aineistoille MJ1 ja MJ2.

3. Tulokset: populaatiodynamiikka

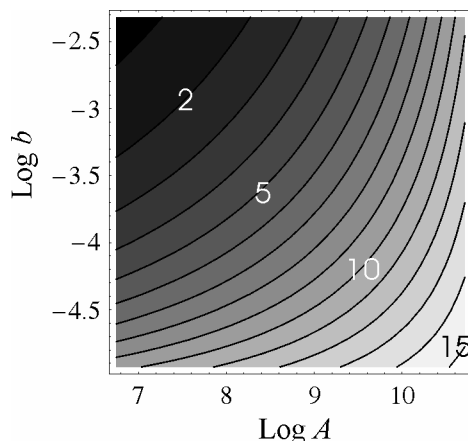
Kaikki testatut muuttujat vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi laikun asutusasteeseen (vastemuuttuja p). Koska interaktiot $S * b$ ja $S * A$ eivät olleet merkitseviä, nämä jätettiin pois mallista. Kuten on odotettavissa, mallin mukaan perhonen esiintyy erityisesti isoilla ja hyvin kytketyillä niityillä (Kuva 3). Sen sijaan ei ollut etukäteen selvää miten laikun lähiympäristön rakentamisen intensiivisyys vaikuttaa perhosen esiintymistodennäköisyyteen. Mallin ennusteen mukaan rakentamisen intensiivisyydellä on negatiivinen vaikutus perhosen esiintymistodennäköisyyteen (Kuva 3). Rakentaminen voi vaikuttaa perhosen esiintymiseen monia suoria ja epäsuoria reittejä (vaikutus elinympäristölaikkujen laatuun, vaikutukset perhosen liikkumiseen, ...), eikä syy-seuraussuhdetta voi tämän tutkimuksen kautta päätellä. Tulos tulee siis ottaa tässä aineistossa havaittuna puhtaasti tilastollisena riippuvuutena.

Asutuilta laikuilta laskettujen perhosten määrään (vastemuuttuja n) vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi vain kohdelaikun koko (A) sekä lähiympäristön rakentamisen intensiivisyys (b). Kuten on odotettavissa, populaatiokoko kasvaa laikun pinta-alan funktiona. Rakentamisen intensiivisyys vaikutti tilastomallissa myös populaatiokoon negatiivisesti (Kuva 4).



Kuva 3. Mallin ennustama elinympäristölaikun asutustodennäköisyys pinta-alan (A) ja laikun ympäristön rakentamistiheyden (b) funktiona. Musta väri vastaa asutustodennäköisyyttä 0 ja valkoinen väri asutustodennäköisyyttä 1. Paneelit vastaavat laikkua joka on huonosti (S :n 0.025 quantiili; **a**), keskimääräisesti (S :n mediaani; **b**), tai hyvin (S :n 0.975 quantiili; **c**) kytketty muihin laikkuihin.

Kuva 4. Mallin ennustama asutetulta elinympäristölaikulta keskimääräisenä vuotena laskennoissa havaittava perhosmäärä laikun pinta-alan (A) ja ympäristön rakentamistiheyden (b) funktiona.



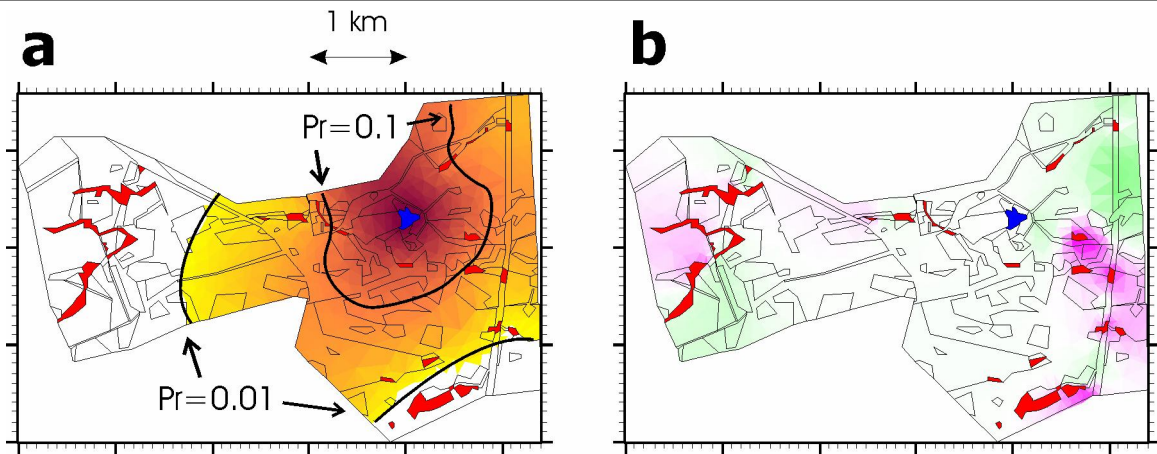
4. Tulokset: liikkuminen elinympäristölaikkujen välillä

Aineistoihin MJ1 ja MJ2 perustuvat parametriestimaatit on esitetty Taulukossa 1. Odotusten mukaisesti perhoset preferoivat eniten elinympäristölaikkuja, seuraavaksi eniten muita hyvälaatuisia alueita, ja vähiten huonolaatuisiksi luokiteltuja alueita ($k_1 > k_2 > k_3$). Molempien aineistojen perusteella koiraiden havaittavuus on naaraiden havaittavuutta parempi, mikä on yleinen tulos perhosilla. Koiraiden keskimääräinen elinikä oli molemmissa aineistoissa naaraiden elinikää lyhyempi (koirilla suurempi m). Liikkumisnopeus elinympäristölaikkujen sisällä voitiin estimoida aineiston MJ2 rakenteen takia luotettavasti vain aineistosta MJ1. Odotusten mukaisesti liikkuminen laikkujen sisällä on huomattavasti hitaampaa kuin muualle.

	MJ1 koiraat	MJ1 naaraat	MJ2 koiraat	MJ2 naaraat
k_1	100	100	100	100
k_2	4 (1 – 15)	3.7 (0.7 – 16.3)	1.4 (0.4 – 4.4)	0.82 (0.14 – 3.5)
k_3	0.6 (0.1 – 5)	0.15 (0.02 – 1.2)	0.19 (0.04 – 6.6)	0.16 (0.024 – 0.62)
D_1	5.8 (1.4 – 90)	7.2 (1.4 – 500)	120 (14 – 1200)	110 (11 – 1100)
D_2	170 (16– 760)	90 (8 – 500)	120 (24-260)	13 (2.6 – 68)
D_3	140 (29 – 680)	210 (50 – 1200)	220 (81 – 930)	130 (37 – 700)
m	0.19 (0.12 – 0.27)	0.12 (0.06 – 0.2)	0.13 (0.11 – 0.15)	0.092 (0.071 – 0.12)
q	0.36 (0.26 – 0.52)	0.21 (0.14 – 0.31)	0.29 (0.24 – 0.34)	0.19 (0.15 – 0.24)

Taulukko 1. Merkintä-jälleenpyyntidatoista estimoidut liikkumisparametrit. Luvut viittaavat mediaaniin ja 95% korkeimman posterioritiheyden luottamusväliin.

Parametrisoidun mallin avulla voidaan arvioida yksilöiden liikkumistodennäköisyyksiä laikkujen välillä (Kuva 5). Tulosten mukaan perhosten liikkuminen naapurilaikkujen välillä on yleistä. Myös pitkän matkan liikkeet Sorilan osaverkostojen välillä ovat todennäköisesti riittävän tiheitä sekä uudelleenkolonisoinnin että geenivirran turvaamiseksi (Kuva 5a). Aineiston MJ1 perusteella yksilöt liikkuvat potentiaalisissa liikkumiskäytävissä lähes yhtänopeasti kuin perhosille soveltumattomissa alueissa. Tämän seurauksena erityisesti voimalinja lisää jonkin verran yksilöiden liikkumista (Kuvat 2a ja 5b). Sensijaan aineiston MJ2 perusteella naaraat liikkuvat hyvälaatuisissa laikkujen ulkopuolisissa alueissa hitaasti (Taulukko 1), jolloin ne eivät lisää laikkujen välisiä liikkeitä.

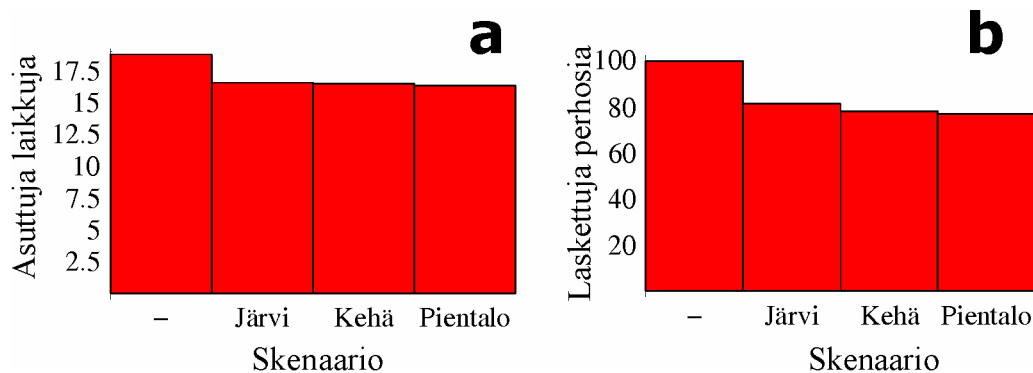


Kuva 5. Diffuusiomallista johdettuja liikkumisennusteita tummaverkkonaaraille (koiraille tulokset kvalitatiivisesti identtisiä). Paneelissa **a** värit näyttävät todennäköisyyden jolla tiettyyn paikkaan syntyvä naaras käy elinaikanaan sinisellä merkityssä kohdelaikussa. Ulomman viivan rajaamalta alueelta todennäköisyys on vähintään 0.01, sisemmän viivan rajaamalta alueelta se on vähintään 0.1. Paneelissa **b** tutkitaan sitä luokan 2 alueiden (mahdolliset liikkumiskäytävät) merkitystä. Lilalla (vihreällä) merkityiltä alueilta olisi vähemmän (enemmän) todennäköistä löytää kohdelaikku ilman luokan 2 alueita. Esimerkiksi kaakkoiskulmassa olevilta laikuilta luokan 2 alueet lisäävät todennäköisyyttä siirtyä kohdelaikulle, koska voimalinja muodostaa näitä kahta aluetta yhdistävän liikkumiskäytävän.

Kuvan 2b tulos (hyvälaatuiset alueet voivat sekä vähentää että lisätä liikkumista, riippuen siitä mistä minne liikkumista tarkastellaan), sekä aineistojen MJ1 ja MJ2 välisten tulosten ristiriitaisuus osoittavat, että ympäristön rakenteen muutoksen vaikutus perhosten liikkumiseen on vaikeasti ennustettavissa.

5. Kaavaversioiden mahdollisista vaikutuksista

PL datasta johdettujen tilastomallien perusteella sekä laikkujen asutustodennäköisyys sekä niiden populaatiokoko on sitä pienempi mitä intensiivisemmin ympäristö on rakennettu. Löydetty yhteys on puhtaasti tilastollinen, sen syy- ja seuraussuhde ei ole tiedossa, ja yhteyden perusteellisempi selvitys vaatisi jatkotutkimuksia. Varovaisuusperiaatteen nojalla rakentamisen potentiaalisen negatiivisen merkityksen huomioiminen on kuitenkin perusteltua. Vaikutuksen voimakkuuden arvioimiseksi laskimme rakentamistiheyden (b) uudestaan kolmelle eri kaava-vaihtoehdolle, ja käytimme mallia ennustamaan laikkujen asutusasteen ja populaatiokoon muutokset. Mallin ennusteen mukaan (Kuva 6) keskimääräisenä vuotena Sorilan alueella suunnitellun rakentamisen seurauksena asuttujen laikkujen määrä vähenisi noin 2-3 laikulla (n. 13%), ja laskennoissa havaittavien perhosten määrä vähenisi noin 20-25 yksilöllä (n. 20%). Nämä luvut olettavat että kaikki elinympäristölaikut säilyisivät rakentamisesta huolimatta, ja kuvastavat siis rakentamisen epäsuoria vaikutuksia. Käytimme myös tilastomallia ennustamaan kuinka monta uutta keskisuurta (5000 m^2) elinympäristölaikkuu tarvittaisiin korvaamaan asutusasteen aleneminen. Mallin ennusteen mukaan kompensoiva uusien laikkujen määrä kolmessa kaavavaihtoehdossa olisi 5.6 kpl (kaava: Järvi kaupunki), 5.9 kpl (Kehä kaupunki), ja 6.4 kpl (Pientalokaupunki). Nämä luvut perustuvat oletukseen, että uusien laikkujen kytkeytyneisyys S ja niiden lähiympäristön rakentamisen intensiteetti b olisi sama kuin olemassaolevilla laikuilla keskimäärin. Kuten edellä on esitetty, näihin lukuihin on syytä suhtautua varauksellisesti, mutta ne antavat suuntaa siitä millaisia epäsuoria vaikutuksia rakentamisella voi mahdollisesti olla. Uusien laikkujen luominen voisi olla mahdollista esim. alueelle suunniteltujen hevostallien luonnonlaidunten kautta. Tässä vaihtoehdossa laidunnuspaineen oikea mitoitus tummaverkkoperhosten elinympäristöiksi tarkoitetuilla niityillä on erittäin tärkeää.



Kuva 6. Aineiston PL pohjalta muodostetun tilastomallin ennustama muutos eri kaavavaihtoehtojen aiheuttamassa asuttujen laikkujen määrässä (a) sekä perhoslaskennoissa havaittavien perhosten lukumäärässä (b). Skenaario ”-” viittaa nykytilanteeseen.

Koska perhosen kannanvaihtelu on suurta (Kuva 1), paikalliset sukupuutot ovat tavallisia, ja kannan pitkäaikainen säilyminen perustuu viimekädessä yksilöiden liikkeisiin laikkujen välillä. Liikkumisdatan (MJ1 ja MJ2) analyysin perusteella voidaan todeta, että nykytilanteessa perhoset kykenevät liikkumaan helposti toisiaan lähellä olevien laikkujen välillä. Myös Sorilan osaverkostojen väliset liikkeet ovat nykytilanteessa riittävän todennäköisiä sekä kolonisointien että geenivirran ylläpitämiseksi. Rakentamisen vaikutuksia perhosen liikkumiseen on vaikea arvioida. Sorilasta kerätyn datan MJ1 analyysissä havaittiin voimalinjalla olevan tilastollisesti merkitsevä liikkeitä lisäävä vaikutus. Koska Siitamasta kerätystä datasta MJ2 tällainen vaikutus puuttui, voidaan johtopäätöksenä todeta että ympäristön rakenteella on hyvin vaikea ennustettavasti vaikutus perhosten liikkeisiin. Tämän valossa tuntuu epätodennäköiseltä, että perhosen liikkeitä laikkujen välillä voitaisiin merkittävästi lisätä maisemaan tätä tarkoitusta varten suunniteltavien käytäväelementtien avulla. Varovaisuusperiaatteen nojalla voisi kuitenkin ajatella laikkujen välialueella tapahtuvan rakentamisen (kaavavaihtoehdot Kehäkaupunki ja Pientalokaupunki) muodostavan potentiaalisen liikkumisesteen. Koska kaavavaihtoehto Järvikaupunki tuo vähiten muutoksia tummaverkkoperhoselle tärkeiden alueiden läheisyyteen, se sisältää vähiten riskejä perhoselle haitallisista vaikutuksista.

Tämä arviointi on tarkoitettu vain kaavaluonnosten yleisrakenteen arviointiin, suunnittelun myöhempiin vaiheisiin on mahdollista ja todennäköisesti myös tarpeen tehdä yksityiskohtaisempia analyysejä. Lisäksi on huomioitava että tässä raportissa on tarkasteltu rakentamisen sellaisia vaikutuksia jotka eivät vaikuta ratkaisevasti tummaverkkoperhosen elinympäristölaikkujen laatuun. Alueen rakentamisella ja tienteolla saattaa potentiaalisesti olla laajoja alueita kuivattava vaikutus, mikä saattaa vaikuttaa perhospopulaatioon huomattavasti voimakammin kuin mitä tässä raportissa on esitetty. Suunnittelun kaikissa vaiheissa tulisikin kiinnittää huomiota vedenkulkuun ja etsiä samalla mahdollisuuksia myös aktiivisesti johtaa tarvittaessa vesiä perhosniityille sekä potentiaalisille käyttöön otettaville uusille niityille. Toinen tämän tarkastelun ulkopuolelle jäänyt huomionarvoinen seikka on pitkäkestoisen rakentamistoiminnan aikainen häiriö, jolla voi olla perhosen kannalta hyvin erityyppinen vaikutus kuin valmiiksi rakennetulla alueella. Näiden seikkojen huomiointi korostaa Järvikaupunkia parhaana kolmesta kaavavaihtoehdosta, koska siinä rakentamista tapahtuu vähiten perhosniittyjen välittömässä ympäristössä ja siten ennustamattomat riskitekijät ovat todennäköisesti pienimmät.

6. Kiitokset

Aineistojen keruuseen ja käsittelyyn ovat osallistuneet mm. Janne Heliölä, Heini Kujala, Susanna Lainamo, Joonas Lehtomäki, Evgeniy Meyke, Marko Schrader. Ilkka Hanskia ja Ari Jokista kiitämme keskusteluista ja kommentteista.