

SAHLBERGIA

VUOSIKERTA 32 (2026), NUMERO 1





SAHLBERGIA (ISSN 2342-7582)

Julkaistu: 30.6.2026

Julkaisija: Luonnontieteellinen keskusmuseo LUOMUS

Päätoimittaja: Heidi Viljanen

Email: sahlbergia-lehti@helsinki.fi

Kansikuva: Mäkäran (*Simulium*) kotelo suojuksessaan (cocoon). (Salmela, J. kuva 12. s.19)

SISÄLLYS

<i>Sphecophaga vesparum</i> -piiloahmanen (Ichneumonidae) loisii norjanampiaista Enontekiön Lapissa: Komonen, A., Paukkunen, J. & Matikainen, M.	2
Valkosukaskääpiäisestä karvavyökäävästä Etelä-Suomesta kasvatettuja pistiäisiä — Wasps reared from <i>Sulcaxis nitidus</i> in <i>Trametes hirsuta</i> in South Finland: Vikberg, V.	4
Hyönteisten ja hämähäkkien kuvaaminen mikroskoopilla – teorian alkeet ja parhaat käytännön vinkit: Salmela, J.	6
Microlepidoptera of Mongolia collected by the Finnish Lepidopterological Expedition from provinces Selenge and Tuv, Khentii (Kentei) Mountains, July 2024: Laasonen, E. M., Laasonen, L., Saarenmaa, H., Tokola, P. & Englund, M.	21

Sphecophaga vesparum -piiloahmanen (Ichneumonidae) loisii norjanampiaista Enontekiön Lapissa

Atte Komonen, Juho Paukkunen & Monika Matikainen

Komonen A. & Paukkunen, J. 2026: *Sphecophaga vesparum* -piiloahmanen (Ichneumonidae) loisii norjanampiaista Enontekiön Lapissa. — Sahlbergia 32(1): 2–3. Helsinki, Finland, ISSN 2342-7582.

Yhteiskunta-ampiaisten pesissä elää monia loishyönteisiä. Tässä artikkelissa raportoimme, ensimmäistä kertaa Suomessa, *Sphecophaga vesparum* -pistiäisen loisivan norjanampiaista (*Dolichovespula norvegica*). Lisäksi digitoimme Luomuksen näytteet ja kokosimme omat havaintomme, joiden pohjalta esitämme lajin levinneisyyden Suomessa.

Nests of social vespine wasps host many parasitoids. In this article, we report for the first time in Finland that the ichneumonid *Sphecophaga vesparum* parasitizes *Dolichovespula norvegica*. We also present the distribution of *S. vesparum* in Finland, based on the specimens in the Finnish Museum of Natural History and our own observations.

Atte Komonen, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto. Email: atte.komonen@jyu.fi

Juho Paukkunen, Luonnontieteellinen keskusmuseo Luomus, Eläintieteen yksikkö, PL 17, 00014 Helsingin yliopisto. Email: juho.paukkunen@helsinki.fi

Monika Matikainen, Luonnontieteellinen keskusmuseo Luomus, Eläintieteen yksikkö, PL 17, 00014 Helsingin yliopisto. Email: monika.matikainen@helsinki.fi

Johdanto

Loiset eivät välttämättä ole levinneet koko isäntälajinsa levinneisyysalueelle, esimerkiksi epäsuotuisten ilmasto-olosuhteiden takia. *Sphecophaga vesparum* (Curtis, 1828) -pistiäinen (Kuva 1) on kuitenkin lähes kosmopoliitti, joka loisii yhteiskunta-ampiaisten (Vespinae) pesissä (Donovan 1991). Runsaslajisessa ahmaspistiäisten (Ichneumonidae) heimossa *S. vesparum* kuuluu piiloahmasten (Cryptinae) alaheimoon, josta on tavattu 161 Suomessa esiintyvää lajia.

Maailmalla tätä ampiaistoukkien ulkoloista on tavattu sekä *Dolichovespula*- että *Vespula*-sukujen ampiaispesistä (Archer 2012). Euroopassa *S. vesparum* -lajin isäntälajin käytössä on maantieteellistä vaihtelua. Englannissa lajia ei ole löydetty norjanampiaisen (*D. norvegica*), pensasampiaisen eikä räystäsampiaisen pesistä (Archer 2012), kun taas Puolassa lajia on

löydetty sekä räystäs- että norjanampiaisen pesistä (Pawlikowski & Pawlikowski 2010, Nadolski 2013). Suomesta lajia on aiemmin löydetty vain räystäsampiaisen (*D. saxonica*) ja pensasampiaisen (*D. media*) pesistä (Komonen 2023).

Tässä artikkelissa raportoimme *Sphecophaga vesparum* -lajin loisiman *Dolichovespula*-pesän ominaisuuksista Enontekiön Lapissa. Esitämme myös koosteen lajin levinneisyydestä Suomessa.

Aineisto ja menetelmät

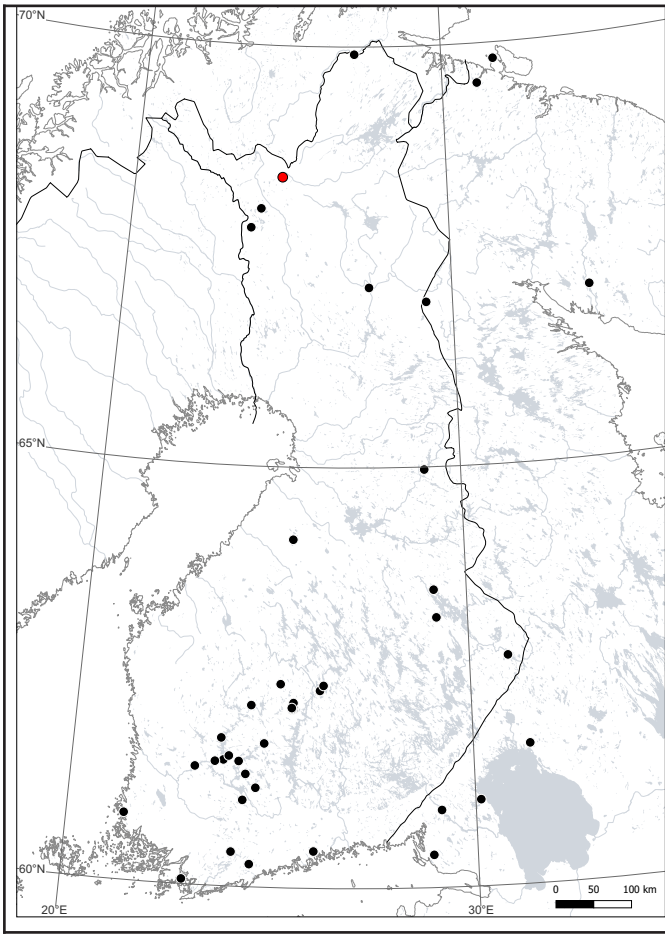
Kirjoittajille toimitettiin *Dolichovespula*-suvun ampiaispesän kennostot niiden löytäjän, Minna-Maarit Kytöviidan, toimes-



Kuva 1. *Sphecophaga vesparum* loisii ampiaispesissä. Ruumiin pituus on 5–8 mm. Lajin kotelokehoja pensasampiaisen pesässä. Kotelokehdot voivat olla valkoisia tai vaaleanruskeita; vaaleanruskeat ovat yleensä talvehtimiskehoja. Kuvat: Atte Komonen.



Kuva 2. Pesä löytyi maasta Hietatievoilta Enontekiöltä. Kuvat: Minna-Maarit Kytöviita.



Kuva 3. *Sphecophaga vesparum* -havainnot Suomesta ja Venäjältä Laji.fi mukaan (6.11.2025). Enontekiön havainto on punaisella.

ta. Pesä löytyi maasta Enontekiön Hietatievoilta Kalmakal-tion eteläpuolelta 28.8.2024 (Kuva 2). Pesässä oli kolme vielä kennossaan olevaa ja vain osittain pigmentoitunutta aikuista, joiden perusteella ampiaislaji määritettiin norjanampiaiseksi. Lisäksi digitoimme Luomuksen *S. vesparum* -näytteet ja koostimme havainnot Laji.fi tietokannan (6.11.2025) ja kirjoittajien omien havaintojen perusteella. Jos museonäytteitä oli samalta paikalta ja päivältä useita, pidimme niitä yhtenä havaintona. Omat löytömmme olivat eri ampiaispesistä, joten niitä pidimme erillisinä havaintoina.

Tulokset ja pohdinta

Sphecophaga vesparum -lajin ei ole aiemmin todettu loisivan norjanampiaista Suomessa. Kuitenkin vanha havainto tästä lajista Utsjoelta on mitä ilmeisimmin peräisin norjan- tai taiga-ampiaisen pesästä, sillä räystääs- ja pensasampiainen eivät esiinny näin pohjoisessa.

Pesässä oli kaksi kennostoa ja 87 kennoa, mutta koska se oli rikki, pesän alkuperäistä kokoa ei pystynyt varmuudella toteamaan. Loistuttujen kennojen osuus oli 20 % ($n = 17$; Taulukko 1). Loistutuista kennoista 12:ssa oli yksi loisen kotelokehto, 3:ssa 2, yhdessä 4 ja yhdessä 5. Kymmenestä loiskotelokeh-

Taulukko 1. Ampiaiskennojen sekä loistuttujen ampiaiskennojen ja loisen kotelokehtojen lukumäärä. Tyvikennosto on tehty ensimmäisenä ja on lähimpänä pesän kiinnittymiskohtaa. Pienistä ampiaiskennoista kehittyy yleensä työläisiä ja isoista kuningattaria tai koiraita.

	Kennoja yhteensä	Isoja kennoja	Loistuttuja kennoja	Loiskehtoja
Tyvikennosto	74	0	12	17
Ulkokennosto	13	11	5	8

dosta oli kuoriutunut aikuinen loinen. Jos löydetty kennostot edustivat ehjää pesää, loistuttujen kennojen osuus oli suurempi kuin on havaittu räystääsampiaisen pesistä Keski-Suomessa (0,6–11 %, Komonen 2023).

Kaiken kaikkiaan *S. vesparum* -havaintoja on melko vähän (Laji.fi: $n = 34$; kirjoittajat $n = 14$). Museonäytteet ovat vuosilta 1920–1982 ja kirjoittajien vuosilta 2020–2022. Koostemme osoittaa, että *S. vesparum* esiintyy lähes koko Suomen alueella (Kuva 3); osa museonäytteistä ($n = 8$) on Venäjän Karjalasta ja Murmanskin alueelta. Havaintomme Enontekiöltä laajentaa hieman lajin tunnettua levinneisyysaluetta Suomessa. Koska *S. vesparum*in läsnäolo on helppo tunnistaa kotelokehtojen perusteella vanhoistakin ampiaispesistä (Kuva 1), kannustamme kaikkia ilmoittamaan lajihavaintonsa. Erityisen hyödyllistä olisi saada havaintoja, joissa isäntälaji on muu kuin räystääs- tai pensasampiainen.

Kiitokset

Kiitämme Minna-Maarit Kytöviitaa pesän löytämisestä ja valokuvista sekä Sampsa Lommia kartasta.

Kirjallisuus

- Archer, M. E. 2012: Vespine Wasps of the World. Siri Scientific Press, Manchester. 352 s.
- Donovan, B. J. 1991: Life cycle of *Sphecophaga vesparum* (Curtis) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of some vespids wasps. – New Zealand Journal of Zoology 18: 181–192.
- Douwes, P., Abenius, J., Cederberg, B., Wahlstedt, U., Hall, K., Starkenberg, M., Reisborg, C. & Östman, T. 2012: Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Steklar: Myror–getingar. Hymenoptera: Formicidae–Vespidae. ArtDataBanken, SLU, Uppsala. 382 s.
- Komonen, A. 2023: Nest characteristics and associates of *Dolichovespula* (Hymenoptera, Vespidae) in Central Finland. – Journal of Hymenoptera Research 96: 45–55.
- Nadolski, J. 2013: Factors restricting the abundance of wasp colonies of the European hornet *Vespa crabro* and the saxon wasp *Dolichovespula saxonica* (Hymenoptera: Vespidae) in an urban area in Poland. – Entomologica Fennica 24: 204–215.
- Pawlikowski, T. & Pawlikowski, K. 2010: Nesting interactions of the social wasp *Dolichovespula saxonica* [F.] (Hymenoptera: Vespinae) in wooden nest boxes for birds in the forest reserve “Las Piwnicki” in the Chełmno Land (Northern Poland). – Ecological Questions 13: 67–72.

Valkosukaskääpiäisestä karvavyökäävästä Etelä-Suomesta kasvatettuja pistiäisiä — Wasps reared from *Sulcaxis nitidus* in *Trametes hirsuta* in South Finland

Veli Vikberg

Vikberg, V. 2026: Valkosukaskääpiäisestä karvavyökäävästä Etelä-Suomesta kasvatettuja pistiäisiä — Wasps reared from *Sulcaxis nitidus* in *Trametes hirsuta* in South Finland. — Sahlbergia 32(1): 4–5. Helsinki, Finland, ISSN 2342-7582.

On 12.10.2024 specimens of *Trametes hirsuta* were taken for rearing in Janakkala, South Finland. On 9.1.2025 they were brought to room temperature and after some days many adults of *Sulcaxis nitidus* (Coleoptera: Ciidae) emerged from them. Between 27.1.-20.2.2025 25 males and 25 females of *Allocerastichus doderi* (Hymenoptera: Eulophidae) and between 12.2.-6.3.2025 22 males and 86 females of *Cephalonomia formiciformis* (Hymenoptera: Bethyridae) emerged. Brachypterous females of the bethyrid were most numerous (76), long-winged males (15), long-winged females (10) and brachypterous males were less numerous (7). *Allocerastichus doderi* was in addition reared from *Sulcaxis nitidus* in *Trametes cinnabarina* in Janakkala, South Finland and from *Trametes* sp. in Ruskeala in Leningrad area of Russia.

Veli Vikberg, Liinalammintie 11 as. 6, FI-14200 Turenki, Finland. E-mail: veli.vikberg@pp.inet.fi

Näyte ja kasvatus: 12.10.2024 otin Janakkalan Luotatin (67520:83679) pellon itäreunalta koivuvaltaisesta sekametsästä hieskoivun kaadettujen kantojen päällä kasvavia karvavyökääpiä (*Trametes hirsuta* (Wulfen: Fr.) Pilát) 26 kappaletta talteen ja panin ne muovipussiin talouspaperin kanssa talvehtimaan puiseen arkkun ulos. Käävät olivat melko pieniä ja suurin niistä oli 7 x 4 cm.

9.1.2025 käävät otettiin sisälle huoneenlämpöön. Muutamassa päivässä valkosukaskääpiäisen (*Sulcaxis nitidus* (Fabricius); Ciidae) aikuisia alkoi liikkua pussissa ja niitä ilmestyi sitten jatkuvasti lisää ulos käävistä. 27.1.2025 ensimmäiset 2 *Allocerastichus doderi* Masi -kiilupistiäisen (Hymenoptera: Eulophidae) koirasta ilmestyi pussiin. Niitä tuli lisää seuraavina päivinä ja 11.2.2025 havaittiin lajin ensimmäinen naaras. 12.2.2025 havaittiin ensimmäinen kääpälätiaisen (*Cephalonomia formiciformis*, Westwood) (Hymenoptera: Bethyridae) koiras ja 14.2.2025 lajin ensimmäinen naaras. *Allocerastichus doderi* -lajia tuli lisää 20.2.2025 saakka ja *C. formiciformis* -lajia 6.3.2025 asti.

Allocerastichus doderi -lajia tuli yhteensä 25 koirasta ja 25 naarasta, joten koiraiden osuus on 50 %. Koiraiden pituus vaihteli 0.9-1.2 mm. Naaraalla on selvästi esiintyöntyvä munanasetin ja naaraiden pituus vaihteli ilman sitä 1.1-1.5 mm ja se mukaan laskettuna 1.3-1.8 mm.

Cephalonomia formiciformis -lajia tuli yhteensä 22 koirasta ja 86 naarasta, joten koiraiden osuus on 20 %. Sekä koirat että naaraat voivat olla joko pitkäsiipisiä tai tynkäsiipisiä. Pitkäsiipisiä koiraita tuli 15 ja niiden pituus oli 1.2-1.4 mm. Tynkäsiipisiä koiraita tuli vain 7 ja niiden pituus 1.05-1.2 mm. Pitkäsiipisiä naaraita oli 10 ja niiden pituus 1.55-1.7 mm. Tynkäsiipisiä naaraita oli 76 ja niiden pituus 1.0-1.65 mm. Yksilön pituus on yhteenlaskettu pään, keskiruumiin ja takaruumiin pituus. Paras

yhteinen mitta joka kuvaa sekä koiraan että naaraan kokoa, on keskiruumiin pituus. Naaraan ja koiraan pää ovat muodoltaan erilaisia ja naaraan takaruumiin pituus vaihtelee paljon.

Pohdinta: Koska käävässä asusti vain yksi kääpiäislaji, sen täytyy olla kummankin pistiäisen isäntälaji. *Sulcaxis nitidus* on uusi isäntälaji *Allocerastichus doderille*, koska sitä ei mainita tätä lajia koskevissa aikaisemmissa julkaisuissa (Askew & Boness 2008, Boucek 1963, Boucek & Askew 1968 ja UCD Community 2023). Se on ilmeisesti myös uusi isäntä *Cephalonomia formiciformis* -lajille (Hedqvist 1975, Richards 1939).

O. W. Richards (1939: 301-302) kasvatti talven 1933-1934 aikana *Cephalonomia formiciformis*-lajia Buckinghamshiressä Englannissa koivun käävistä ja sai 18 pitkäsiipistä naarasta, 7 tynkäsiipistä naarasta ja 5 pitkäsiipistä koirasta ; koiraiden osuus oli 17 %. Lajin Englannin koko aineisto käsitti 34 pitkäsiipistä ja 30 tynkäsiipistä naarasta sekä 11 pitkäsiipistä koirasta. Tynkäsiipistä koirasta Richards ei tuntenut tästä lajista ollenkaan.

Allocerastichus doderi -lajin ilmoitin Suomesta (Vikberg 1982) Hattulasta: yksi naaras syntyi toukokuussa 1975 kaatuneen pihlajan punakäävästä (*Pycnoborus cinnabarinus*; nyt sen validi nimi *Trametes cinnabarina* (Jacq. Fr.)). Kääpiäislaji jäi silloin tunnistamatta. Uusin lajin kasvatus punakäävästä kaatuneelta pihlajalta on Janakkalan Kalpalinnasta Jaskan rinteestä. Näyte otettiin 27.8.2024 ja talvehtimisen jälkeen kääpiäiset ja loinen syntyivät helmi-maaliskuussa 2025. Jaakko Mattila varmisti että myös tämä kääpiäislaji oli *Sulcaxis nitidus*.

Olen kasvattanut *Allocerastichus doderi* -yksilöitä myös lehtipuiden pienistä käävistä Venäjän Leningradin alueelta Ruskealasta Suomen Hyönteistieteellisen Seuran Itä-Karjalan kesäretken paluumatkalla heinäkuussa 1992. Tryapitsyn (1978) ei



Kuva 1. *Allocerastichus doderi* -naaras sivulta
Fig. 1. *Allocerastichus doderi*, female in lateral view



Kuva 2. *Allocerastichus doderi* -koiras sivulta
Fig. 2. *Allocerastichus doderi*, male in lateral view

mainitse lajia Venäjältä, joten tämä kasvatus saattaa olla lajin ensilöytö Venäjältä.

Kiitokset

Stiina Vinnenmaa vei käävän ja kuoriaisia Helsingin Yliopiston Eläinmuseoon Juho Paukkuselle ja siellä Jaakko Mattila tunnisti sekä käävän että kääpiäisen. Pekka Malinen otti karvavyökäävästä kasvatettujen pistiäisten habitus-kuvat.

Kirjallisuus

- Askew, R. R. & Boness, M. 2008: Chalcidoidea (Hym.) emerging from bracket fungi, – Entomologist's Monthly Magazin 144(1): 31-49.
Bouček, Z. 1963: Studien über europäische Eulophidae, III: Euderinae (Hymenoptera: Chalcidoidea). – Beiträge zur Entomologie 13(3/4): 257-281.
Bouček, Z. & Askew, R. R. 1968: Index of Palearctic Eulophidae (excl. Tetrastichinae). – Index of entomophagous insects: 1-254.



Kuva 3. *Cephalonomia formiciformis*, tynkäsiipinen naaras sivulta
Fig. 3. *Cephalonomia formiciformis*, short-winged female in lateral view



Kuva 4. *Cephalonomia formiciformis*, pitkäsiipinen koiras sivulta
Fig. 4. *Cephalonomia formiciformis*, long-winged male in lateral view

- Hedqvist, K.-J. 1975: Notes on Emblemidae and Bethyloidea in Sweden with description of a new genus and species (Hym., Bethyloidea). – Entomologisk tidskrift 96(1): 121-132.
Richards, O. W. 1939: The British Bethyloidea (s.l.) (Hymenoptera). – Transactions of the Royal Entomological Society of London 89(8): 185-344.
Trjapitzin, V. A. 1978: Hymenoptera II. Chalcidoidea 13. Eulophidae (excl. Tetrastichinae). – Opredeliteli Nasekomykh Evropeyskoy Chasti SSR 3, 381-430. [English translation 1988 Oxonian Press Pvt. Ltd., New Delhi]
UCD Community. 2023. Universal Chalcidoidea Database Website. <https://ucd.chalcid.org>. Accessed on 3.3.2025.
Vikberg, V. 1982: Additions to the chalcid fauna of Finland (Hymenoptera, Chalcidoidea). – Notulae Entomologicae 62: 129-142.

Hyönteisten ja hämähäkkien kuvaaminen mikroskoopilla – teorian alkeet ja parhaat käytännön vinkit

Jukka Salmela

Salmela, J. 2026: Hyönteisten ja hämähäkkien kuvaaminen mikroskoopilla – teorian alkeet ja parhaat käytännön vinkit. — Sahlbergia 32(1): 6–20. Helsinki, Finland, ISSN 2342-7582.

Mikroskoopit ovat lähes kaikkien niveljalkaisia eläimiä tutkivien tai määrittävien henkilöiden rutiininomaisessa käytössä. Ne ovat myös keskeisiä optisia työkaluja hyönteisten, kidusjalkaisten ja hämähäkkieläinten kuvantamisessa. Perinteinen tapa taksonomiseen kuvantamiseen on ollut kynä ja paperi, mutta sen on osittain tai kokonaan korvaamassa kerroskuvaaminen digitaalisten kameroiden avulla, jotka on kiinnitetty mikroskooppeihin. Tässä kirjoituksessa esitellään valomikroskopian perusteita, kuten resoluutiota ja numeerista apertuuria, sekä mikroskooppien (yhdistelmä- ja stereomikroskooppi), digitaalisten kameroiden ja valaisimien keskeisiä ominaisuuksia ja käyttötapoja. Teoreettisen ja teknisen taustoituksen ohella tarjotaan käytännössä koeteltuja vinkkejä onnistuneeseen kerroskuvaamiseen kuivilla ja nesteessä säilytyillä niveljalkaisilla.

Jukka Salmela, Lapin maakuntamuseo, Arktikum, Pohjoisranta 4, 96200 Rovaniemi. Email: jukka.salmela@rovaniemi.fi

Johdanto

Hyönteiset ovat maapallon lajirikkain eliöryhmä yli miljoonalla tieteellisesti nimetyllä lajilla. Hyönteiset vaihtelevat suuresti runsauden, elinkiertojen, elintapojen ja elinympäristöjen suhteen, sekä erot niiden koossa ja morfologiassa ovat suorastaan häkellyttävät (Grimaldi 2023). Hyönteistaksonomiassa eli tieteenalassa, jossa lajeja nimetään ja rajataan, on vuosisatojen ajan käytetty piirtämistä kuvantamisen menetelmänä. Esimerkiksi Charles De Geer julkaisi ajankohtaan nähden kelvollisia kuvia esimerkiksi hyttysistä ja sulkahyttysistä jo 1776 (De Geer 1776). Suomalaiset sääskitaksonomit Risto Tuomikoski, Mauri Hirvenoja, Rauno Väisänen ja Jari Tuiskunen piirsivät huomattavan tarkkoja ja korkealaatuisia kuvia 1900-luvun jälkimmäisellä puoliskolla (Tuomikoski 1960, Hirvenoja 1973, Väisänen 1984, Tuiskunen 1986). Heikki Hippa on pitkän ja edelleen jatkuvan uransa aikana tehnyt kynällä ja paperilla korkealaatuista kuvantamista kaksisiipisistä hyönteisistä ja hämähäkeistä (esim. Hippa 1978, Hippa & Oksala 1985, Hippa & Vilkamaa 1991, Hippa 2006). Tunnettu tarkasta kynänjäljestään oli myös hämähäkkitutkija Michael Saaristo (esim. Saaristo 1971), eikä eläintieteen moniottelija Pontus Palmgrenin piirtämiä kuvia riippuhämähäkeistä voi pitää huonoina (Palmgren 1975, 1976). Toki 1900-luvulla myös valokuvaamista filmille käytettiin lajien kuvaamisessa, joko ainoana menetelmänä tai piirroskuvien täydentämiseksi (esim. Nordström 1933, Figiber 1997). Kuitenkin piirtäminen oli vallitseva kuvantamistapa esimerkiksi itselleni läheisessä sääskitaksonomiassa 2000-luvun alkupuolelle saakka. Hyvälaatuinen kuvantaminen piirtämällä vaatii joko ankaraa harjoittelua tai poikkeuksellisia lahjoja, joita ei ole suotu kaikille, vaikka piirtämisessä käyttäisi optista apuvälinettä (*camera lucida*). Niveljalkaisia käsittävästä valtavasta taksonomisesta kirjallisuudesta olisi myös antaa useita esimerkkejä vähemmän taidokkaasta piirtämisestä. Koska kuvaamattomia hyönteislajeja on kumat useita miljoonia (Stork 2018), on tieteellisen kuvantamisen oltava oleellisesti piirtämistä nopeampaa, mikäli merkittävä osa kuvaamattomis-

ta lajeista yritetään morfologisesti kuvata ja nimetä kuluvan vuosisadan aikana. Kilpailukykyinen vaihtoehto hyvätasoiselle piirtämiselle onkin digitaalinen kuvantaminen, jota on enenevässä määrin käytetty 2000-luvun alusta lähtien.

Tarkkojen ja hyvälaatuisten niveljalkaiskuvien tarve on ilmeinen. Kuvantamista tehdään museoissa, jotta arvokkaat kohteet ovat paremmin tiedeyhteisön ja yhteiskunnan saatavilla (esim. Flemons & Berents 2012). Hyvät kuvat esimerkiksi tyyppiyksilöistä vähentävät niiden lainaamisen tarvetta, ja samalla vähentävät riskiä niiden vahingoittumisesta tai katoamisesta (esim. Tauber et al. 2019). Taksonomisen kuvantamisen ohella tutkijat ja harrastajat haluavat kuvata yksilöitä havainnon dokumentoinnin tai varmistamisen vuoksi. Korkealaatuisilla kuvilla voidaan myös kertoa hyönteisten paljaalle silmälle näkymättömästä kauneudesta ja samalla lisätä niiden arvostusta (Biss 2017, Karjalainen 2024).

Erilaisia laitteita hyönteisten digitaaliseen kuvantamiseen on saatavilla hintahaitarin molemmista päistä. Vähimmillään riittää tehokas älypuhelin, tai älypuhelimien kamera varustettuna lisäobjektiivilla. Tai sitten voi hankkia 50 000–100 000 EUR arvoisen digitaalisen mikroskoopin, jossa useimmat toiminnot ovat automatisoituja. Hankittavat laitteet riippuvat toki myös kuvattavien hyönteisten koosta ja säilömistavoista – pitääkö olla yhdistelmämikroskooppi, stereomikroskooppi vai molemmat. Mitä niveljalkaisharrastajan tai -tutkijan olisi hyvä tietää digitaalisen mikroskooppikuvantamisen perusteista? Mitä tekijöitä ja ominaisuuksia kannattaa ottaa huomioon, jos on hankkimassa mikroskooppia ja siihen sopivaa kameraa? Mitä ohjelmistoja on tarpeellista käyttää, entä mitä apuvälineitä on hyvä olla olemassa? Tämän artikkelin tarkoitus on luoda pohjaa valomikroskopian perusteisiin sekä tarjota vinkkejä onnistuneeseen digitaaliseen kuvantamiseen mikroskoopin avulla. Alla esitetyt tiedot perustuvat useisiin lähteisiin, kuten Lawlor

(2019), Leica Microsystems Science Lab -sivusto (<https://www.leica-microsystems.com/science-lab/>) sekä Nikon Microscopy U (<https://www.microscopyu.com/>). Youtuben puolella esim. Microbehunter Microscopy on hyvä lähde luotettavaan tietoon mikroskopiasta. Omat kokemukseen perustuvat näkemykset ja vinkit on pyritty erottamaan yleisistä mikroskopiaa ja kuvantamista koskevista teknisistä tiedoista.

Valomikroskopia

Tässä artikkelissa keskitytään valomikroskopiaan ja digitaaliseen kuvantamiseen, jotka tapahtuvat näkyvän valon aallonpituuksien puitteissa, joko yhdistelmä- tai stereomikroskoopeilla. Hyönteisten ja hämähäkkieläinten kuvantamisessa voidaan käyttää myös muita menetelmiä, kuten UV-valoa tai SEM-mikroskopiaa (*Scanning Electron Microscope*, pyyhkäiselektronimikroskooppi), mutta niitä ei käsitellä tässä artikkelissa. Lisäksi makrokuvaus digitaalisilla peilikameroilla ja makro-objektiiveilla (tai mikroskooppiobjektiiveilla) mainitaan vain lyhyesti.

Valon ominaisuudet ja valomikroskopian rajat

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joka etenee avaruudessa sähkö- ja magneettikenttien värähtelynä. Valolla on sekä aaltoluonne että hiukkasluonne: sitä voidaan kuvata aallonpituuden ja taajuuden avulla, mutta se koostuu myös fotoneista. Ihmisen silmä havaitsee vain pienen osan sähkömagneettisesta spektristä, niin sanotun näkyvän valon, jonka aallonpituudet ovat noin 380–750 nanometriä. Näkyvässä valossa eri aallonpituudet vastaavat eri värejä, siten että violetti ja sininen valo ovat lyhytaaltoisimpia ja punainen pitkäaaltoisinta; keskimääräisen vihreän valon aallonpituus on noin 550 nm. Aallonpituus määrittää valon värin ja energian, ja lyhyemmät aallonpituudet sisältävät enemmän energiaa kuin pidemmät.

Resoluutio eli erotuskyky

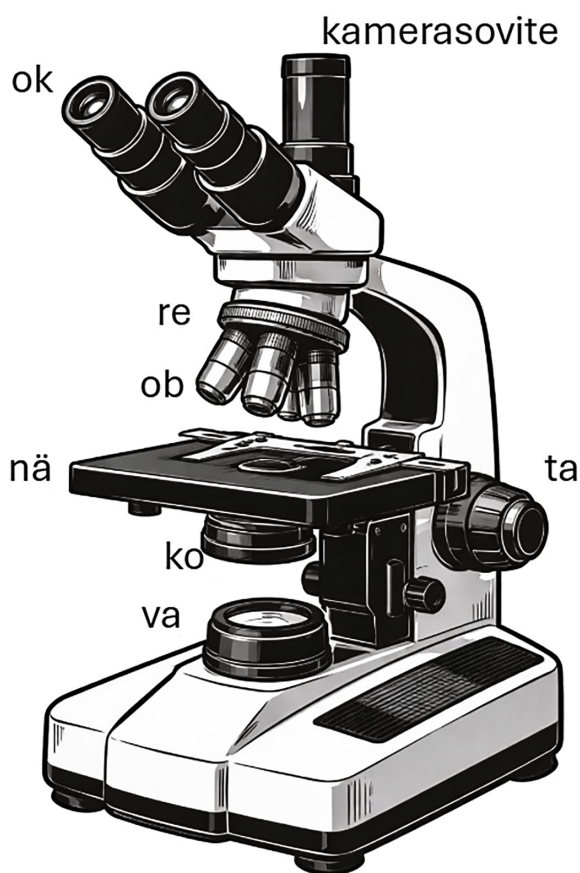
Näkyvän valon aallonpituus asettaa valomikroskopialle perustavanlaatuisen erotuskyvyn eli resoluution rajan. Resoluutiolla tarkoitetaan kykyä erottaa kaksi toisiaan lähellä olevaa yksityiskohtaa erillisinä rakenteina, eikä yhtenä sumeana kohteena. Valon luonteen takia kahta toisiaan lähellä olevaa yksityiskohtaa ei voida erottaa toisistaan, jos niiden välinen etäisyys on selvästi alle noin 200 nanometriä (0.2 μm). Tämä raja määräytyy valon diffraktion (taantumisen) perusteella ja sitä kuvataan Abben tai Rayleighin kaavoilla, jossa erotuskyky riippuu käytetyn valon aallonpituudesta ja objektiivin numeerisesta apertuurista (NA, *numerical aperture*) (ks. esimerkki alempana). Valomikroskopialla voidaan havaita solujen rakenteita, bakteereja, soluelimiä sekä hyönteisten ja muiden pieneliöiden hienoja morfologisia yksityiskohtia, mutta yksittäiset molekyylit, virukset tai atomit jäävät tämän menetelmän ulkopuolelle.

Resoluution tarkassa arvioinnissa voi ottaa huomioon myös (yhdistelmä)mikroskoopin kondensaattorin NA-luvun, mutta yksinkertaisuuden vuoksi se on jätetty tässä käytetyistä esimerkeistä pois. Lisäksi syvyysalueen resoluution (aksiaalinen resoluutio, z) laskemiseen on oma kaavansa. Tarkempaan resoluution määrittämiseen esim. mikroskoopin digitaalisesta kuvasta on omat menetelmänsä, kuten Fourier-analyysi.

Rayleighin kaava on hyödyllinen, kun halutaan määrittää objektiivin lateraalinen (x , y) erotuskyky. $d = \lambda \times 0.61 / \text{NA}$, jossa d = erotuskyky, λ on käytetyn valon aallonpituus (esim. vihreä valo, 550 nm tai 0,55 μm) ja NA on objektiivin numeerinen apertuuri. Numeerinen apertuuri kuvaa objektiivin kykyä kerätä valoa näytteestä ja siten sen kykyä erottaa yksityiskohtia. Mitä suurempi NA on, sitä suurempi on objektiivin erotus- ja valonkeräyskyky. NA lasketaan kaavalla $\text{NA} = n \sin(\theta)$, jossa n on väliaineen taitekerroin (ilmalla 1, vedellä n. 1.3, öljyllä n. 1.5) ja θ on puolet suurimmasta valokartiokulmasta, jonka objektiivi pystyy vastaanottamaan näytteestä. Esimerkiksi itselläni käytössä olevassa Leican HC FL PLAN 40 $\times$ /0.65 (viimeinen luku on NA) objektiivissa resoluutio vihreällä valolla on noin 0.52 μm . Resoluution laskemisesta on apua, kun arvioidaan kameran kykyä tallentaa haluttu näkymä digitaalisesti.

Vaikka objektiivin erotuskyky määrittää valomikroskoopin teoreettisen resoluution, digitaalisessa kuvantamisessa ratkaisevaa on myös kuvan näytteistäminen kameran kennolla. Jotta objektiivin tuottama informaatio voidaan tallentaa ilman yksityiskohtien vääristymistä, täytyy kameran pikselikoon täyttää Nyquistin kriteeri, jonka mukaan pienimmän erotettavan rakenteen tulee peittyä vähintään kahdella pikselillä. Jos pikselit ovat liian suuria suhteessa optiseen resoluutioon, hienot yksityiskohdat jäävät tallentumatta tai vääristyvät, vaikka mikroskoopin optinen erotuskyky sinänsä olisi riittävä. Digitaalikameran todellinen kyky muodostaa tarkkoja mikroskooppikuvia määräytyy siten objektiivin NA:n, käytetyn aallonpituuden, valaistuksen ja kennon pikselikoon yhteisvaikutuksena, eikä megapikselimäärä yksin takaa parempaa kuvaa. Asiaan palataan esimerkkien kautta alempana.

Resoluutiosta puhuttaessa on mainittava myös suurennos, koska ne tarkoittavat eri asioita, mutta niiden merkitykset saatetaan sekoittaa toisiinsa. Suurennos tarkoittaa mikroskopiassa sitä, kuinka paljon näytteen kuva suurenee verrattuna sen todelliseen kokoon, eli kuinka suureksi rakenne esitetään havaitsijalle tai kameran kennolle. Suurennos syntyy objektiivin, mahdollisten välilinsien sekä okulaareiden tai kameraliitännän yhteisvaikutuksesta, ja se vaikuttaa kuvan mittakaavaan mutta ei yksin määritä kuvan yksityiskohtien määrää. Tästä syystä suurennosta voidaan kasvattaa myös tilanteissa, joissa resoluutio ei enää parane, jolloin syntyy niin sanottua tyhjää suurennosta: kuva näyttää suuremmalta, mutta ei sisällä uutta rakenteellista informaatiota.



Kuva 1. Yleiskuva yhdistelmämikroskoopista. Keskeisiä osia ovat okulaarit (ok), objektiivit (ob), revolveripää (re), näytepöytä (nä), kondensaattori ja himmennin (ko), valaistus (va) ja tarkennus (ta). Kameranovite on yleensä lähellä okulaareja.

Yhdistelmämikroskooppi

Yhdistelmämikroskoopissa (YMK, *compound microscope*) (tai valomikroskooppi, tutkimusmikroskooppi, preparaattimikroskooppi, Kuva 1) on kaksiportainen linssijärjestelmä, jossa objektiivi suurentaa näytteen ja okulaari suurentaa näin muodostuneen välikuvan katsojan silmän verkkokalvolle. Tämä rakenne mahdollistaa suurien kokonaissuurennoksia ($40\times$ – $1500\times$) ja näkemisen optisen erotuskyvyn rajoille, noin 0.2 mikrometriin saakka. YMK:lla tarkastellaan lähes poikkeuksetta lasille preparoituja näytteitä, joista valo pääsee läpi, mutta sitä voidaan periaatteessa käyttää myös stereomikroskoopin tavoin (esim. Buffington & Gates 2008). YMK:n keskeisiä osia ovat okulaarit eli katsojalinssit, joiden suurennos on tyypillisesti 10–15-kertainen. Okulaarien lähellä sijaitsee tavallisesti myös mahdollinen kameraportti, johon kameralinssin voi kiinnittää erillisen sovitteen avulla. Objektiiveja on useita, ja niiden suurennokset ovat useimmiten 4, 5, 10, 20, 40, 60 ja 100-kertaiset; hyönteistutkijalle käytännössä riittää maksimissaan 400-kertainen suurennos ($40\times$ ilmaobjektiivi), joten tätä suurempia objektiiveja ei ole välttämättä hankkia. On myös huomattava, että $100\times$ objektiivit vaativat väliaineen objektiivin linssin ja näytteen välille; se voi olla immersioöljyä, vettä tai glyserolia.

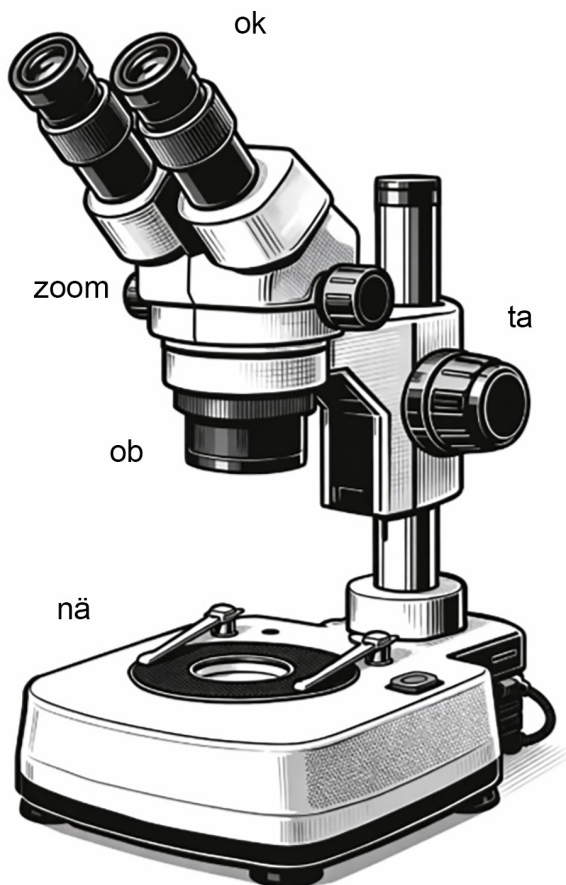
Objektiivit kiinnitetään revolveripäähän, jota pyörittämällä voi helposti vaihtaa suurennosta. Objektiivien alla on näytepöytä, johon preparaattilasi kiinnitetään ja jota voi liikuttaa pysty- ja vaakasuunnassa. Objektiivien korkeutta suhteessa näytteeseen säädetään pyöritettävän tarkennusnupin avulla, jossa on karkea- ja hienotarkennus. Esimerkiksi jo $20\times$ ja $40\times$ -kertaiset objektiivit ovat hyvin lähellä preparaattilasia, ja niiden tarkennuksessa on oltava tarkkana, jotta objektiivi ei riko peitinlasiä. Näytepöydän alla on kondensaattori ja himmennin, jonka avulla voi säätää näytteeseen tulevan valon määrää ja laatua. Kondensaattorin etäisyys suhteessa objektiiveihin on tärkeä optimoida ns. Köhler-säädön mukaisesti; esimerkiksi Youtubesta löytyy aiheesta useita havainnollisia videoita. YMK:ssa valo tulee alhaalta, ja nykyisin mikroskooppien lamput ovat LED-valoja, joiden antama värilämpötila ja teho ovat erinomaiset.

Kuten todettua, YMK:n hyvän erotuskyvyn ansiosta tällä laitteella voi tarkastella erittäin pieniä yksityiskohtia, kuten esimerkiksi siipien yksittäisiä setoja ja mikrokarvoja (Kuva 14), siipisuonten tarkkaa sijaintia tai pieniä yksityiskohtia kotelo-nahkojen rakenteessa. YMK:iin voidaan liittää erityisiä kontrastimenetelmiä, kuten faasikontrasti (*Phase contrast*), differentaali interferenssikontrasti (DIC) tai pimeäkenttä (*Dark field*). Näiden menetelmien avulla voidaan paremmin erottaa hentoja tai heikkorakenteisia kohteita, joita ei välttämättä pysty tarkastelemaan tavallisessa kirkaskenttämikroskopiassa (*Bright field*). Lisäksi on mahdollista hankkia erilaisia suotimia, jotka poistavat valosta liiallista kirkkautta tai parantavat näkymää vähentämällä kromaattisia virheitä (tyypillisesti rakenteiden reunojen liiallinen keltainen tai violetti väri). Vaikka YMK:n resoluutio on hyvä, on sen syväterävyys erittäin pieni. Tällä on merkitystä käytännön kuvantamisen kanssa, josta lisää alempana.

YMK:n optisesti tärkein osa on objektiivi. Objektiiveja on erilaisten suurennosten lisäksi saatavilla erilaisilla ominaisuuksilla varustettuna. Hyönteismikroskopian puolella on hyvä tunnistaa ainakin mitä tarkoittaa akromaattinen, fluotar tai apokromaattinen (Taulukko 1). Väri- ja tasokorjausten lisäksi objektiivien keskeinen ja erittäin tärkeä ominaisuus on NA eli numeerinen apertuuri, josta kerrottiin edellä erotuskykyä käsiteltäessä. Pienen suurennoksen objektiiveilla ($4\text{--}10\times$) NA on tyypillisesti 0.1–0.25 ja $20\text{--}40\times$ objektiiveilla 0.4–0.65. Parhaat (ja usein kalleimmat, hinta tuhansia euroja) ilmaobjektiivit ovat väri- ja tasokorjattuja (plan apo) ja niiden NA voi olla suurempi kuin vastaavan suurennoksen akromaattisissa tai fluotar-objektiiveissa. Kuitenkin NA-arvoltaan 1 tai sitä suuremmat ovat aina immersio-objektiiveja. Numeerisen apertuurin, väri- ja tasokorjausten sekä suurennoksen lisäksi objektiivissa on muitakin merkintöjä. Useimmissa nykyisissä objektiiveissa on luku 0.17, mikä tarkoittaa, että objektiivi on optimoitu 0.17 mm paksuiseen peitinlasiin. Peitinlasilla on olennainen merkitys mikroskooppiobjektiivin optiselle toiminnalle, koska objektiivi on suunniteltu muodostamaan virheetön kuva

Taulukko 1. Yhdistelmämikroskoopin objektiivityypit tärkeimpien ominaisuuksien (väri- ja tasokorjaus) mukaan.

Objektiivityyppi	Värikorjaus	Tasokorjaus	Tyypilliset ominaisuudet ja käyttö
Akromaattinen (Achromat)	Korjattu kahdelle aallonpituudelle (punainen–sininen)	Ei tasokorjausta	Perusobjektiivi; edullinen, kohtalainen kontrasti ja resoluutio, reuna-alueilla usein epäterävyyttä ja värivirhettä
Plan-akromaatti (Plan Achromat)	Kuten akromaatti	Kyllä (tasainen kuva)	Yleisin yleiskäyttöinen objektiivi; tasainen kuva koko näkökentässä, sopii hyvin dokumentointiin
Fluoriitti / Fluotar (Fluorite, Fluotar)	Parempi kuin akromaatti, osittain apokromaattinen	Usein osittainen tai täydellinen	Hyvä kontrasti ja parempi värikorjaus; soveltuu hyvin biologisiin näytteisiin ja heikkoihin kontrasteihin
Plan-Fluoriitti (Plan Fluorite / Plan Fluotar)	Korkea värikorjaus	Kyllä	Yhdistää hyvän värikorjauksen ja tasaisen kuvan; erittäin yleinen tutkimus- ja kuvantamiskäytössä
Apokromaattinen (Apochromat)	Korjattu kolmelle aallonpituudelle	Ei aina tasokorjausta	Erittäin hyvä värintoisto ja korkea NA; paras erotuskyky, mutta kapea käyttöalue ilman plan-korjausta
Plan-apokromaatti (Plan Apochromat)	Erinomainen (3–4 aallonpituutta)	Kyllä	Korkeimman luokan objektiivi; paras värintoisto, tasaisuus ja resoluutio, erityisesti kuvantamiseen
Semi-apokromaatti / NeoFluar (valmistajakoht.)	Akromaattia parempi, apokromaattia heikompi	Usein kyllä	Välimuoto; hyvä kompromissi hinnan ja kuvanlaadun välillä

**Kuva 2.** Yleiskuva stereomikroskoopista. Keskeisiä osia ovat okulaarit (ok), objektiivi (ob), näytepöytä (nä), zoom (suurennoksen vaihto) ja tarkennus (ta).

vain tietyn paksuisen lasikerroksen läpi. Peitinlasi ei ole optisesti neutraali, vaan se kuuluu objektiivin laskettuun optiseen järjestelmään: sen paksuus ja taitekerroin vaikuttavat valonsäteiden kulkuun ennen kuin ne saapuvat objektiivin etulinssiin. Jos peitinlasi on merkittävästi tätä paksumpi tai ohuempi, syntyy erityisesti pallopoikkeamaa (*spherical aberration*), jolloin tarkennuspiste leviää, kontrasti heikkenee ja korkean numeerisen apertuurin objektiiveilla erotuskyky voi selvästi alentua. Vaikutus korostuu suurilla suurennoksilla ja korkeilla NA-arvoilla, joissa valonsäteet saapuvat objektiiviin jyrkissä kulmissa. Siksi merkintä 0.17 ei ole pelkkä suositus vaan osa objektiivin optista suunnittelua: optimaalisen kuvanlaadun saavuttamiseksi näyte tulisi kuvata standardipaksuisen peitinlasiin läpi tai käyttää korjausrankaalla (*correction collar*) varustettua objektiivia, jolla peitinlasiin paksuuseroja voidaan kompensoida. Infinity-merkintä (∞) objektiivin kyljessä tarkoittaa, että kyseessä on niin sanottu äärettömyyskorjattu objektiivi (*infinity-corrected objective*), jossa objektiivi ei muodosta lopullista kuvaa suoraan mikroskoopin putkeen, vaan tuottaa objektiivin jälkeen rinnakkaisen eli käytännössä äärettömään tarkentuneen valokimpun. Varsinainen välikuva syntyy vasta mikroskoopin rungossa olevan putkilinssin (*tube lens*) avulla. Tämä poikkeaa vanhemmista äärellisen putkipituuden (esim. 160 mm) objektiiveista, joissa kuva muodostui suoraan objektiivin avulla tietyllä mekaanisella etäisyydellä. Infinity-rakenteen etuna on optinen muunneltavuus: objektiivin ja putkilinssin väliin voidaan sijoittaa lisäkomponentteja, kuten fluoresenssisuotimia, DIC-prismoja, polarisaatioelementtejä tai säteenjakajia, ilman että tarkennus tai suurennos muuttuu merkittävästi. Samalla järjestelmä mahdollistaa paremman aberratiokorjauksen ja modulaarisen mikroskooppirakenteen. Käytännössä ∞ -merkinä kertoo, että objektiivi toimii oikein vain sellaisessa mikros-

koopissa, jossa on sille suunniteltu putkilinssi, ja että objektiivi on osa kahdesta optisesta pääelementistä muodostuvaa kokonaisjärjestelmää, ei yksinään täydellinen kuvantava linssi.

Stereomikroskooppi

Stereomikroskooppi (SMK, *stereo microscope*, preparointimikroskooppi) on tavallisesti matalan suurennoksen kolmiulotteinen mikroskooppi (Kuva 2). SMK:ssa on kaksi optista kanavaa, eli kumpikin okulaari tuottaa tarkasteltavasta kohteesta hieman erilaisen kuvan. Tästä syystä näkymä on aidosti kolmiulotteinen ja melko syväterävä, toisin kuin YMK:ssa. SMK:ia käytetään tavallisesti preparointiin ja isompien kohteiden tutkimiseen. Valaistukseen on useita erilaisia vaihtoehtoja (ks. alempana), mutta tavallisesti valo tulee kohteen päältä tai viistosti sivuilta.

SMK:n suurennustoiminto perustuu mikroskoopin rungon sisälle rakennettuun optiseen zoom-järjestelmään, jossa useat linssiryhmät liikkuvat toisiinsa nähden. Zoomia säädettäessä linssien välinen etäisyys muuttuu hallitusti, jolloin kokonaissuurennos kasvaa tai pienenee ilman, että näytteen tai objektiivin korkeutta tarvitsee muuttaa. Hyvin suunnitellussa zoom-järjestelmässä kuva pysyy likimain tarkennettuna koko zoom-alueen läpi (parfokaalisuus), mikä tekee käytöstä sujuvaa. SMK:ssa on kaksi toisistaan erillistä mutta synkronoitua zoom-optiikkaketjua, yksi kummallekin silmälle, mikä mahdollistaa kolmiulotteisen vaikutelman säilymisen kaikilla suurennoksilla.

SMK:n zoom-rakenne voi perustua joko *Greenough*- tai *Common Main Objective* (CMO) -rakenteeseen. Greenough-skkoopissa kummallakin silmällä on oma, hieman eri kulmassa oleva objektiivinsa ja oma zoom-optiikkaketjunsä, mikä tuottaa luonnollisen stereovaikutelman yksinkertaisella ja valotehokkaalla rakenteella, mutta aiheuttaa lievää geometriaeroa kuvien välillä. CMO-rakenteessa molemmat kuvakanavat jakavat yhteisen pääobjektiivin, jonka jälkeen valo jaetaan kahteen symmetriseen zoom- ja kuvausketjuun; tämä mahdollistaa paremman geometrisen tarkkuuden, tasaisemman kuvakentän sekä lisäoptisten moduulien (kuten kamerat, suotimet ja mittausoptiikan) käytön.

Tavanomaiset SMK:t toimivat alhaisilla, alle 100× suurennoksilla. Kuitenkin parhaimpien mallien yhteyteen on mahdollista hankkia 1.6 tai 2.0 –kertaisia objektiiveja ja saavuttaa jopa 250× suurennoksia. SMK:n yleisen rakenteen takia objektiivien NA on suhteellisen matala, maksimissaan n. 0.3. Stereomikroskoopissa objektiivin NA ei kuitenkaan ole vakio, vaan kasvaa zoom-suurennoksen mukana. Toisin kuin yhdistelmä-mikroskoopissa, jossa NA on objektiivin pysyvä ominaisuus, zoom-stereomikroskoopin optiikka muuttaa sitä, kuinka suuri osa objektiivin aukosta osallistuu kuvamuodostukseen. Pienillä zoom-arvoilla hyväksytään pääasiassa loivakulmaisia, objek-

tiivin keskiosan kautta kulkevia säteitä → efektiivinen NA on pieni. Zoomia kasvatettaessa mukaan pääsevät myös vinomat säteet → valokartio avartuu ja efektiivinen NA suurenee, mikä parantaa erotuskykyä. Tämän vuoksi stereomikroskoopissa suurennus ei ainoastaan suurene visuaalisesti, vaan samalla optinen resoluutio paranee. NA:n vaihtelu ja sen kasvu riippuvat mikroskoopin optisesta rakenteesta, mutta ilmiö on yleinen kaikille zoom-stereomikroskoopeille. Käytännössä myös järjestelmän resoluutio ja optimaalinen näytteistys muuttuvat jatkuvasti zoom-arvon mukana. CMO-malleissa objektiivit voivat suurennoksen ohella vaihdella myös värikorjauksen perusteella (plan vs. plan apo). Mikäli kuvaa nestenäytteitä (etanoli, glyseroli), suosittelen käyttämään plan apo-malleja.

Ikään kuin erityisinä SMK:n variaatioina mainitaan tässä yhteydessä makromikroskooppi ja digitaalinen mikroskooppi. Makromikroskooppi on optinen mikroskooppityyppi, joka sijoittuu toiminnallisesti stereomikroskoopin ja yhdistelmä-mikroskoopin väliin. Toisin kuin perinteinen stereomikroskooppi, makromikroskooppi perustuu yleensä yhteiseen pääobjektiivin (CMO-rakenne) ja tuottaa yhden, geometrisesti tarkan kuvan ilman varsinaista stereonäköä. Tämä mahdollistaa korkeamman numeerisen apertuurin, paremman resoluution ja tasaisemman kuvakentän erityisesti kuvantamisessa, mutta kolmiulotteinen vaikutelma on vähäisempi tai puuttuu kokonaan. Makromikroskoopeja ovat esimerkiksi Leica Z 15 apo, Nikon AZ 100, Zeiss Axio Zoom. Digitaaliset mikroskoopit eroavat molemmista siinä, että kuva muodostetaan näytölle suoraan kameran ja ohjelmiston avulla ilman okulaareja; ne ovat usein helppokäyttöisiä ja visuaalisesti näyttäviä, mutta optinen rakenne ja erotuskyky voivat olla vähemmän läpinäkyviä ja hallittavia kuin perinteisissä optisissa makro- ja stereomikroskoopeissa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että digitaalisissa mikroskoopeissa käyttäjän on usein vaikea hahmottaa, miten kuva todellisuudessa muodostuu. Valmistaja ei välttämättä ilmoita selkeästi optiikan perusparametreja, kuten objektiivin numeerista apertuuria (NA), todellista suurennosta näytteessä, optista erotuskykyä tai sitä, mikä osa kuvanlaadusta syntyy optiikasta ja mikä ohjelmistopohjaisesta jälkikäsittelystä (esim. terävöitys, kohinanvaimennus, HDR [hyvin tummien ja hyvin vaaleiden kohtien toisto samassa kuvassa]). Lisäksi digitaalisissa mikroskoopeissa käyttäjä ei yleensä voi vapaasti vaihtaa tai muokata optisia komponentteja. Objektiiveja, valaistusta, suotimia tai kuvantamismenetelmiä (esim. faasikontrasti, DIC, polarisaatio) ei voi lisätä tai vaihtaa samalla tavalla kuin perinteisissä makro- ja stereomikroskoopeissa.

Makromikroskooppi soveltuu parhaiten tilanteisiin, joissa vaaditaan hyvää resoluutiota, mittatarkkuutta ja korkealaatuista kuvantamista, kun taas stereomikroskooppi on ylivoimainen näytteiden käsittelyssä. Digitaaliset mikroskoopit soveltuvat parhaiten nopeaan dokumentaatioon ja opetuskäyttöön. Lisäksi on huomautettava, että ainakin osaan stereomikroskoopeja pystyy erikseen hankkimaan AX-pidikkeen (*AX carrier*), joka mahdollistaa kameran sijoittamisen suoraan optiselle akselille

ja täten tekee siitä makromikroskoopin. Pidikkeen ansiosta kuvaus on geometrisesti tarkkaa ja optisesti symmetristä, koska se vähentää optisia vääristymiä. Käytännössä AX-pidike tuo erityistä hyötyä silloin, kun mikroskooppia käytetään säännöllisesti dokumentointiin, mittauksiin tai kerroskuvaukseen.

Kameran ominaisuudet

Digitaalikamera muodostaa kuvan muuntamalla näytteestä tulevan valon sähköiseksi signaaliksi kennon avulla. Kennon pinta koostuu miljoonista pikseleistä, joista kukin toimii pienenä valonilmaisimena ja mittaa siihen osuvan valon määrän; pikselikoko vaikuttaa siihen, kuinka hienoa yksityiskohtaa kuva voi tallentaa suhteessa optiseen resoluutioon. Uusimmissa kameroissa käytetään CMOS-kennoa (*Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*), jossa jokaisella pikselillä on oma vahvistin ja lukupiiri, mikä mahdollistaa nopean lukunopeuden ja alhaisen virrankulutuksen. Väritieto tallennetaan tyypillisesti RGB-värialueessa, jossa punaisen, vihreän ja sinisen suotimien kautta mitatut signaalit yhdistetään värikuvaksi.

Kennon dynamiikka kuvaa kameran kykyä tallentaa samanaikaisesti sekä hyvin tummia että hyvin kirkkaita yksityiskohtia ilman, että informaatiota menetetään varjoihin tai huippukohtiin (*highlight*; kuvan kirkkaimmat alueet). Kohinataso puolestaan kuvaa signaalissa esiintyvän satunnaisen sähköisen vaihtelun määrää, joka rajoittaa erityisesti heikkojen kirkkaus- ja kontrastierojen havaittavuutta silloin, kun signaali on heikko tai kuvasignaalia joudutaan vahvistamaan nostamalla ISO-arvoa tai gain-säätöä. Bittisyvyys kertoo, kuinka monella sävyarvolla yksittäisen pikselin kirkkaus voidaan esittää, ja suurempi bittisyvyys mahdollistaa hienovaraisempien sävy- ja kontrastierojen tallentamisen.

Kameran teknisiä tietoja tarkasteltaessa mikroskooppikuvantajan kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti kennon kokoon ja pikselikokoon, ilmoitettuun dynamiikka-alueeseen (*dynamic range*), lukukohinaan (*read noise*) sekä kennon kvanttihyötysuhteeseen (*quantum efficiency*, QE). Suurempi pikselikoko mahdollistaa yleensä paremman signaali–kohinasuhteen, koska yksittäinen pikseli kerää enemmän fotoneita ennen kyllästymistään. Mikroskooppikameroissa tyypillinen pikselikoko on noin 2.0–4.5 μm ; noin 2–3 μm pikselit ovat yleisiä korkean resoluution dokumentointikameroissa, kun taas 4–6 μm pikselit ovat tavallisia herkkyyttä painottavissa tutkimuskameroissa. Dynamiikka ilmoitetaan usein desibeleinä, mutta käytännössä sitä voidaan hahmottaa myös valotusaskelina (*stops*), joissa yksi askel vastaa kirkkauden kaksinkertaistumista. Esimerkiksi noin 70 dB dynamiikka vastaa suunnilleen 11–12 valotusaskelta, mikä tarkoittaa, että kamera pystyy tallentamaan samassa kuvassa useita kirkkaustasoja hyvin tummista rakenteista lähes ylipalamispisteeseen asti. Käytännössä suurempi dynamiikka mahdollistaa sekä heikkokontrastisten että hyvin kirkkaiden rakenteiden samanaikaisen toistumisen ilman yksityiskohtien

katoamista. Noin 60–65 dB dynamiikka edustaa perustasoa, 70–75 dB hyvää tutkimustasoa ja yli 80 dB erittäin korkeaa suorituskkyä. Lukukohina puolestaan määrittää, kuinka hyvin heikot signaalit voidaan erottaa kohinasta, mikä on erityisen tärkeää heikkokontrastisten mikrorakenteiden kuvaamisessa. Tyypillisesti noin 5–8 elektronia (e^- RMS) vastaa keskitasoista kameraa, kun taas 1–3 e^- lukukohina on ominaista laadukkaille moderneille sCMOS-kameroille. Kvanttihyötysuhde kuvaa kennon kykyä muuntaa saapuvat fotonit sähköiseksi signaaliksi ja vaikuttaa suoraan kameran herkkyyteen erityisesti lyhyillä valotusajoilla ja pienillä suurennoksilla. Värikameroissa QE-maksimi on tyypillisesti noin 40–60 %, kun taas korkealaatuisissa monokromaattisissa tutkimuskennoissa se voi ylittää 80–90 %. Pelkkä bittisyvyys (esimerkiksi 12-, 14- tai 16-bit) ei kuitenkaan yksin määritä kuvan todellista sävytoistoa, sillä hyödynnettävissä oleva sävyinformaatio määräytyy viime kädessä kennon dynamiikan ja kohinatason perusteella. Jos kennon kohina on suuri tai dynamiikka rajallinen, suurempi bittisyvyys ei lisää todellista informaatiota, vaan ainoastaan jakaa saman kohinaisen signaalin useampaan numeeriseen sävyarvoon. Käytännössä vasta silloin, kun kennon dynamiikka ylittää noin 70 dB, voidaan 12-bit tai suurempi bittisyvyys hyödyntää tehokkaasti mikroskooppikuvantamisessa. Kameran todellinen suorituskky ei kuitenkaan selviä pelkästään bittisyvyydestä tai megapikselimäärästä, vaan dynamiikka ja kohinataso määräytyvät kennon rakenteen, pikselikoon, lukuelektroniikan ja signaalinkäsittelyn yhteisvaikutuksena. Siksi nykyaikaiset, suuremman dynamiikan ja matalamman kohinan CMOS-kennolla varustetut mikroskooppikamerat pystyvät tallentamaan hienorakenteita luotettavammin kuin vanhemmat tai perustason kamerat (esim. vanhemmat CCD-kamerat), erityisesti tilanteissa, joissa kuvassa esiintyy samanaikaisesti vaaleita ja heikkokontrastisia yksityiskohtia.

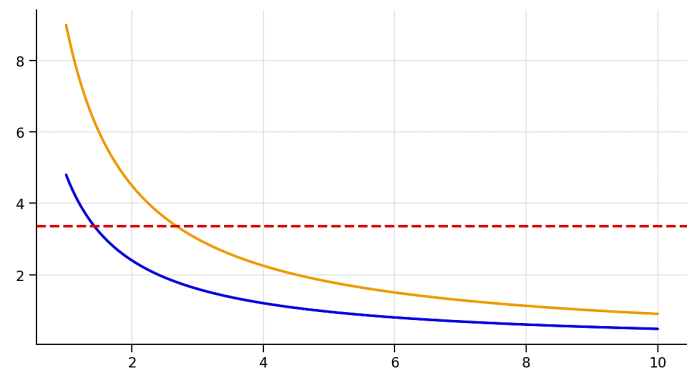
CMOS-mikroskooppikamerat ja DSLR (*Digital Single-Lens Reflex*)-kamerat (digitaalinen peilikamera, ”digijärkkäri”) perustuvat molemmat CMOS-kennoteknologiaan, mutta ne on suunniteltu eri käyttötarkoituksiin. Mikroskooppikamera on optimoitu suoraan mikroskoopin kuvaustasolle: se liitetään C-mount-liitännällä suoraan kameraporttiin, ja sen pikselikoko, kennon koko ja lukunopeus on sovitettu jatkuvaan live-kuvantamiseen, mittaamiseen ja kerroskuvaamiseen. DSLR on puolestaan yleiskamera, jossa on suuri kenno ja vaihdettavat objektiivit; mikroskoopissa sitä käytetään projektio-optiikan kautta, niin kuin usein myös varsinaisia mikroskooppikameroita. Käytännön valintasuosituksena mikroskooppikamera on paras vaihtoehto rutiininomaiseen tieteelliseen kuvantamiseen, mittauksiin ja toistettavaan dokumentointiin, kun taas DSLR-kamera soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa halutaan suuri kuvakenttä ja korkea kuvanlaatu yksittäisten, huolellisesti tuotettujen kuvien ottamiseen. Molemmissa tapauksissa lopullinen kuvanlaatu määräytyy optiikan, näytteistyksen ja kuvausasetusten yhteisvaikutuksesta, ei pelkästään kameratyyppin perusteella.

DSLR-kamera voidaan liittää mikroskooppiin useilla eri tavoilla, joista suositeltavin on kameran kytkeminen mikroskoopin trinokulaariputken päähän (kameraportti) projektiolinssin avulla. Tällöin mikroskoopin optiikka muodostaa kuvan suoraan kameran kennolle, ja järjestelmä säilyy geometrisesti hallittuna ja mittauskelpoisena. Vaihtoehtoisesti kamera voidaan liittää okulaarin kautta afokaalisesti (ilman projektiolinssiä) tai projektiomenetelmällä, mutta nämä ratkaisut ovat herkempiä vinjetoinnille (reuna-alueiden tummuminen tai rajautuminen) ja optisille vääristymille, ja soveltuvat paremmin dokumentointiin kuin täsmälliseen tieteelliseen kuvantamiseen. Koska minulla on enemmän kokemusta varsinaisten mikroskooppikameroiden käyttämisestä, ei DSLR-kameroita ja niillä kuvantamista mikroskoopin avulla käsitellä tässä yhteydessä enempää.

Kennon koko, projektiolinssi, kuvakenttä ja resoluutio

CMOS-mikroskooppikameroiden kennot vaihtelevat kooltaan merkittävästi, tyypillisesti pienistä 1/3"–1/2.8" kennoista (diagonaali 6-6.5 mm) aina 1" (diagonaali 16 mm) ja sitä suurempiin kennoihin, ja kennon koko vaikuttaa suoraan kuvattavan näkökentän laajuuteen (FOV, *field of view*). Mitä suurempi kenno, sitä laajempi osa mikroskoopin kuvakentästä voidaan tallentaa samalla suurennoksella, edellyttäen että mikroskoopin optiikka ja kamerakanava pystyvät valaisemaan kennon reuna-alueet ilman vinjetointia. Resoluutio puolestaan määräytyy objektiivin optisen erotuskyvyn ja kennon pikselikoon yhteensopivuudesta: pienempi pikselikoko mahdollistaa hienomman näytteistys, mutta vain siihen raja-asti, jonka objektiivin NA ja käytetty aallonpituus sallivat. Projektiolinssi (esim. 0.5×, 0.7× tai 1.0×) toimii optisena sovittimena mikroskoopin ja kennon välillä, ja sen suurennos vaikuttaa samanaikaisesti sekä näkökentän kokoon että näytteessä saavutettavaan pikselikokoon; pienempi projektiokerroin kasvattaa näkökenttää mutta heikentää näytteistystiheyttä, suurempi kerroin puolestaan parantaa resoluution hyödyntämistä pienemmällä näkökentällä. Ruutunopeus eli kuvataajuus ilmaisee, kuinka monta kuvaa kamera pystyy tuottamaan sekunnissa (FPS, *frames per second*), ja siihen vaikuttavat kennon lukunopeus, resoluutio, bittisyvyys, käytetty raja-ROI (*region of interest*) sekä tiedonsiirron kapasiteetti; käytännössä korkea ruutunopeus on tärkeä kuvattaessa liikkuvia kohteita, ja se voi vaikuttaa myös kuvan kirkkauteen ja kohinaan (ei-toivottu, satunnainen vaihtelu kuvapikseleissä) määrään. Oman kokemuksen perusteella hyvin alhaisellakin ruutunopeudella (2–3 FPS) voi saada onnistuneita kerroksuvia.

Megapikselimäärä kertoo, kuinka monta pikseliä kameran kennolla on, mutta mikroskopiassa se ei yksin määritä kuvan todellista informaationsisältöä. Esimerkiksi sienissäsksen siiven mikrokartoitus tai koiraan hypopygiumin pienet rakenteet erottuvat vain niin tarkasti kuin objektiivin optinen resoluutio ja näytteistys tiheys sen sallivat. Nyquistin kriteeri asettaa tälle ylärajan, eikä tätä rajaa ylittävä pikselimäärä tuo kuvaan uusia rakenteellisia yksityiskohtia. Suuremmasta megapikse-



Kuva 3. Näytekohtainen pikselikoko stereomikroskoopissa zoom-tekijän funktiona kahdella kameran pikselikoolla (sininen: 2.4 µm, oranssi: 4.5 µm). Projektiolinssin suurennokseksi oletetaan 0.5×. Punainen katkoviiva osoittaa Nyquistin minimivaatimuksen $d/2 \approx 3.35 \mu\text{m}$, joka perustuu Rayleighin erotuskykyyn ($d \approx 6.7 \mu\text{m}$) numeeriselle apertuurille $NA = 0.05$ ja aallonpituudelle $\lambda = 550 \text{ nm}$. Katkoviivan alapuolella näytteistys täyttää Nyquistin ehdon, jolloin optiikan välittämä pienin yksityiskohta voidaan tallentaa digitaalisesti. Suuremmilla zoom-arvoilla näytekohtainen pikselikoko pienenee, ja näytteistys muuttuu riittäväksi ensin pienempiä pikseleitä käyttävällä kameralla ja myöhemmin suurempipikselisellä kameralla. Huom. Tämä on pedagoginen yksinkertaistus: kuvassa oletetaan NA vakiona, vaikka stereomikroskoopissa NA yleensä kasvaa zoomin myötä, jolloin myös Nyquist-raja pienenee zoomin kasvaessa.

limäärästä on kuitenkin selkeää käytännön hyötyä. Jos sama näyte kuvataan samalla objektiivilla joko 2 tai 20 MP:n kameralla, optinen erotuskyky on periaatteessa sama, mutta 20 MP:n kameralla näkökenttään mahtuu huomattavasti suurempi osa näytteestä. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi kokonainen siipi tai hypopygium voidaan dokumentoida yhdellä otoksella siten, että yksityiskohtia voidaan myöhemmin tarkastella rajauksilla ilman, että kuvan terävyys heikkenee. Kahden megapikselin kamera voi riittää tilanteissa, joissa kiinnostuksen kohteena on yksittäinen pieni rakenne ja näkökenttä voidaan rajata kapeaksi. Tällöin kuitenkin joudutaan usein valitsemaan yksityiskohdan tarkkuuden ja kuvattavan kokonaisuuden laajuuden välillä: riittävän erotuskyvyn saavuttaminen edellyttää suurempaa optista suurennosta, mikä pienentää näkökenttää ja voi pakottaa ottamaan useita osakuvia tai vaikeuttaa rakenteiden keskinäisten mittasuhteiden hahmottamista yhdessä kuvassa. Suurempi megapikselimäärä parantaa mikroskopiassa ennen kaikkea dokumentaation kattavuutta, mittausten luotettavuutta ja kuvien jatkokäytettävyyttä, kun taas varsinaisen resoluutio määräytyy edelleen optiikan ja näytteistysyhteensopivuudesta.

Jos 40× objektiivin erotuskyky on esimerkiksi 0.52 µm, tämä tarkoittaa, että kahta rakennetta ei voida optisesti erottaa toisistaan, ellei niiden välinen etäisyys ole vähintään tämän suuruinen. Nyquistin kriteerin mukaan tällaisen yksityiskohdan luotettava digitaalinen tallentaminen edellyttää, että erotuskyvyn raja peittyy vähintään kahdella pikselillä, jolloin näytteessä vaadittu minimipikselikoko on noin 0.26 µm/pikseli. Kuvantamisessa tämä asettaa vaatimuksen kameran kennon pikselikoon ja kokonaissuurennoksen yhdistelmälle: niiden on tuotettava näytteessä pikselikoko, joka on tätä arvoa pienem-

pi tai sitä vastaava. Näytepikselikoko = pikselikoko kennolla / kokonaissuurennos. Esimerkiksi $2.4\ \mu\text{m}$ pikselikoolla varustettu nykyaikainen CMOS-kamera tuottaa $40\times$ objektiivilla näytteeseen pikselikoon noin $0.06\ \mu\text{m}/\text{pikseli}$ ilman erillistä projektiolinssiä. Tämä on selvästi Nyquistin ehdon alapuolella, eli näytteistys on tässä suurennoksessa enemmän kuin riittävä. Tästä seuraa, että modernit CMOS-mikroskooppikamerat pysyvät useimmissa tapauksissa hyödyntämään täysimääräisesti $40\times$ objektiivin optisen resoluution. Käytännön kuvanlaadun rajoitteet liittyvätkin tavallisesti pikemmin valaistukseen, kontrastiin, näytteen laatuun ja optiikan suorituskykyyn kuin kennon näytteistystiheyteen.

Jos siirrytään alhaisen suurennoksen stereomikroskopiaan ja oletetaan $1.0\times$ objektiivin numeeriseksi apertuuriksi noin 0.05, optiikan teoreettinen erotuskyky näkyvällä valolla ($\lambda = 550\ \text{nm}$) on Rayleighin kaavan mukaan noin $6.7\ \mu\text{m}$. Nyquistin mukaan tämän hyödyntäminen edellyttää, että näytekohtainen pikselikoko on korkeintaan noin $d/2 \approx 3.4\ \mu\text{m}/\text{pikseli}$ (Kuva 3). Stereomikroskopiassa haaste syntyy siitä, että kokonaissuurennos kennolle muuttuu zoomin mukana: alhaisilla zoom-asetuksilla kuva näytteestä projisoituu kennolle pienellä suurennoksella, jolloin tyypillisen CMOS-kameran (noin $2.4\text{--}4.5\ \mu\text{m}$ pikselikoko) näytekohtainen pikselikoko voi jäädä luokkaan $\sim 3\text{--}7\ \mu\text{m}/\text{pikseli}$, jolloin Nyquistin miniminäytteistys ei aina täyty ja hienoin informaatio voi alinäytteistyä. Kun zoomia kasvatetaan niin, että kokonaissuurennos kennolle kasvaa riittävästi (riippuen pikselikoosta ja käytetystä kamera-adapterista), päästään tasolle, jolloin Nyquistin ehto alkaa täyttyä ja optiikan välittämä yksityiskohta tallentuu luotettavammin (Kuva 3). Käytännössä tämä tarkoittaa, että suurilla suurennoksilla stereomikroskooppi ja CMOS-kamera täyttävät Nyquistin ehdon yleensä helposti ja voivat ylittää sen (*oversampling*), kun taas kaikkein alhaisimmilla zoom-asetuksilla ehto ei aina täyty, ellei käytetä suurempaa projektiokerrointa tai hyvin pientä

pikselikokoa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö stereomikroskooppilla saisi hyviä, julkaisukelpoisia kuvia pienilläkin suurennoksilla; kyse on siitä, että kaikkea optiikan välittämää informaatiota ei välttämättä saada tallennettua digitaalisesti.

Kun tarkastellaan puhtaasti kuvan laatua ja kennolle tallentuvia yksityiskohtia, DSLR-kamera makro-objektiivilla voi olla parempi ratkaisu kuin SMK ja CMOS-mikroskooppikamera silloin, kun kuvattavan kohteen koko on muutamia millimetrejä tai sitä suurempi ja tarvitaan laajaa näkökenttää yhdistettynä hyvään erotuskykyyn. Makro-objektiivit on suunniteltu toimimaan lähellä 1:1-suurennosta tai sen alapuolella, jolloin ne tarjoavat korkean kuvanlaadun koko kuvakentässä, suuren kennon edut (alhainen kohina, korkea dynamiikka) sekä erittäin tiheän näytteistys suhteessa optiseen resoluutioon. Tällaisessa mittakaavassa stereomikroskoopin alhainen numeerinen apertuuri ja kameras rajallinen näkökenttä alkavat muodostua rajoittaviksi tekijöiksi, eikä sen optinen etu enää realisoidu kennolle. Sen sijaan alle millimetrin kokoisissa kohteissa, joissa vaaditaan suurempaa NA:ta ja korkeampaa todellista resoluutiota, stereomikroskooppi tai makromikroskooppi CMOS-kameralla tarjoaa selvästi paremman kyvyn erottaa hienoja rakenteita, vaikka yksittäinen kuva-ala olisi pienempi. Valinta näiden järjestelmien välillä on siten ensisijaisesti mitataavakysymys: DSLR + makro-objektiivi on parhaimmillaan suurikokoisten, mutta yksityiskohtaisia rakenteita sisältävien kohteiden kuvantamisessa, kun taas mikroskooppipohjaiset järjestelmät voittavat pienten kohteiden todellisessa resoluutiossa. Äärimmäinen muoto DSLR-makrokuvaamisesta on YMK:n objektiivin kiinnittäminen kameraan, jonka avulla voidaan potentiaalisesti saada erittäin korkealaatuisia kuvia (suuri resoluutio ja tiedostokoko). Toisin kuin SMK:ia, tätä yhdistelmää voidaan käyttää vain kuvaamiseen, ei muuhun työskentelyyn.

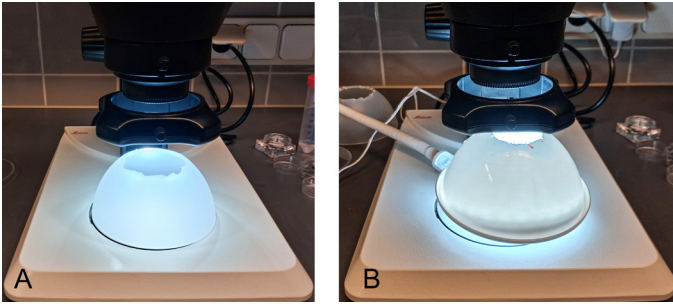
Kuvantamisen kannalta resoluution merkitys tulee ilmi Kuvasta 4, jossa sama rakenne on kuvattu stereomikroskooppilla kahdella eri objektiivilla. Kuvaparin ylempi versio on kuvattu $0.63\times$ plan apo -objektiivilla, jonka NA on n. 0.15. Kuva on otettu 100-kertaisella suurennoksella, eli mikroskoopin 16-kertaisella zoomilla. Kuva on sinänsä melko hyvä, mutta se häviää 1.6 kertaiselle objektiiville, jonka NA käytetyllä zoomilla (96-kertainen suurennos, zoom $6\times$) on n. 0.22. Kuvaparin alempi versio on huomattavasti tarkempi, vaikka siinä ei ole lähellekään otettu irti kaikkea objektiivin potentiaalia. Erot resoluutiossa johtuvat ensisijaisesti objektiivien erilaisista numeerisista apertuureista.

Mikroskoopin valaistus

YMK:n valaistus tulee näytepöydän alta kondensorin kärkilinsin kautta, ja sen voimakkuuteen ja laatuun voidaan vaikuttaa himmentimien (*diaphragm*, valon kulkua rajoittava aukko) ja suotimien avulla. Yleisin on kondensorin apertuurihimmennin (*condenser aperture diaphragm*), joka säätelee näytteeseen koh-



Kuva 4. *Eukiefferiella*-lajin (Chironomidae) kotelonahka (exuvia), kuvattu selän puolelta kahdella eri objektiivilla Leica M205 C stereomikroskooppilla. A) $0.63\times$ plan apo -objektiivi (NA n. 0.15), 16-kertainen zoom, eli suurin mahdollinen suurennos ($100\times$). B) $1.6\times$ -kertainen plan apo -objektiivi (NA n. 0.22), 6-kertainen zoom ($96\times$), reilusti alle maksimisuurennoksen ($256\times$).



Kuva 5. DIY eli tee-se-itse A) himmennin (diffusori) ja B) kupuvalo. Molemmissa tapauksissa valonlähteenä voi käyttää Airam Loop Clip – rengasvaloa, josta on otettu suurennuslasi pois.

distuvan valon avautumiskulmaa ja siten efektiivistä numeerista apertuuria, vaikuttaen kuvan kontrastiin, resoluutioon ja syväterävytyteen; tämä himmennin on rakenteeltaan usein iiriskalvo (*iris diaphragm*), jossa aukko muodostuu limittäin liikkuvista metallilamelleista. Kenttähimmennin (*field diaphragm*) puolestaan sijaitsee valaistusjärjestelmässä ennen kondensoria ja sen tärkein tehtävä on Köhler-valaistuksen (*Köhler illumination*) säätö: se suljetaan ensin lähes kiinni, tarkennetaan näytetasoon kondensorin korkeussäädöllä ja avataan lopuksi juuri näkökentän reunojen tasalle, millä parannetaan valaistuksen tasaisuutta ja vähennetään hajavaloa vaikuttamatta kontrastiin tai erotuskykyyn. Kondensorin apertuurihimmennin säädetään tavallisesti noin 60–80 % objektiivin numeerisesta apertuurista, jolloin saavutetaan tasapaino kontrastin ja resoluution välillä; liian suljettu asento lisää kontrastia mutta heikentää erotuskykyä ja tekee kuvasta helposti rakeisen, kun taas liian avoin asento tuottaa lattean ja vähäkontrastisen kuvan. Kondensorin yhteyteen tai valopolkuun asetettavat suotimet (*filters*) vaikuttavat ensisijaisesti valaistuksen laatuun, eivät mikroskoopin optiseen erotuskykyyn. Harmaasuodin (*neutral density filter*, *ND filter*) vaimentaa valon voimakkuutta tasaisesti kaikilla aallonpituuksilla ja sitä käytetään silloin, kun valoa on liikaa tai kun kamerakuvaus edellyttää pidempiä valotusaikoja ilman aukkojen sulkemista; ND-suodin on suositeltavampi keino valon vähentämiseen kuin apertuurihimmennin sulkeminen, koska se ei muuta valon avautumiskulmaa eikä numeerista apertuuria. Värisuotimia (*color filters*), kuten sinistä suodinta, käytetään valon spektrin muokkaamiseen esimerkiksi halogeenivalaisimissa värilämpötilan korjaamiseksi tai kontrastin hienovaraiseen parantamiseen.

Stereomikroskooppien valaistus perustuu tavallisesti ylä- ja sivuvaloon, ja eri valaisintyytit soveltuvat eri tavoin kohteen pintarakenteen, muodon ja heijastavuuden esiin tuomiseen. Rengasvalo (*ring light*) on objektiivin ympärille sijoitettu tasainen valonlähde, joka valaisee kohteen symmetrisesti ja varjotomasti; se soveltuu hyvin yleiskuvaamiseen, dokumentointiin ja tilanteisiin, joissa halutaan tasainen valaistus ilman voimakkaita varjoja, mutta se korostaa heikosti pintamuotoja. Kohdevalo eli joustavilla varsilla toteutettu sivuvalo (*goose neck*) mahdollistaa valon suunnan vapaan säätämisen, minkä ansiosta pintarakenteet, karvat ja reliefi korostuvat varjojen avulla. Kupuvalo (*dome light*) koostuu puolipallon tai kartion muo-

toisesta, sisältä hajavalaisusta rakenteesta, joka tuottaa erittäin pehmeän ja monisuuntaisen valon; se soveltuu erityisesti kiiltäville, tummille tai voimakkaasti heijastaville kohteille, kuten kovakuoriaisten peitinsiiville, vähentäen häiritseviä heijastuksia. Koaksiaalinen valo (*coaxial illumination*) johdetaan optisen akselin suuntaisesti puoliläpäisevän peilin kautta, jolloin valo osuu kohteeseen lähes kohtisuoraan; tämä valaistus toimii parhaiten tasaisilla, heijastavilla pinnoilla ja tuo esiin hienovaraisia väri- ja sävyeroja ilman varjoja.

Omasta mielestäni rengasvalo on ns. pakollinen yleisvalo, joka on hyvä olla, otti SMK:lla kuvia tai ei. Se sopii myös useissa tapauksissa kuvantamiseen, mutta heijastavilla pinnoilla kuvattavan kohteen ja rengasvalon väliin on järkevää asettaa himmennin (diffusori). Esimerkiksi Orthexin vaalean harmaa, valoa läpäisevä kulho (tilavuus 3.5 dl, halkaisija 12 cm) toimii hyvänä diffusorina, kun tasaisen pohjaosan leikkaa pois (Kuva 5a). Kohdevalot voivat toimia hyvin ainakin hämähäkkien leukaraajojen kuvaamisessa, varsinkin suurempia objektiiveja käytettäessä; ilman niitä kohdetta on vaikea valaista, koska työskentelyetäisyys voi olla vain pari-kolme senttiä. Kupuvalo on erinomainen ratkaisu useissa tilanteissa, koska se tuottaa valoa niin tasaisesti (Kuva 5b). Mikroskooppivalmistajien omat kupuvalot voivat olla hyvin kalliita, yli 2000 EUR arvoisia. Tehokkaita ja edullisia kupuvaloja voi rakentaa itsekin (ks. esim Silva-Ferreira ym. 2021). Oma ratkaisuni kupuvaloksi on Airam Loop Clip suurennoslasivalo, josta olen ottanut suurennoslasin pois. Kupuna olen käyttänyt Gastromaxin valkoista suppiloa, josta olen jättänyt jäljelle vain ”kuvun”. Valon sijottan kuvun sisään, normaaliasentoon nähden ylösalaisin (Kuva 5b). Koaksiaalista valaistusta käytetään hyönteistaksonomiassa melko harvoin, ja se on yleisempi erityisesti teollisessa kuvantamisessa ja pintojen tarkastuksessa, joissa halutaan korostaa tasaisia tai voimakkaasti heijastavia pintoja. Airam Loop Clip -valaisimen värilämpötila on 6500 K, mikä vastaa viileää, neutraalin valkoista valoa. Se soveltuu hyvin kuvantamiseen, sillä arvo on lähellä standardoitua päivänvaloa (D65, noin 6500 K), vaikka luonnollisen auringonvalon värilämpötila vaihtelee tyypillisesti noin 5000–6000 K valaistusolosuhteitten mukaan. Värilämpötilasta riippumatta kuvan värintoisto varmistetaan valkotasapainon (*white balance*) avulla, jolla kamera tai kuvankäsittelyohjelma säätää värikanavien keskinäiset suhteet siten, että neutraalit pinnat toistuvat kuvassa värittöminä. Mikroskooppikuvantamisessa valkotasapaino kannattaa asettaa manuaalisesti tai määrittää jälkikäteen neutraalin taustan perusteella, jotta kuvien värit pysyvät keskenään vertailukelpoisina.

Tarpeellisia ohjelmistoja ja tarvikkeita

Mikroskooppien ja digitaalisten kameroiden ohella erilaiset ohjelmistot ovat välttämättömiä. Erityisen tärkeässä roolissa ovat kerroskuvien pinoamisohjelmat, mittaaminen ja mittakaavajana sekä kuvien jälkikäsittelyyn soveltuvat ohjelmat.

Kerroskuvauksella (*Focus stacking*, *Z-stacking*, *Multi-focus imaging*) tarkoitetaan kuvaustekniikkaa, jossa samasta kohdesta otetaan useita kuvia eri tarkennustasoilta ja nämä kuvat yhdistetään jälkikäsitellyssä yhdeksi kuvaksi, jossa koko haluttu kohdealue on terävä. Menetelmää käytetään erityisesti ns. makrokuvaamisessa ja mikroskopiassa, joissa syväterävyys on luonnostaan hyvin pieni. Menetelmä mahdollistaa yksityiskoh- tien dokumentoinnin ilman optisen resoluution heikentämistä.

Kuvien pinoamiseen on saatavilla useita ohjelmistoja. Helicon Focus on yksi yleisimmistä ja tarjoaa useita pinoamisalgoritmeja sekä työkaluja artefaktien korjaamiseen, minkä ansiosta se soveltuu monenlaisille näytteille ja kuvausasetelmille. Zere- ne Stacker on toinen alan vakiintunut ohjelma, jota arvoste- taan erityisesti hyönteis- ja muun hienorakenteisen biologisen materiaalin käsittelyssä sekä monipuolisista käsin tehtävistä korjausmahdollisuuksista. ImageJ/Fiji edustaa avoimen lähde- koodin ratkaisua, johon on saatavilla pinoamiseen tarkoitettuja lisäosia. Adobe Photoshop ja Affinity Photo sisältävät molem- mat automaattisen pinoamistoiminnon, jotka soveltuvat lähinnä yksinkertaisiin tapauksiin, mutta eivät ole optimoitu vaativaan mikroskooppikuvantamiseen, kun taas CombineZP on ilmainen mutta vanhentunut vaihtoehto. Kameroiden tai mikroskoop- pien valmistaja voi tarjota myös omia ohjelmistoja kerrosku- vaamiseen. Itse käytän Leica LAS X -ohjelmiston kerrosku- vaustoimintoa, joka on erittäin hyvä. Siitä huolimatta käytän lähes kaikissa kuvissa myös Helicon Focus -ohjelmaa, koska ”kerroskuvien kerroskuva” on parempi vaihtoehto vaativassa kuvantamisessa kuin koko pinoamisalan yhdellä otolla kuvattu LAS X -kerroskuva.

Edellä mainituista itselläni on jatkuvassa ja rutiininomaises- sa käytössä vain Helicon Focus. Erityisen tykästynyt olen Retouching-toimintoon, jonka avulla voi paikallisesti korva- ta lopullisen pinotun kuvan alueita yksittäisistä lähdekuvis- ta. Esimerkiksi ”helposti” kuvattavissa habituskuvissa tähän on harvoin tarvetta, mutta hankalammissa, monimutkaisis- sa kuvissa, joissa on paljon päällekkäisiä rakenteita, tämä on usein tarpeen (Kuva 14). Sienisääskien tai muiden vastaavien hyönteisten ulkoisten genitaalien (hypopygium) osat, kuten gonostylit, voivat olla läpikuultavia, ja niissä on usein setoja molemmin puolin. Jos kuva on vaikka sisäpuolelta, on hyvä manuaalisesti korjata kuvaa niin, että ulomman puolen setat tai niiden tyvet eivät tule lainkaan näkyviin.

Kameroiden mukana tulevissa ohjelmissa on usein mukana eri- laisia mittaustyökaluja sekä mahdollisuus asettaa kuvaan mitta- kaavajana. Mikroskooppikuvissa mittakaavajana on luotettava vain silloin, kun se on kalibroitu käyttäen esimerkiksi objekti- lasille tehtyä mikrometrimittaa. Ohjeet kalibroimiseen tulevat, tai pitäisi tulla, kameran ohjelmiston mukana. Jos käytettävissä ei ole kamerakalibrointia, mittauksia voidaan tehdä myös oku- laarimikrometrin eli graticulen avulla. Graticule on okulaariin asetettava asteikkolevy, jossa näkyy viivasto tai jaotus, mutta sen asteikko ei vastaa suoraan mikrometrejä ennen kalibrointia.

Ensin on siis selvitettävä, kuinka pitkä yksi asteikkoyksikkö on kullakin objektiivilla. Kalibrointi tehdään vertaamalla graticu- len asteikkoa tunnettuun mittaan, tavallisesti objektilasin mi- krometriin (esim. 1 mm jaettuna 100 osaan = 10 µm per viiva). Mikrometri asetetaan mikroskooppiin ja tarkennetaan norma- listi. Tämän jälkeen lasketaan, kuinka monta graticulen asteik- koväliä vastaa tiettyä mikrometrin tunnettua pituutta. Jos esi- merkiksi 50 graticule-yksikköä vastaa 500 µm mikrometrillä, yksi graticule-yksikkö on 10 µm kyseisellä objektiivilla. Kalib- rointi on tehtävä erikseen jokaiselle objektiiville (ja stereomi- kroskoopilla myös jokaiselle zoom-asennolle), koska suuren- noksen muuttuessa myös asteikon todellinen pituus muuttuu. Kun kalibrointi on tehty, näytteiden rakenteita voidaan mitata suoraan laskemalla, kuinka monta graticule-yksikköä rakenne kattaa ja kertomalla tämä kalibrointikertoimella.

Onnistuneen kerroskuvaamisen jälkeen kuva on harvoin vielä valmis, vaan sitä pitää esimerkiksi rajata, kääntää, säätää kirk- kautta ja sävyjä, sekä poistaa pölyhiukkasia tai muita roskia. Adobe Photoshop on yleiskäyttöinen rasterikuvien käsittelyoh- jelma, jota käytetään laajasti kuvien yksityiskohtaiseen muok- kaukseen, mittakaavojen, kuvataulujen ja tieteellisten kuvitus- ten viimeistelyyn. Adobe Lightroom puolestaan on suunniteltu erityisesti valokuvien hallintaan ja raakakuvien (RAW) käsit- telyyn, ja se soveltuu hyvin suurten kuvamäärien yhdenmu- kaiseen säätämiseen. Muita ohjelmistoja ovat ainakin GIMP, Affinity Photo, Capture One, ImageJ/Fiji ja Corel PaintShop Pro. Itselläni näistä käytössä on vain Photoshop, ja osaan sillä lähinnä perustoimintoja. Kuvien käsittelystä voisi helposti kir- joittaa oman artikkelin, eikä aihetta käsitellä tässä sen syvälli- semmin. Youtubesta on löydettävissä useita hyviä ohjevideoita vaikkapa kohteen tai taustan tunnistamiseen, maskaamiseen ja värien säätämiseen. Kuvien jälkikäsitteilyyn liittyvä ohjelma on myös Topaz Sharpen, joka terävöittää kuvia tekoälypohjai- sesti. Sen käyttäminen voi olla joskus tarpeen, mutta hyvällä kameralla ja mikroskoopilla kuvattaessa kuva on jo valmiiksi riittävän terävä, tai tarvittavan terävöittämisen voi tehdä Pho- toshopin RAW-työkalulla. Saatavilla saattaa olla paljonkin te- rävöittämiseen sopivia AI-työkaluja, joista en ole tietoinen; nii- den hankkiminen ei millään muotoa ole välttämätöntä.

Hyönteisten kuvaamisessa tarpeellisia työkaluja ovat muutkin entomologin perustarvikkeet, kuten pinsetit (useat erilaiset tar- peen), hyönteisneulat ja petrimaljat. Neulattujen tai lapuille liimattujen hyönteisten kuvaamiseen on hyvä olla valkoinen ja harmaa taustapahvi sekä L-muotoinen alusta neulalle (mahdol- listaa kuvat useasta eri kulmasta). Jos haluaa erityisen hyvän työkalun tätä varten, kannattaa hankkia ns. manipulaattori, jol- la neulatus hyönteisen voi asettaa tarkasti mihin tahansa asen- toon.

Etanoliin säilötyt hyönteiset pitää kuvata samassa nesteessä, tai ainakin upotettuina nesteeseen. Verrattuna neulattujen hyön- teisten kuvaamiseen, on etanolissa kuvaaminen hieman vai- keampaa. Luonnollisesti ero tulee siinä, neulattu kohde pysyy



Kuva 6. Metsämiinakoi (*Phyllonorycter ulmifoliella*), neulattu yksilö. A) Rengasvalo ilman diffusoria, B) kupuvalo.

paikoillaan ja sitä voi kuvata periaatteesta mistä vain kulmasta. Etanolissa olevan hyönteinen taas liikkuu herkästi eikä pysy paikoillaan, ja kuvaaminen on usein helpointa vain sivuilta, päältä tai alta. Nesteessä kuvaamisen soveltuvat hyvin koverapohjaiset lasimaljat (kauppanimi *staining block*), joissa voi kuvata pieniä tai korkeintaan n. 15 mm pitkiä hyönteisiä. Kuvattava hyönteinen asetetaan maljalle ja etanolia lisätään niin paljon, että hyönteinen selvästi peittyy. Päälle laitetaan pyöreä peitinlasi, joka pitää hyönteisen paikoillaan; peitinlasin täytyy myös olla nestepinnan alapuolella. Mikäli kuvataan tummalla taustalla, on erityisen tärkeää pitää huolta maljojen, pinsettien ja lasien puhtaudesta. Yksikin ylimääräinen hiukkanen voi pilata kuvan, useampi tekee sen varmasti. Mikäli lasimaljoja ei ole saatavilla, voi aika hyvin käyttää myös pienen läpimitan petrimaljoja. Hämähäkkejä sekä niiden koiraiden leukaraajoja kuvataan lähes poikkeuksetta etanolissa. Sama koverapohjainen lasimalja toimii tässäkin, mutta pohjalle laitetaan hienojakoista hiekkaa ikään kuin pediksi. Hienojakoista (rakeen halkaisija alle 0.1 mm), tasaisen vaaleaa tai valkoista hiekkaa voi olla vaikea löytää. Sitä voi koittaa kysyä lasin valmistajilta tai maalausyrityksistä (puhallushiekka). Itse käytän sähkösulakkeiden sisällä olevaa hiekkaa. Hiekkapedillä etanoliin upotettuna hämähäkin tai leukaraajan saa aseteltua eri kuvakulmiin, joko osittain hiekkään upotettuna tai sen päällä.

Pienten (alle 1 mm) ja monimutkaisten kohteiden kuvaaminen etanolissa voi olla hankalaa. Tästä syystä on hyvä käyttää viskositeetiltaan jähmeämpää, mutta optisilta ominaisuuksiltaan hyvää glyserolia tähän tarkoitukseen. Näiden kohteiden, kuten ulkoisten genitaalien, kuvaamiseen tarvitaan glyserolin lisäksi kuoppa- sekä peitinlaseja (*excavated glass, cover glass*). Kuoppalasi on muuten kuin tavallinen preparaattilasi, mutta sen keskellä on laakea syvennös. Lisäksi timanttikoralla voi tehdä läpimitaltaan pienempiä, jyrkkäreunaisia kuoppia aluslasiin. Näissä pienissä kuopissa on hyvä kuvata esimerkiksi sienisääskien genitaaleja suoraan sivulta tai takaapäin, koska ne pysyvät näin paremmin halutussa asennossa. Etanolin alhai-

nen viskositeetti ja nesteiden hidaskoittuminen aiheuttavat sen, että kohteen ympärillä on aluksi juoksevämpi kerros, jossa pienet virtaukset ja kosketukset liikuttavat rakennetta helposti. Ajan myötä glyserolin osuus kasvaa diffuusion kautta, mikä lisää hydrodynaamista vaimennusta ja stabiloii kohteen, jolloin se pysyy melko hyvin halutussa asennossa. Tästä syystä kuvattavan kohteen kannattaa antaa olla glyserolissa vähintään tunnin tai pari KOH-käsittelyn (kaliumhydroksidi) jälkeen tai siirrettäessä etanolista glyseroliin. Myös kuoppalasilla ja glyserolilla kuvattaessa voi käyttää peitinlaseja tuomaan vakautta, mutta kuvattavan kohteen asennon hallinta on tällöin vaikeaa. Optimaalisen "mikrokuvausneste" etsiminen on edelleen käynnissä, ja olen saanut vinkkejä mm. käsidesin ja liukuvoiteen käytöstä yhdessä etanolin kanssa. Kuoppalasilla ainakin käsidesi haihtuu liian nopeasti, eikä yksistään käytettynä sovellu kuvaamiseen. Liukuvoide pitää kuvattavan kohteen hyvin paikallaan ja sopii käytettäväksi yhdessä etanolin kanssa.

Käytännön kuvaaminen esimerkkien kautta

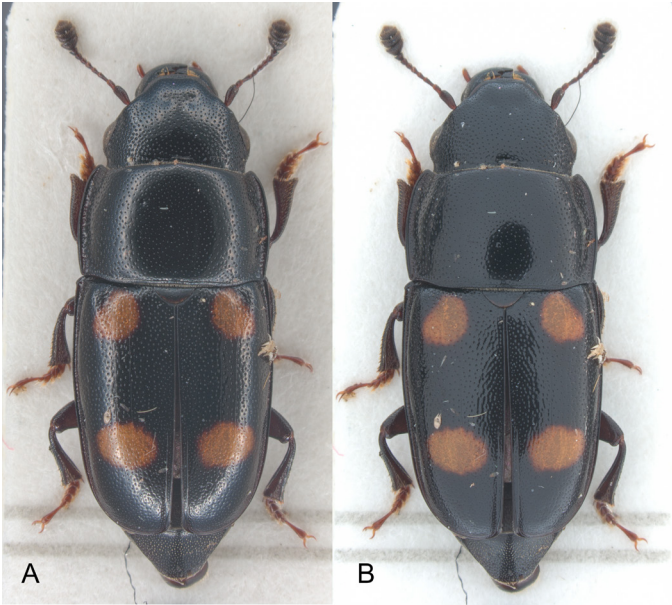
Olen Youtubeen Lapin maakuntamuseon kanavalle tehnyt videon, jossa kerron sienisääskien mikroskooppisesta kuvantamisesta Leican laitteilla. Videon avulla saa paremmin hahmotettua, mitä esimerkiksi tarkoitan Helicon Focus -ohjelman *Retouching* toiminnolla ja miksi sen käyttäminen on järkevää. Tässä kappaleessa kerron erilaisten kuvien kautta, miten ne on otettu ja mitä vastaavien kuvien ottamisessa on syytä ottaa huomioon. Kuvat eivät välttämättä ole viimeiseen asti käsiteltyjä, mutta niiden avulla voi hahmottaa mm. valon määrän ja laadun tärkeyttä. Kuvat on otettu Leica M205 C SMK:lla tai Leica DM2500 LED YMK:lla, käyttäen K5C kameraa ja LAS X ohjelmistoa. Kerroskuvien pinoamiseen on käytetty Helicon Focus -ohjelmaa ja viimeistelyyn Adoben Photoshop-ohjelmaa. Kuvatut hyönteiset ovat osa Lapin maakuntamuseon luonnontieteen kokoelmaa.

Kuivanäytteet

Neulatut hyönteiset (tai neulaan liimatut, lapuille liimatut) ovat kuivia, liikkumattomia ja usein suhteellisen helppoja kuvattavia. Kuvattavan hyönteisen koko ja pintarakenne vaikuttavat mm. valaistuksen sekä taustan värin valintaan.



Kuva 7. Kaljuniluri (*Hylurgops glabratus*), lapulle liimattu yksilö, kuvattu rengasvalolla ilman diffusoria.



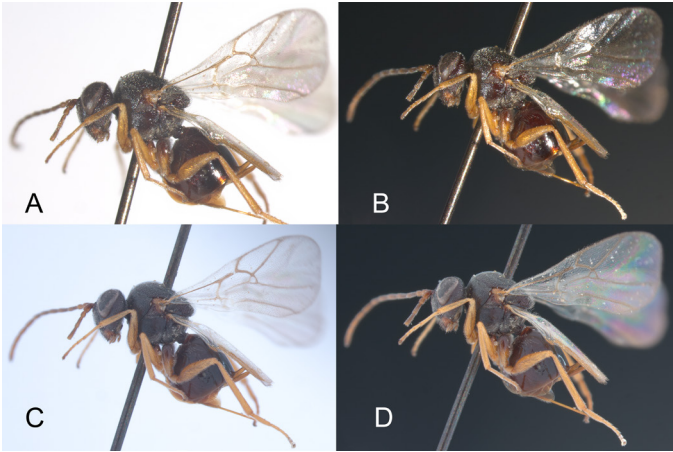
Kuva 8. Kuperamäihiäinen (*Glischrochilus hortensis*), lapulle liimattu yksilö. A) Rengasvalo ja diffusori, B) kupuvalo).

Pikkuperhosiin (miinaajakoi, Gracillariidae) kuuluva metsämiinakoi (*Phyllonorycter ulmifoliella*, määritys kuvan perusteella) on pituudeltaan 3.8 mm (Kuva 6). Pelkällä rengasvalolla ilman diffusoria (Kuva 6a) suomet heijastavat valoa. Mikäli heijastus halutaan pois, se onnistuu kupuvalon (Kuva 6b) avulla. Kupuvalolla kuvattuna siipisuomujen yksityiskohdat myös erottuvat paremmin. Kärpäskäisiin (Curculionidae) kuuluva kaljuniluri (*Hylurgops glabratus*) on pienehkö, mattapintainen kovakuoriainen (Kuva 7). Kuvattu yksilö on liimattu valkoiselle lapulle, mutta taustaväriksi on valittu harmaa. Valkoinen alusta voi tuoda ongelmaa valotuksen suhteen, tässä tapauksessa jalat ja tuntosarvet voivat ylivalottua. Kuva otettu niin kirkkaana kuin mahdollista, ilman että valkoinen ns. palaa puhki eli ylivalottuu. Valaisussa on käytetty rengasvaloa ilman diffusoria, koska mattapintainen kuoriainen ei juuri heijasta valoa. Kuperamäihiäinen (*Glischrochilus hortensis*, kiiltokuoriaiset, Nitidulidae) on keskikokoinen kuoriainen, jonka pinta on hyvin heijastava (Kuva 8). Elytrassa, pronotumissa ja päässä on pistemäisiä kuoppia, joiden erottamisella saattaa olla käytännön merkitystä. Kuvassa 8a on käytetty rengasvaloa ja diffusoria poistamaan pahin heijastus, mutta sitä ei saatu kokonaan hävitettyä; toisaalta pistemäiset kuopat erottuvat hyvin. Kuvassa 8b on sama yksilö kupuvalon alla; heijastuksia ei enää ole, ainoastaan mikroskoopin objektiivi erottuu tummana varjona. Toisaalta pintarakenne ikään kuin latistuu verrattuna rengasvaloon. Jos näitä kuvia tarvittaisiin esimerkiksi julkaisussa, olisi asiantuntijan tehtävä valita sopiva valaistus, joka olisi kyseisen lajin tai lajiryhmän tunnistuksen kannalta oleellinen. Pieni äkämäpistäinen (Cynipidae) voi olla suhteellisen hankala kuvattava, koska samassa yksilössä on heijastava pinta, mikroskooppitusta sekä läpinäkyvät siivet (Kuva 9). Kuvassa 9a on valaistuksena kohdevalo, taustan ollessa valkoinen. Kohdevalo antaa voimakkaan kontrastin mm. keskiruumiin setoille, mutta riskinä on ylivalottuminen. Yhdistelmällä kohdevalo ja tumma tausta (Kuva 9b) heijastus on edelleen voimakas, samoin kont-

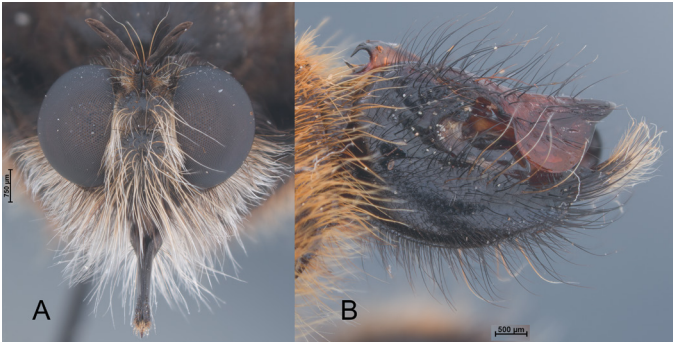
rasti. Kupuvalo valkoisella taustalla (Kuva 9c) antaa melko hyvän tuloksen, koska heijastus on eliminoitu ja karvat erottuvat luonnollisemmin, myös siipisuonet erottuvat hyvin. Kupuvalo ja tumma tausta (Kuva 9d) on ehkä tässä tapauksessa suositeltavin vaihtoehto (paras yksityiskohtien erottuminen), myös siiven interferenssikuvioita tulee näkyviin. Suurikokoinen aitolokärpänen (*Laphria flava*) on hankala saada kokonaan sovitettua kuvakenttään, eikä siihen ole edes pyritty (Kuva 10). Kuvassa 10a on kärpäsen pää suoraan edestä kuvattuna (kupuvalo); kuva ei melko varmasti täytä Nyquistin kriteeriä, mutta on silti ihan kohtuullisen hyvä. Taustaksi on valittu harmaa väri, jotta vaaleat setat erottuvat paremmin. Tämän tyyppiset kohteet voivat olla hankalia, koska setoja on paljon, ja ovat toistensa päällä. Suuri koko voi tarkoittaa myös, että kuvasyvyys on suuri, mikä voi haitata kerroskuvauksen onnistumista. Kuitenkin yksittäiset ommatidit ja setat erottuvat, samoin tuntosarvien kärkiosan uurre. Koiraan peräpää (Kuva 10b) on kuvattu sivulta, kupuvalon alla. Harmaan taustan avulla setat erottuvat paremmin kuin valkoisella taustalla. Toisaalta mustalla tai hyvin tummalla taustalla kuvattuna koko rakenteen hahmottaminen voisi olla hankalaa.

Nestenäytteet ja lasipreparaatit

Nesteessä, eli käytännössä etanolissa tai glyserolissa, kuvaaminen voi olla vaikeaa tai hyvin vaikeaa. Ensisijaisena ongelmana on kuvattavien kohteiden liikkuminen. Nesteessä kuvaaminen periaatteessa parantaa numeerista apertuuria, mutta vain immersio-objektiiveja käytettäessä. Kun YMK:n objektiivilla kuvataan nestepisarassa ilman peitinlasia, pallopoikkeamaa syntyy siksi, että objektiivi on optisesti suunniteltu toimimaan tietyn paksuisen ja tietyn taitekertoimen omaavan lasikerroksen läpi, vaikka tätä ei aina tule ajatelleeksi. Tavallinen biologisille näytteille tarkoitettu objektiivi, jossa on merkintä 0.17, olettaa valon kulkevan näytteen jälkeen noin 0.17 mm paksun peitinlasin (taitekerroin $\approx 1,52$) läpi ennen kuin säteet saapuvat objektiivin etulinssiin. Tämä lasikerros on osa objektiivin aberaatiokorjausta: linssien kaarevuudet ja keskinäiset etäisyydet on laskettu niin, että eri kulmista tulevat säteet tarkentuvat samaan pisteeseen juuri tämän optisen polun läpi kuljettuaan. Kun peitinlasi poistetaan ja näyte on suoraan nesteessä, optinen tilanne muuttuu kahdella tavalla. Ensinnäkin lasikerros puuttuu kokonaan, jolloin säteiden taittuminen ennen objektiivia ei enää vastaa suunnitteluarvoja. Toiseksi nesteen taitekerroin (etanoli ~ 1.36 ; glyseroli ~ 1.47) poikkeaa sekä ilmasta että peitinlasista, jolloin erityisesti objektiivin reuna-alueiden kautta kulkevat, jyrkässä kulmassa etenevät säteet taittuvat eri tavalla kuin aksiaaliset säteet. Seurauksena on, että eri sädekartiot eivät enää kohtaa samassa tarkennuspisteessä, vaan kuva pehmenee ja kontrasti heikkenee — ilmiö, joka näkyy juuri pallopoikkeamana. Vaikutus kasvaa nopeasti NA:n kasvessa, minkä vuoksi ongelma on usein vähäinen $4\times-10\times$ objektiiveilla mutta huomattavissa jo $20\times-40\times$ ja erityisesti näitä suuremmilla korkean NA:n objektiiveilla. Käytännössä kyse ei siis ole pelkästään siitä, että peitinlasi puuttuu, vaan siitä, että



Kuva 9. Äkämäpistiäinen (Cynipidae), neulattu yksilö. A) Kohdevalo, valkoinen tausta, B) kohdevalo, tumma tausta, C) kupuvalo, valkoinen tausta, D) kupuvalo, tumma tausta.



Kuva 10. Aitopalokärpänen (*Laphria flava*), neulattu yksilö. A) Pää suoraan edestä kuvattuna, kupuvalo. B) koiraan takaruumiin kärkiosa, kuvattu sivulta.

objektiivin suunniteltu optinen ympäristö (näyte → peitinlasi → ilma → objektiivin etulinssi) korvautuu erilaisella rajapintojen ja taitekertoimien yhdistelmällä, mikä rikkoo objektiivin pallopoikkeamakorjauksen. SMK:lla nesteessä kuvaaminen vaikuttaa resoluutioon yleensä vähemmän kuin YMK:lla, koska SMK:n NA on pieni ja säteiden tulokulmat ovat loivia. Tämän vuoksi taittumiskertoimen muutoksista aiheutuva pallopoikkeama jää vähäiseksi, ja kuva pysyy usein käyttökelpoisen terävänä. Optisesti tarkasteltuna neste voi hieman pehmentää hienoimpia yksityiskohtia ja vähentää kontrastia.

Nauhatilkukki (*Stemonyphantes lineatus*) on isohko riippuhämähäkki (Linyphiidae), joka on kerätessä säilötty suoraan etanoliin. Yksilö on kuvattu koverassa lasimaljassa hiekkapedillä. Habituskuvassa (Kuva 11a) on käytetty rengasvaloa ilman diffusoria, leukaraajakuvassa (Kuva 11b) rengasvaloa ja kohdevaloja. Torsot ja leukaraajat pysyvät hyvin paikallaan hiekkapedillä, ja tällä tavoin saa nopeasti julkaisukelpoista kuva-aineistoa. Pienimpien hämähäkkien leukaraajat onnistuvat samalla menetelmällä, mutta yli 100× suurennos on tarpeen. Hiekkapedillä hämähäkki tai muu kuvattava kohde voidaan melko helposti asemoida mihin tahansa kulmaan objektiivin nähden. Mäkärrien toukat elävät virtavedessä ja ne koteloituvat kivien tai vesikasvien päälle itse kutomiensa suojien (*pupal cocoon*) sisään. Kuvassa 12 on kotelo suojan sisässä, oksamaiset ulokkeet ovat kidukset, joilla on huomattavaa taksono-



Kuva 11. Nauhatilkukki (*Stemonyphantes lineatus*), koiras, kuvattu etanolissa hiekkapedillä. A) Habitus selän puolelta kuvattuna, rengasvalo. B) Vasen leukaraaja (pedipalppi), sisäpuolelta kuvattuna, kohdevalo ja rengasvalo.

mista merkitystä. Kuva on otettu koveralla lasimaljalla etanoliin upotettuna; kotelon päällä on pyöreä peitinlasi pitämässä kohteen paikoillaan. Valaistuksena on alavallo sekä rengasvalo. Kuvan tarkoituksena on esittää kotelo suojineen ikään kuin yleiskuvana; taaempi kiduspari on tarkoituksella jätetty epätarkaksi. Kuitenkin suojuksen pintarakenne on hahmotettavissa. *Trichonta*-sienisääsken (*Mycetophilidae*) pää ja keskiruumis on kuvattu sivulta etanolissa, käyttäen pientä petrimaljaa, tummaa taustaa ja kupuvaloa (Kuva 13). Kuten edellä, sääski on pidetty paikoillaan peitinlasin avulla. Yksittäisen pölyhiukkasen jättämä jälki huulirihmojen edessä on tarkoituksella jätetty näkyviin. Nesteessä ja tummalla taustalla kuvatessa on hyvä pyrkiä mahdollisimman suureen puhtauteen, muuten hippuset pilaavat kuvan tai jälkien korjaaminen kuvankäsittelyssä vie paljon aikaa. Glyserolissa preparaattilasilla kuvatut *Mycetophila* cf. *adumbrata* -sienisääsken genitaalit ja takajalka on otettu M205 C SMK:lla, 1.6× plan apo -objektiivilla (Kuva 14). Omien kokemusteni perusteella tavallinen plan-objektiivi ilman värikorjausta tuottaa näissä kuvissa vakavan kromaattisen aberration. Kuvissa valo tulee kokonaan alta.

Lasipreparaatit

Lasipreparaattien historiasta, kestäväintiaineista, oikeasta säilyttämisestä, optisista ominaisuuksista ja monesta muusta



Kuva 12. Mäkärän (*Simulium*) kotelo suojuksessaan (cocoon). Kuvattu lasimaljassa etanolissa, valaistus alta ja päältä (rengasvalo).

asiasta ovat perusteellisesti kirjoittaneet Neuhaus et al. (2017). Lasipreparaattien kuvaaminen muuttuu haastavammiksi immersio-objektiiveja käytettäessä, mutta niiden käyttäminen hyönteisten, edes pienten aikuisten polttiaisten tai surviaissääskien, kuvaamisessa on harvoin tarpeellista. Kuten edellä on kerrottu, on YMK:lla korkea resoluutio, mutta alhainen syväterävyys. Käytännön kerroskuvaamisessa tämä pitää huomioida siten, että yksittäiset kerroskuvat ovat hyvin "ohuita". Kannattaa ottaa useampia kuvia, mitä vastaavan kohteen kuvaaminen stereomikroskoopilla vaatisi. Muuten hyönteisten lasipreparaattien kuvaamisessa ei ole mitään erityistä verrattuna esimerkiksi glyserolissa kuvaamiseen. Kuvassa 15 on yksityiskohta vesiperhosen (hankisirvikäs, *Chilostigma sieboldi*) euparaliin preparoidusta siivestä, niin sanottu siipitäplä. Siipitäplän leveys on 1.7 mm, ja yksittäisen setan tyviosan leveys n. 8 µm. Siipitäplän solurakenne tulee myös hyvin esiin tarkemmassa kuvassa. Kuvat on otettu DM2500 LED YMK:lla, 5 ja 40× objektiiveilla.

Lopuksi

Mikroskooppinen kuvantaminen on osaltaan välineurheilua. Isojen mikroskooppivalmistajien (esim. Leica, Nikon, Zeiss, Olympus) laitteet ovat laadukkaita, ja rahalla saa valmiiksi yhteensopivia optisia välineitä ja ohjelmistoja, joilla työskentely on suoranaista nautintoa. Asiaa osaa arvostaa, jos kuvantamista on tehnyt erilaisilla, vähemmän yhteensopivilla välineillä. Mikroskopia on maailmanlaajuisesti harrastettua, ja tarjolla on myös käytettyjä laatuvälineitä suhteellisen edulliseen hintaan. Asioihin perehtymällä ja erilaisia osia käyttämällä voi päästä erittäin hyviin tuloksiin, ilman kymmenien tuhansien eurojen investointeja. Niin kuin kaikessa tekemisessä, osaaminen kumuloituu. Olen tätä kirjoitettaessa huomattavasti parempi mikroskoopilla kuvaaja kuin viisi vuotta sitten saadessani Leican laitteet käyttööni. Sarkaa on vielä kynnettävänä - aina voi pyrkiä paremmaksi. Itselläni opettelussa on vielä esimerkiksi eri-

laisten kontrastimenetelmien käyttö YMK:lla kuvattaessa. Harva asia tuottaa yhtä suurta mielihyvää, kuin korkean resoluution hyönteiskuvien tekeminen ja katsominen. Hyvillä laitteilla voi saada hyviä kuvia, mutta ei ilman perustason tietämystä vaikkapa resoluutiosta ja valaistuksen merkityksestä. Unohtaa ei myöskään sovi, että huonoista preparaateista ei saa hyviä kuvia edes Photoshopin avulla.

Kiitokset

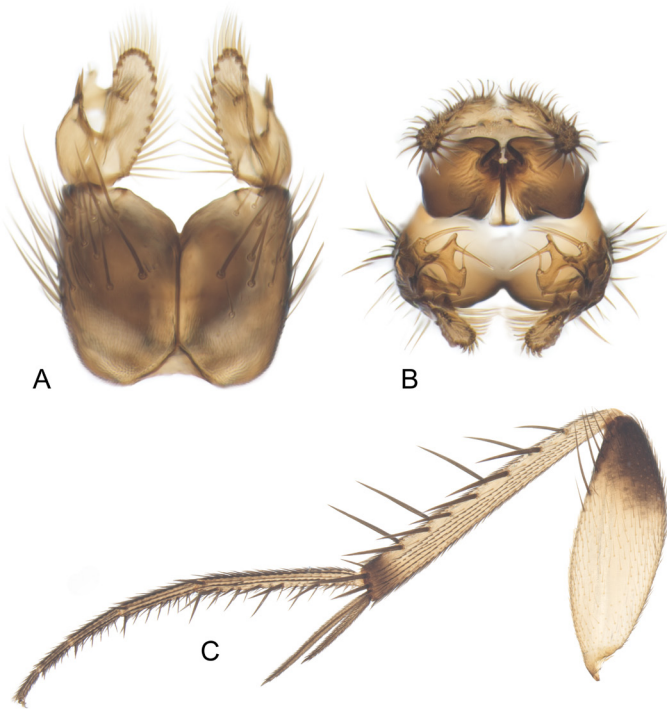
Ympäristöministeriön rahoittama PUTTE II-hanke (2021–2022, projektikoodi 7000T-YTX003) mahdollisti Leican mikroskooppien ja ohjelmistojen hankkimisen Lapin maakuntamuseolle. Laitteita on myöhemmin paranneltu erityisesti museolle myönnetyn ALVA-rahoituksen kautta.

Kirjallisuus

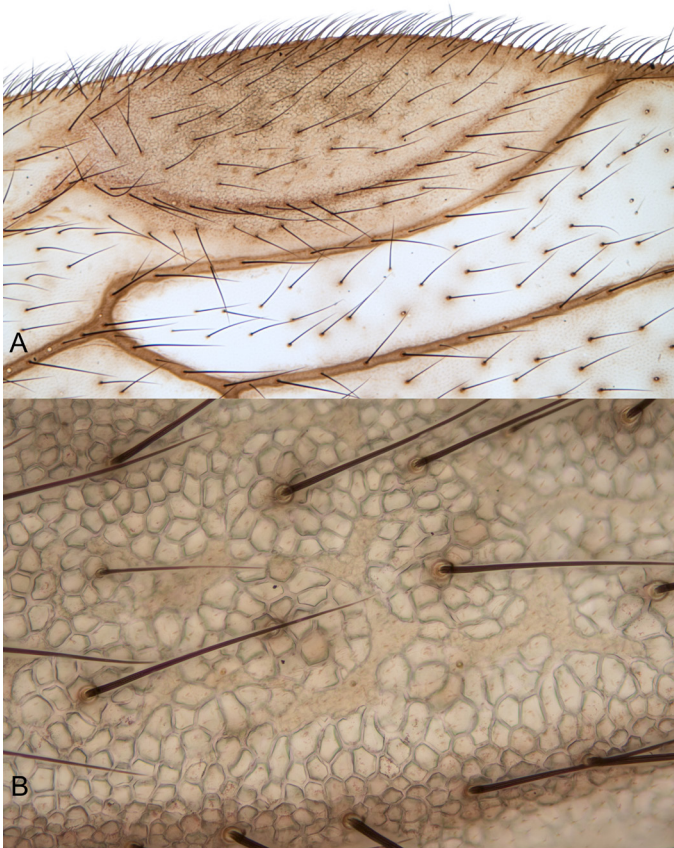
Biss, L. 2017: Microsculpture. Portraits of insects. — Abramsbooks. 144 s.
Buffington, M. & Gates, M. 2008: Advanced Imaging Techniques II: Using a Compound Microscope for Photographing Point-Mount Specimens. —



Kuva 13. *Trichonta*-sienisääsksen pää ja keskiruumis, kuvattu etanolissa tummalla taustalla, kupuvalo. Huomaa yksittäisen pölyhiukkasen jättämä jälki palpien etupuolella.



Kuva 14. *Mycetophila cf. adumbrata* -sienisääski, kuvattu peitinlasilla glyserolissa, alavalolla. A) Hypopygium, vatsan puolelta kuvattuna, B) hypopygium, takaa (caudal) kuvattuna, C) takajalka.



Kuva 15. Hankisirvikkään (*Chilotigma sieboldi*) siipitiplä, leveys 1.7 mm. A) Yleiskuva siipitiplästä 5x objektiivilla kuvattuna. B) Yksityiskoh- ta siipitiplästä, 40x objektiivilla kuvattuna. Setan tyviosan halkaisija n. 8 µm.

- American Entomologist 54: 222–224, <https://doi.org/10.1093/ae/54.4.222>
- Fibiger, M. 1997: Noctuidae Europaeae. Vol. 3 Noctuidae III. — Entomological Press. 418 s.
- Flemons, P & Berents, P. 2012: Image based Digitisation of Entomology Collections: Leveraging volunteers to increase digitization capacity. ZooKeys 209: 203–217. <https://doi.org/10.3897/zookeys.209.3146>
- De Geer, C. 1776: *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes*. Tome 6. — Stockholm: Pierre Hesselberg. 522 s + 30 kuvataulua.
- Grimaldi, D. 2023 (Ed.): The Complete Insect: Anatomy, Physiology, Evolution, and Ecology. — Princeton University Press. 367 s.
- Hippa, H. 1978: Classification of Xylotini (Diptera, Syrphidae). — Acta Zoologica Fennica 156: 1–153.
- Hippa, H. & Oksala, I. 1985: A review of some Holarctic *Agyneta* Hull s. str. (Araneae, Linyphiidae). — Bulletin of the British Arachnological Society 6: 277–288.
- Hippa, H. & Vilkamaa, P. 1991: The genus *Prosciara* Frey (Diptera, Sciaridae). — Entomologica Fennica 2: 113–155. <https://doi.org/10.33338/ef.83544>
- Hippa, H. 2006: Diversity of Manota Williston (Diptera: Mycetophilidae) in a Malaysian rainforest: description of twenty-seven new sympatric species. — Zootaxa 1161: 1–49. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1161.1.1>
- Hippa, H., van Steenis, J. & Mutin, V.A. 2015: The genus *Sphegina* Meigen (Diptera, Syrphidae) in a biodiversity hotspot: the thirty-six sympatric species in Kambaiti, Myanmar. — Zootaxa 3954: 1–67. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3954.1.1>
- Hirvenoja, M. 1973: Revision der Gattung *Cricotopus* van der Wulp und ihrer Verwandten (Diptera, Chironomidae). — Annales Zoologici Fennici 10: 1–363.
- Karjalainen S. 2025: Muodonvaihdoksia ihmettelemässä. — Tammi. 287 s.
- Lawlor D 2019. Introduction to Light Microscopy. Tips and Tricks for Beginners. — Springer Verlag. 164 s.
- Neuhaus B, Schmid T, Riedel J (2017) Collection management and study of microscope slides: Storage, profiling, deterioration, restoration procedures, and general recommendations. — Zootaxa 4322: 1–173. DOI: 10.11646/zootaxa.4322.1.1
- Nordström, F. 1933: *Aplectoides borealis* sp.n. eine neue schwedische Noctuide. — Internationale Entomologische Zeitschrift. 27: 317–319.
- Palmgren, P. 1975: Die Spinnenfauna Finnlands und Ostfennoskandiens VI. Linyphiidae 1 (Die Linyphiinae und Linyphiinae-ähnlichen Micryphantinae). — Fauna Fennica 28: 1–102.
- Palmgren, P. 1976: Die Spinnenfauna Finnlands und Ostfennoskandiens. VII. Linyphiidae 2 (Micryphantinae, mit Ausnahme der Linyphiinae-ähnlichen). — Fauna Fennica 29: 1–126.
- Saaristo, M. I. 1971: Revision of the genus *Maro* O. P.-Cambridge (Araneae, Linyphiidae). — Annales Zoologici Fennici 8: 463–482.
- Stork, N.E. 2018: How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? — Annual Review Entomology. 63: 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- Tauber, C.A., Immons, Z. & Tauber, A.J. 2019: Type specimens of Neuropterida in the Hope Entomological Collection, Oxford University Museum of Natural History. — Zookeys 823: 1–126. doi: 10.3897/zookeys.823.30231
- Tuiskunen, J. & Lindeberg, B. 1986: Chironomidae (Diptera) from Fennoscandia north of 68° N, with a description of ten new species and two new genera. — Annales Zoologici Fennici 23: 361–393.
- Tuomikoski, R. 1960: Zur Kenntnis der Sciariden (Dipt.) Finnlands. — Annales Zoologici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae “Vanamo” 21 (4): 1–164.



Microlepidoptera of Mongolia collected by the Finnish Lepidopterological Expedition from provinces Selenge and Tuv, Khentii (Kentei) Mountains, July 2024

Erkki M. Laasonen, Leena Laasonen, Hannu Saarenmaa, Pekka Tokola & Mikael Englund

Laasonen, E. M., Laasonen, L., Saarenmaa, H., Tokola P. & Englund M. 2026: Microlepidoptera of Mongolia collected by the Finnish Lepidopterological Expedition from provinces Selenge and Tuv, Khentii (Kentei) Mountains, July 2024. — *Sahlbergia* 32(2): 21–28. Helsinki, Finland, ISSN 2342-7582.

A Finnish Lepidopterological Expedition took place in the vicinity of Khentii Mountains, northern Mongolia, in July 2024. The main focus of the expedition was on macrolepidoptera, which were observed and sampled using netting, sugar baits, light and bait traps of various designs. Microlepidoptera materials were gathered as side catches. Here we present from that material a list of 130 microlepidoptera species.

Erkki M. Laasonen & Leena Laasonen, Vyökatu 9, FI-00160 Helsinki. Email: laasonen@kolumbus.fi

Hannu Saarenmaa, Sertifier Consulting Ltd, Hasselholmantie 356, FI-07310 Sannäs. Email: hannu@bioshare.com

Pekka Tokola, Maisterintie 3, FI-90570 Oulu. Email: p.m.tokola@gmail.com

Mikael Englund, Finnish Museum of Natural History Luomus, P.O.Box 17, FI-00014 University of Helsinki. Email: mikael.englund@helsinki.fi

Introduction

The Finnish Lepidopterological Expedition with participants Dr. Hannu Saarenmaa, Dr. Mikael Englund and MSc Pekka Tokola - as well as prof. Christoph L. Häuser from Berlin, Germany and MSc. Tsetsegbadam Gungaa from The Natural History Museum, Ulaanbaatar - took place in northern Mongolia between 2024-07-15/24. With the expertise of TG, they found suitable study areas in the vicinity of Khentii Mountains not far from Ulaanbaatar, the Capital of Mongolia. Definitely a worthy and traditional advice, as the oldest paper dealing with Lepidoptera we have found, sums up the results of an expedition by

three brethren Durries to just those mountains in the year 1879 – about 150 years ago - with a list of 107 species (Staudinger, 1892). The purpose now was to collect night-flying moths with many different types of traps to get further material for the studies on Palearctic Geometroidae and Noctuidae. ME and HS kindly gave us (EML & LL) the remaining microlepidopteran (micro) side materials to be studied further. Micro- and macrolepidoptera are widely used in literature referring to non-monophyletic groups of Lepidoptera. In this article we regard the superfamilies Papilionoidea, Drepanoidea, Geometroidea, Lasiocampoidea, Bombycoidea, and Noctuoidea as macrolepidoptera. The microlepidoptera comprise all other superfamilies of Lepidoptera. Macrolepidoptera we abbreviate as macro(s) and microlepidoptera as micro(s). We received these side catches with great enthusiasm, but got immediately into some trouble, when we could not find any comprehensive list of the Mongolian microlepidoptera.

Materials and methods

The main focus of the expedition was on macrolepidoptera, which were observed and sampled using netting, sugar baits, and light and bait traps of various designs. As side catches, microlepidoptera from light traps were deposited in envelopes to provide the material for this study.

The materials were collected from 10 localities listed from south to north. (See also the map in Figure 1) To make the list

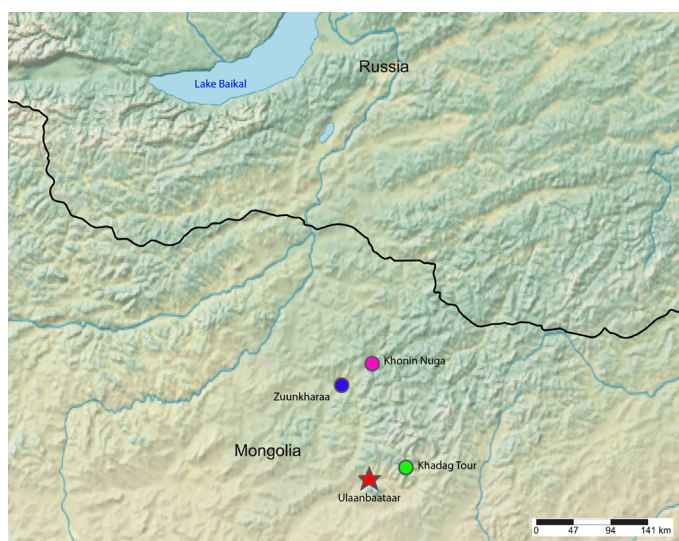


Fig. 1. Map of the collecting localities. Capital City Ulaanbaatar = red star, Khadak Tour = green dot, Zuunkharaa = blue dot and Khonin Nuga = pink dot. In the north, Russian border provinces Burjatija and Tsita. Photo Mikael Englund.

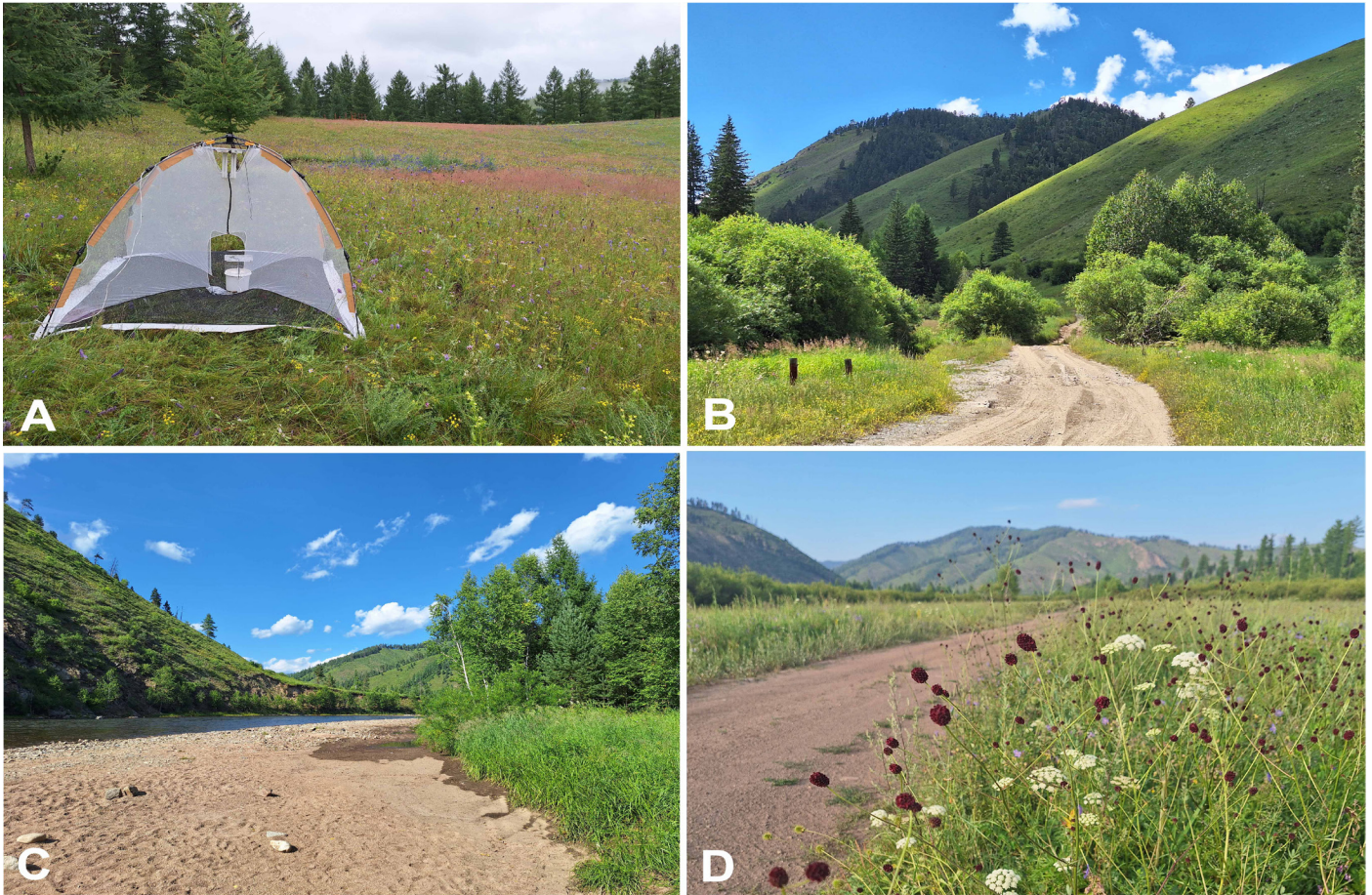


Fig. 2. Collection habitats in Mongolia July 2024. A) Light trap near Khadag Tour "Camp"; B) view from the Khonin Nuga "Road"; C) river bank near Khonin Nuga "Beach"; D) meadow near Khonin Nuga "Camp". Photos Mikael Englund.

in Results more concise, we composed abbreviations out of the province (T or S), a running letter (A – E or A – I), and the collector (E, S or T). Four of the localities (TAT = TBE, SAT = SBE, SDE = SET and SGS = SIS) were visited twice, but at different dates, by different collectors, and/or determined later on by different experts, hence the 14 abbreviations. In Province Tuv at Khadak Tour, some 50 km east from Ulaanbaatar, there were four localities and in the province of Selenge at Zuunkharaa and Khonin Nuga 120 – 150 km north from Ulaanbaatar, six localities. The side catches from these areas contained more than 1100 micros, of which 770 were pinned for further studies. In addition, PT could put on top of that more than 50 fully determined records to this paper. Figure 2 shows some of the study localities above.

Province Tuv

TAT = MONGOLIA: Tuv, Khadag Tour "Alp", N47.9658 E107.8195, alt.1820 m, 2024-07-21/24, Pekka Tokola leg. & det.
 TBE = MONGOLIA: Tuv, Khadag Tour "Alp", N47.9658 E107.8195, alt.1820 m, 2024-07-23, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det.
 TCE = MONGOLIA: Tuv, Khadag Tour "Camp", N48.02816 E107.7301, alt.1530 m, 2024-07-21, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det.
 TDS = MONGOLIA: Tuv, Terelj National Park, N48.028971 E107.716991, alt.1530/1620 m, 2024-07-21/22, Hannu Saarenmaa leg. Erkki M. & Leena Laasonen det. Lush coniferous forest.

TEE = MONGOLIA: Tuv, Khadag Tour "Ridge", N48.0301 E107.7275, alt.1560 m, 2024-07-23, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det. Steep rocky cliff and under it grassy openings.

Province Selenge

SAT = MONGOLIA: Selenge, Zuunkharaa "Mountain", N48.812 E106.551, 2024-07-15, Pekka Tokola leg. & det.
 SBE = MONGOLIA: Selenge, Zuunkharaa "Mountain", N48.8127 E106.5154, alt.980 m, 2024-07-15, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det.
 SCE = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga "Road", N48.9927 E106.8972, alt.1000 m, 2024-07-20 Mikael Englund leg. & det.
 SDE = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga "Beach", N49.009 E106.998, alt.930 m, 2024-07-18, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det.
 SET = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga "Beach", N49.009 E106.998, 2024-07-16/19, Pekka Tokola leg. & det.
 SFE = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga "Ridge", N49.0816 E107.2887, alt.960 m, 2024-07-18, Mikael Englund leg. Erkki M. & Leena Laasonen det.
 SGS = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga National Park, N49.08708 E107.29084, alt.924 m, 2024-07-17/18, Hannu Saarenmaa leg. Erkki M. & Leena Laasonen det. Meadows by a river.
 SHE = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga "Camp", N49.0871 E107.2907, alt.930 m, 2024-07-18, Mikael Englund leg. & det.
 SIS = MONGOLIA: Selenge, Khonin Nuga National Park, N49.093151 E107.306990, alt.924 m, 2024-07-19/20, Hannu Saarenmaa leg. Erkki M. & Leena Laasonen det. Lush coniferous forest.

As a primary reference for determining the micro species, we used two book series: Insects of Mongolia, Yearbook, Vols 1 - 11, years 1972 - 1990 (= IOM) and Microlepidoptera Palearctica, Vols 1 - 11, years 1965 - 2002 (= MP). Of these books, we referred to those papers which were relevant for this work. However, the books did not cover all microlepidopteran families of interest. As a secondary reference, we used the “Catalogue of the Lepidoptera of Russia” from all the republics or provinces at the northern border of Mongolia: Republic of Altai, Republic of Tuva, Province (Oblast) of Irkutsk, Republic of Buryatia and province of Tsita (Sinev, 2019). Similarly, we surveyed the relatively few Chinese papers, if they eventually contained micros from the regions at the southern border of Mongolia: Xinjiang Uygur autonomous region, Gansu province and Inner Mongolia autonomous region. Finally, we checked from the “Catalogue of Lepidoptera from Russian Far East” (Leleja, 2016), if some eastern micros should be noted, and went through its really long 65-page reference list!

Results

We present a list of 130 microlepidopteran species with comments. Micros were determined according to the habitus. Genital preparates (GP) were also used, but determination by DNA only indirectly. The micros were arranged according to the book “The Lepidoptera of Europe”, using its running number (Karsholt & Razowski, 1996). An “a” after the number in the list (XXXXa) means a species is not included in “The Lepidoptera of Europe” but placed (about) here in the book. For the abbreviations of investigation localities, please see Material and Methods. The notation “3/2” means 3 males and 2 females, and “D” that at least some specimens were discarded. After these notes, we present in brackets the paper with which we have determined the species and after that without brackets the papers which report the species from Mongolia: IOM = Insects of Mongolia 1972 - 1990 and MP = Microlepidoptera Palearctica 1965 - 2002. Twelve interesting micros presented in Figures 3 (and 4) were digitalized at the Finnish Museum of Natural History Luomus (ZMUH) and the codes are presented here. The micros are deposited either in ZMUH, in research collection Laasonen, in research collection Tokola or in research collection England.

Tineidae

702 *Monopis spilotella* (Tengström, 1848): TDS 0/1, TEE 1/0, SGS 0/1, SIS 1/1. D. Mongolia: Zaguljajev, 1972. IOM 1.

Gracillariidae

1147 *Calybites phasianipennella* (Hübner, 1813): TDS 0/1. D.

Yponomeutoidea

1343 *Scythropia crategella* (Linnaeus, 1767): TDS 0/1.

1352 *Yponomeuta rorrella* (Hübner, 1813): SAT 1 ex.

1453 *Argyresthia brockeella* (Hübner, 1813): TDS 1/0. D.

1488 *Ypsolopha horridella* (Treitschke, 1835): TEE 0/1. GP 3919/25LL.

1504 *Ypsolopha leuconotella* (Snellen, 1884): TDS 2/1, SFE 1/0. Mongolia: Leleja, 2016. <http://id.luomus.fi/GL.10612>

1525 *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758): TEE 1/0. D.

Depressariidae

1662a *Ethmia mongolica* (Rebel, 1901): SGS 1/0. Mongolia: Sattler, 1967. MP 2

1676 *Exaeretia (Levipalpus) hepatariella* (Lienig & Zeller, 1846): TCE 1/0, TDS 1/0, SIS 2/0. The ground color of forewings slightly darker than in Finnish exx. <http://id.luomus.fi/GL.10613>

1688 *Exaeretia mongolicella* (Christoph, 1882): TDS 2/0, TEE 2/0, SIS 2/0 (Buchner & Sumpich, 2020). Mongolia: Leleja, 2016.

1740a *Agonopterix abditella* Hannemann, 1959: TAT 3 exx., TDS 1/0. GP 3886/25LL (Buchner & Sumpich, 2020).

3078 *Hypercallia citrinalis* (Scopoli, 1783): SDE 1/0. Mongolia: Tokar et al. 2005.

Elachistinae

1831 *Elachista (Cosmiotes) stabilella* (Stainton, 1858): TEE 3/0. GP 3909/25LL.

Momphidae

2887a *Mompha jurassicella* (Frey, 1881): TEE 1/0 (Koster & Sinev, 2003): GP did not succeed.

2891 *Mompha subbistrigella* (Haworth, 1828): SGS 0/1.

Gelechiidae

3232 *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843): TBE 1/0, SIS 0/1. Mongolia: Emelyanov & Piskunov, 1982, IOM 8 and Piskunov, 1990, IOM 11.

3321 *Monochroa elongella* (Heinemann, 1870): TDS 0/1. D.

3338 *Oxypteryx (Eulamprotes) wilkella* (Linnaeus, 1758): TEE 6/2.

3341a *Oxypteryx (Eulamprotes) altaicella* Huemer & Karsholt, 2013: TDS 1/0, TEE 1/0. (Huemer et al., 2013).

3373 *Bryotropha terrella* (Denis & Schiffermüller, 1775): TDS 2/0, TEE 1/0, SGS 4/0, SIS 2/0. D.

3386 *Bryotropha similis* (Stainton, 1854). TEE 1/0.

3448a *Teleiopsis kyraensis* Bidzilya, 2018: TEE 3/0. GP 3917/25LL. (Bidzilya & Nupponen, 2018).

3458 *Xenolechia aethiops* (Humphrey & Westwood, 1845): TBE 2/0.

3507 *Mirificarma mulinella* (Zeller, 1839): TEE 3/0. GP 3920/25LL & GP 3921/25LL.

3514 *Chionodes holosericea* (Herrich-Schäffer, 1854): TEE 2/0.

3517 *Chionodes continuella* (Zeller, 1839): TDS 2/0, SIS 6/0. D. Mongolia: Emelyanov & Piskunov, 1982, IOM 8.

3527 *Chionodes fumatella* (Douglas, 1850): TEE 6/1. D. Males by GP 3922/25LL & GP 3927/25LL. Mongolia: Piskunov, 1979, IOM 6, Lvovsky & Piskunov, 1989, IOM 10 and Piskunov, 1990, IOM 11.

3530a *Aroga controvalva* Li & Zheng, 1998: TDS 1/0. GP 3891/25LL. (Li & Zheng, 1998). <http://id.luomus.fi/GL.10614>

3659 *Ephysteris insulella* (Heinemann, 1870): TDS 1/0. GP 3890/25LL. Mongolia: https://en.wikipedia.org/wiki/Ephysteris_insulella. <http://id.luomus.fi/GL.10615>

3686a *Caryocolum mongolense* Povolny, 1963: TEE 1/0. GP 3928/25LL. Mongolia: Sumpich et al., 2020. The male genitalia fit well, but the forewings are more reddish. <http://id.luomus.fi/GL.10616>

3721 *Caryocolum cassella* (Walker, 1864): TDS 1/0, SGS 5/0, SIS 1/0. D.

3723 *Caryocolum petrophila* (Priessecker, 1914): SGS 6/0. D.

3798 *Aproaerema anthyllidella* (Hübner, 1813): TEE 0/1.

- 3834a *Neofaculta taigana* Ponomarenko, 1998: TEE 4/1. (Gregersen & Karsholt, 2022).
 3851 *Dichomeris derasella* (Denis&Schifferrmuller, 1775): TDS 1/0, SDE 1/0, SFE 1/0, SGS 2/0, SIS 1/0, D.
 3854 *Dichomeris (Uliaria) rasilella* (Herrich-Schäffer, 1853): TDS 1/0. Mongolia: Piskunov, 1979, IOM 6.
 3874 *Acompsia cinerella* (Clerck, 1759): TAT 1 ex., TDS 1/0, D.
 3883 *Acompsia schmidtii* Heyden, 1848: TDS 1/0.

Zygaenidae

- 3925 *Rhagades pruni* (Denis&Schifferrmuller, 1775): TAT 1 ex., SET 1 ex.
 3992 *Zygaena viciae* (Denis&Schifferrmuller, 1775): SET 1 ex. Mongolia: Sukhareva, 1978 (as *meliloti* Esper, 1789).

Tortricidae

- 4187 *Phtheochroa (Hysterosia) inopiana* (Haworth, 1811): TDS 1/0. D. Mongolia: Razowski, 1966, Razowski, 1970, MP 3 and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4287 *Eupoecilia angustana* (Hübner, 1799): TDS 1/0. D. (Razowski, 1970, MP 3).
 4309 *Aethes smeathmanniana* (Fabricius, 1781): TDS 1/0, SGS 5/2, SIS 3/0. D. Including f. *ochromata* SCS 0/1, SDS 1/0. D. (Razowski, 1970, MP 3).
 4326 *Aethes cnicana* (Westwood, 1854): SIS 1/0. D. (Razowski, 1970, MP 3). Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.
 4335 *Cochylidia subroseana* (Haworth, 1811): TDS 6/0, SIS 1/0. D. (Razowski, 1970, MP 3).
 4339 *Cochylidia implicitana* (Wocke, 1856): TDS 1/0. D. (Razowski, 1970, MP 3).
 4365 *Falseuncaria ruficiliana* (Haworth, 1811): TAT 1 ex, TBE 1/0, TEE 8/0. D. (Razowski, 1970, MP 3).
 4376 *Acleris (Croesia) bergmanniana* (Linnaeus, 1758): SGS 1/0. D. Mongolia?: Razowski, 1984, MP 6.
 4444 *Eana argentana* (Clerck, 1759): TDS 1/0, TEE 1/0. Mongolia: Razowski, 1966 and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4556 *Archips betulanus* (Hübner, 1787): TDS 2/1, SIS 1/0, D. Mongolia: Kuznetsov, 1978.
 4577 *Pandemis cinnamomeana* (Treitschke, 1830): TEE 0/1. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4612 *Clepsis aerosana* (Lederer, 1853): SIS 0/1. Mongolia: Staudinger, 1892 and Kuznetsov 1975, IOM 3. <http://id.luomus.fi/GL.10611>
 4618 *Clepsis rurinana* (Linnaeus, 1758): SGS 1/0, SIS 3/0. D. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4657 *Bactra lacteana* (Caradja, 1916): TDS 1/0, SGS 1/1, SIS 1/0, D. Mongolia: Razowski, 1966 and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4667 *Endothenia marginana* (Haworth, 1811): TEE 2/0. In northern Scandinavia we have ssp. *tarandina* (Laasonen & Laasonen 1995). These two exx. resemble more the nominate form ssp. *marginana*. Mongolia: Razowski, 1966 and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4673 *Endothenia quadrimaculana* (Haworth, 1811): TAT 1 ex., TDS 2/0, SIS 1/0. D. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4700 *Apotomis turbidana* Hübner, 1825: SGS 1/0, SIS 3/1. D. Male GP3987/25LL (Nedoshivina, 2016).
 4711 *Orthotaenia undulana* (Denis&Schifferrmüller, 1775): TBE 2/0. D.
 4728 *Celypha cespitana* (Hübner, 1817): TEE 12/0. D. Mongolia: Razowski, 1966, and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4733 *Celypha (Syricoris) rivulana* (Scopoli, 1763): SGS 21/0, SIS 10/0. D. GP3892/25LL. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4755 *Phiaris bipunctana* (Fabricius, 1794): SGS 5/0, SIS 3/0. D. GP 3893/25LL. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM.
 4814 *Thiodia torridana* (Lederer, 1859): SDE 0/1, SGS 2/0. (Zhang & Li, 2005).
 4825a *Semasia (Asketria, Biuncaria) kenteana* (Staudinger, 1892):

- TCE 1/0, SDE 1/0, SIS 2/0. (Kuz- netsov et al., 1998). Mongolia: Staudinger, 1892 and Razovski, 1966 and Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4829 *Rhopobota naevana* (Hübner, 1817): SIS 0/2. D. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4882 *Zeiraphera griseana* (Hübner, 1799): SIS 1/0. D. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 4901 *Pelochrista apheliana* (Kennel, 1901): SGS 1/0, SIS 2/0. (Zhang & Li 2005). Mongolia: Razowski, 2003.
 4901a *Pelochrista muhabbet* Kocak 2006 != *chanana* (Kennel, 1901) /: TEE 4/0. GP3929/25LL. (Gilligan & Wright, 2012). Mongolia: Razowski, 1966 and Kostjuk, 1975, IOM 3 (both as *chanana*). <http://id.luomus.fi/GL.10618>
 4909 *Pelochrista latericana* (Rebel, 1919): TEE 1/0. GP3930/25LL. <http://id.luomus.fi/GL.10619>
 4919 *Pelochrista arabescana* (Eversmann, 1844): TBE 1/0, TEE 14/2, SIS 1/0. D. Mongolia: Kostjuk, 1975, IOM 3.
 4959 *Eucosma tundrana* (Kennel, 1900): TAT 1 ex. TEE 1/0. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3. <http://id.luomus.fi/GL.10617>
 4985 *Gypsonoma dealbana* (Frölich, 1828): SIS 0/1. D. (Zhang & Li, 2005).
 5019 *Notocelia cynosbatella* (Linnaeus, 1758): TDS 1/0. D. (Zhang & Li, 2005). Mongolia: Kuznetsov, 1978.
 5055 *Enarmonia formosana* (Scopoli, 1763): SIS 1/0. D.
 5073 *Ancylis badiana* (Denis&Schifferrmuller, 1775): TDS 0/1. D. Mongolia: Kuznetsov, 1975, IOM 3.
 5114 *Cydia leucogrammana* (O.Hoffman, 1898): TDS 1/0.
 5230a *Dichrorampha altaica* Danilevsky, 1968: SGS 2/0, SIS 2/0. <http://id.luomus.fi/GL.10620>

Choreutidae

- 5273 *Prochoreutis ultimana* (Krulikovsky, 1909): TDS 1/0, TEE 1/0, SIS 5/0. D.

Epermeniidea

- 5302 *Epermenia aequentella* (E.Hofmann, 1867): TEE 8/1. Male GP3915/25LL. Mongolia: Falkovitsch 1981.

Pterophoridae

- 5381 *Amblytilia acanthadactyla* (Hübner, 1813): SIS 1/0. GP3895/25LL.
 5385+ *Paraplatyptilia sibirica* (Zaguljajev, 1983): TAT 1 ex., TDS 0/1, SGS 1/0. (Kullberg et al., 2013).
 5394 *Stenoptilia veronicae* Karvonen, 1932: SIS 1/0. GP3894/25LL. (Arenberger, 2005, MP 12).
 5441 *Oxyptilus pilosellae* (Zeller, 1841): SGS 0/1, SIS 1/0. D. (Arenberger, 2002, MP 11).
 5474a *Procapperia kuldschaensis* (Rebel, 1914): TEE 1/1. Mongolia: Arenberger, 2002, MP 11.
 5501 *Merrifieldia leucodactyla* (Denis&Schifferrmüller, 1775): TEE 1/0, TCE 11/1. Mongolia: Arenberger, 1995, MP 9.
 5501a *Merrifieldia caspius* (Lederer, 1870): TCE 0/1. (Arenberger, 1995, MP 9).
 5535 *Euleioptilus (Hellinsia) didactylites* (Ström, 1783): TDS 0/1. D. (Arenberger, 1995, MP 9).
 5548a *Hellinsia mongolica* (Zaguljajev & Pentschukovskaja, 1972): TDS 1/0. Mongolia: Arenberger, 1995 MP 9.

Pyralidea

- 5625a *Pyralis cardinalis* Kaila, Huemer, Mutanen, Tyllinen & Wickström 2020: TDS 1/0, SCE 1/0. (Wikström et al., 2020).
 5686 *Pempeliella ornatella* (Denis&Schifferrmüller, 1775): SBT 1 ex, SFE 1/0.

- 5690a *Delplanqueia (Pempeliella) inscriptella* (Duponchel,1836): TEE 6/9, SIS 2/1. D. (Bengtsson, 2016).
- 5718 *Sciota fumella* (Eversmann,1844): TDS 0/1, SDE 1/0, SGS 1/2, SIS 3/1, D. Mongolia: Leleja, 2016.
- 5732 *Selagia argyrella* (Denis&Schifferrmuller,1775): TAT 1 ex., TBE 1/0, TCE 21/1, TDS 1/1. D. Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.
- 5735 *Selagia spadicella* (Hübner,1796): TCE 1/0, TEE 13/4, SCE 0/1. D. Mongolia: Leleja, 2016.
- 5740 *Pima boisduvaliella* (Guenée 1845): TEE 4/1. Mongolia: Ivinskis 1990, IOM 11.
- 5740a *Pima tabulella* Ragonot 1901: TEE 1/0. Opinions differ, if tabulella is just a ssp. of *boisduvaliella*. <http://id.luomus.fi/GL.10621>
- 5751 *Oncocera semirubella* (Scopoli.1763) f. *Icterella* Ragonot,1888: TDS 0/2. Mongolia: Leleja, 2016.
- 5869a *Acrobasis curvella* (Ragonot,1893): TDS 0/1. <http://id.luomus.fi/GL.10622>
- 5902 *Cremnophila sedakovella* (Eversmann,1851): TEE 4/0, SBT 1 ex, SBE 0/1. Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.
- 5930 *Megasia rippertella* (Zeller,1839): TDS 1/0, SIS 1/0. (Roesler, 1993, MP 8).
- 6066a *Staudingeria (Ancylosis) psammicola* Roesler 1970: TEE 1/0. Mongolia: Roesler, 1973, MP 4 and Ivinskis, 1990, IOM 11. Up till now, only from Mongolia.
- Crambidae**
- 6176 *Gesneria centuriella* (Denis&Schifferrmuller,1775): TCE 1/0, TDS 1/0, SET 1 ex., SGS 0/2, SIS 1/1. Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.
- 6182 *Eudonia murana* (Curtis,1827): TDS 2/0, SIS 1/1. D.
- 6193 *Eudonia truncicolella* (Stainton,1849): TDS 2/0, TEE ca.120 exx., SIS 0/1. DD.
- 6244 *Crambus silvellus* (Hübner,1813): TDS 1/1. (Blezyński, 1965, MP 1). Mongolia: Leleja, 2016.
- 6250a *Crambus sibiricus* Alpheraky,1897: SGS 2/0, SIS 1/0. (Blezyński, 1965, MP 1). Mongolia: Leleja, 2016.
- 6253 *Crambus perlellus* (Scopoli,1763): TAT 2 exx., TEE 0/1, SET 1 ex., SGS 2/0, SIS 3/0. D. (Blezyński,1965, MP 1). Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.
- 6258 *Agriphila tristella* (Denis&Schifferrmuller,1775): TAT 2 exx. (Blezyński, 1965, MP 1).
- 6265 *Agriphila aeneociliella* (Eversmann,1844): TBE 1/0, TDS 2/0. (Blezyński, 1965, MP 1). Mongolia: Leleja,2016.
- 6303 *Catoptria permiaca* (W.Petersen, 1924): TAT 1 ex., TDS 1/0, SDE 0/1, SGS 1/0. (Blezyński, 1965, MP 1).
- 6303a *Catoptria furciferalis* (Hampson,1909): SGS 2/0, SIS 1/0. (Blezyński, 1965, MP 1).
- 6341 *Xanthocrambus argentarius* (Staudinger,1867): TEE 5/0. (Blezyński, 1965, MP 1). Mongolia: Staudinger, 1892.
- 6348 *Chrysocramboides (Chrysocrambus) craterella* (Scopoli,1763): TBE 1/0, TEE 2/0. (Blezyński, 1965, MP 1).
- 6350 *Thisanotia chrysonuchella* (Scopoli,1763): TDS 1/0. Mongolia: Blezyński,1965, MP 1.
- 6355 *Pediasia luteella* (Denis&Schifferrmüller,1775): TEE 23/3, SIS 1/0. D. Mongolia: Blezyński, 1965, MP 1.
- 6364a *Pediasia radicivitta* (Filipjev,1927): TEE 1/0. GP3918/25LL. Mongolia: Blezyński,1965, MP 1.
- 6377a *Platytes ornatella* (Leech,1889): TDS 1/0, SHS 1/0, SIS 1/2. (Blezyński, 1965, MP 1).
- 6386a *Talis menetriesii* Hampson,1900: TAT 4 exx., TDS 2/2, TEE 9/0, SFE 1/0. Mongolia: Blezyński,1965, MP 1.
- 6492+ *Evergestis pechi* (Bethune-Baker,1885): TAT 1 ex.
- 6396+ *Scirpophaga xanthopygata* Schawerda,1922: SAT 1/0.
- 6499 *Evergestis extimalis* (Scopoli,1783). TDS 1/0, SIS 0/1. D. Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja 2016.
- 6532 *Udea costalis* (Eversmann,1852): TAT 1 ex., TDS 2/0. SDE 1/0, SGS 1/1, Mongolia: Kirpichnikova, 1990, IOM 11.
- 6543 *Udea inquinatalis* (Lienig&Zeller,1846): TDS 1/0, SIS 2/0.
- 6544 *Udea cyanalis* (deLaHarpe,1855): SIS 1/0. GP3896/25LL.
- 6563 *Anania (Opsitotys) fuscalis* (Denis & Schifferrmuller, 1775): TAT 1 ex., TDS 4/0, SGS 1/0, SHE 1/0, SIS 0/1. D. Mongolia: Kirpichnikova, 1990, IOM 11
- 6595 *Haematia (Pyrausta) cingulata* (Linnaeus,1767): TAT 1 ex., TEE 2/0, SCE 1/0. Mongolia: Leleja, 2016.
- 6601 *Pyrausta despicata* (Scopoli,1763): TAT 1 ex. Mongolia: Staudinger, 1892 (as *cespitalis* (Denis&Schifferrmuller,1775)) and Leleja, 2016.
- 6606 *Pyrausta ostrinalis* (Hübner,1796): TAT 1 ex, TBE 1/0, SBE 1/0. Mongolia?: Staudinger, 1892 (as *purpuralis* var. *kentealis* Staudinger, 1892)
- 6623 *Sitochroa palealis* (Denis&Schifferrmuller,1775): SAT 1 ex. Mongolia: Leleja, 2016.
- 6624 *Sitochroa verticalis* (Linnaeus,1758): TAT 1 ex., TDS 1/0, SHE 1/0. Mongolia: Staudinger, 1892 and Leleja, 2016.

Table 1. Origin of the earlier barcodings of the micros at our list this far: A) The 111 micros with a Palearctic or Holarctic zoogeographical distribution. B) The remaining 19 micros with an eastern Palearctic distribution.

Origin of the micros barcoded	A	B
	% (n)	% (n)
Mongolia*	2 (2)	-
Bordering provinces to Mongolia**	26 (29)	16 (3)
Eastern Palearctic further away	24 (27)	-
Nearest in Europe	41 (45)	-
No barcoding	7 (8)	84 (16)

* A) 1688 *Exaeretia mongolicella*, 5740 *Pima boisduvaliella*

** A) 27 from Russian Altai and 2 from Chinese provinces; B) 3381a *Oxypteryx altaicella*, 5230a *Dichrorampha altaica*, both from Russian Altai, and 5548a *Hellinsia mongolica* from Russian Burjatija. See also text.

Of the listed species 111/130 (85 %) have a Palearctic or even Holarctic zoogeographical distribution, and the remaining 19 an eastern Palearctic distribution. Five of these, *Ethmia mongolica*, *Aroga controvalva*, *Hellinsia mongolica*, *Acrobasis curvella* and *Catoptria furciferalis* only occur in Mongolia and further eastwards as well as *Staudingeria (Ancylosis) psammicola* only from Mongolia. Here we had a problem, as virtually nothing could be found in the literature about the biology of the latter "far east" group of six species, or about five of the remaining 13 species of the eastern Palearctic group. Therefore, we are able to suggest only three species with steppe or semidesert living habitat: *Pelochrista muhabbet* (= *chanana*) and *Pelochrista arabescana* (Kuznetsov et al. 1998), as well as *Agonopterix abditella*, and only one mountain species, *Merifieldia caspius*. Our highest collecting locality was at Tuv: Khadag Tour "Alp" at a height of 1820 m, perhaps not high enough to catch the species residing in the highest mountain elevations.

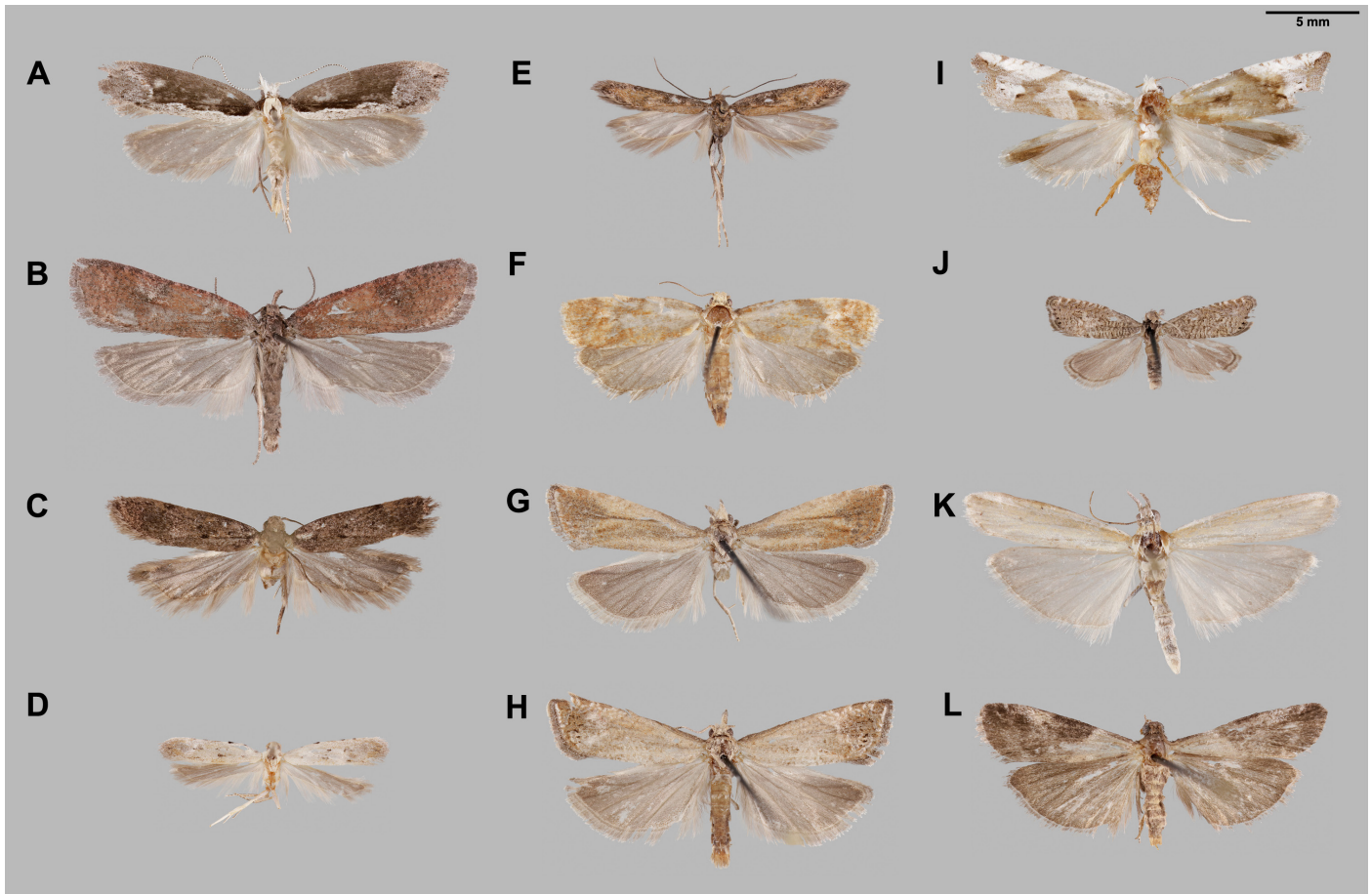


Fig. 3. Twelve Mongolian micros (digitalization codes see the list of species). A) *Ypsolopha leuconotella*; B) *Exaeretia hepatoriella*; C) *Aroga controvalva*; D) *Ephysteris insulella*, E) *Caryocolum mongolense*; F) *Clepsis aerosana*; G) *Pelochrista muhabbet*; H) *Pelochrista latericiana*; I) *Eucosma tundrana*; J) *Dichrorampha altaica*; K) *Pima tabulella* and L) *Acrobasis curvella*. Photos Pekka Malinen.

We also screened the distribution of earlier barcoded material of our 130 micros from the BOLD v4 (<https://v4.boldsystems.org/index.php/PublicBarcodeIndexNumber> Home). The results are in Table 1: A) for the 111 micros with Palearctic or Holarctic zoogeographical distribution and B) for the remaining 19 micros with eastern Palearctic distribution. Especially we wish to point out the frequent use of barcoding in materials from Russian Republic of Altai near the north-westernmost tip of Mongolia. This "hot spot" accentuated especially among our 20 Palearctic Gelechiid micros, of which 10 were barcoded there (see eg. Huemer et al. 2013). Very little barcoding exists anywhere from the 19 eastern Palearctic micros.

Finally, we have dozens of partly determined micros in groups Gracillarioidea, Elachistinae, Scythrididae, Coleophoridae, Gnorimoschemini and Phycitini. We will return, if we eventually find the correct species names for them.

Discussion

This paper certainly has a European touch. We have been trained with European micro materials, our bookshelves are 90 % full of European books, and even the Lepidopteran material in internet has quite often a European source. Therefore, we devoted much work to secure that the additional northern (Sinev,

2019) and eastern micros (Leleja, 2016) should not avoid our attention. The main problem here was that many new species and their descriptions by Russian or Soviet authors were unavailable. Information from southern micros of the border between Mongolia and China was quite sparse and often unreadable. Maybe these southern species, and perhaps also endemic Mongolian species, are underrepresented in our paper. So, we did not try to make a comprehensive list of Mongolian micros. However, a list of 130 Mongolian micros is the most extensive we have found from the literature thus far. There are many reasons for this. Earlier, the authors concentrated on macrolepidoptera and micros were just an appendix. Later, they took a Family, e.g. Tortricidae, and made very good job on them, or even worked with the "giant" genera such as *Elachista*, *Coleophora*, *Scythris*, *Scrobipalpa* or *Homoeosoma*, again with respectable results. But the more primitive a micro family is or the smaller the species are in it, the thinner and more uneven the literature is. Virtually nobody has tried to cover all the micro families. But we did our best.

We would have liked to use more GPs and determination by DNA, but for such an extensive material it was a question of resources. However, we have a dream. Mongolia is almost an empty box in using barcodes. It would be very interesting to start from scratch and sort the Mongolian micros from fresh

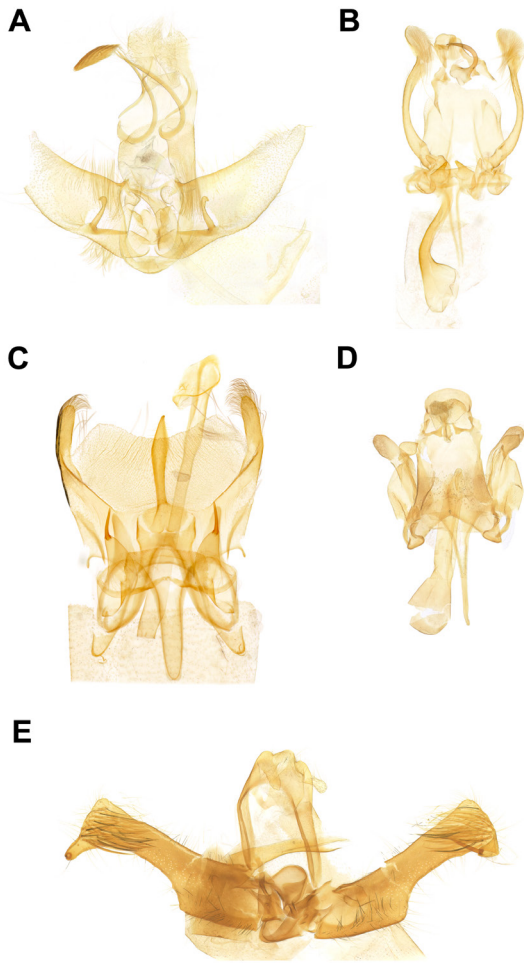


Fig. 4. Five pictures of male genitalia. (A) *Agonopterix abditea*; (B) *Ephysteris insulella*; (C) *Aroga controvalva*; (D) *Caryocolum mongolense* and (E) *Pelochrista muhabbet*. Photos Pekka Malinen.

materials primarily via barcoding into phylogenetic clusters, and then, as a kind of reversed approach, test if the human eye can find morphological differences between those isolated molecular clusters. The challenge for such an effort is to find the required resources.

Acknowledgements

We wish to thank all the participants of the expedition for an excellent cooperation and detailed information of all local and other aspects. We thank Dir., Dr. Ishgen Budbayar from the Natural History Museum in Ulaanbaatar for his help and wise advice to the expedition. Our sincere thanks go to Jaakko Kullberg for determining of many Pekka Tokolas micros. Juho Paukkunen and Pekka Malinen from the Zoological Museum Luomus deserve our warmest thanks for their help in the literature and photos. Finally, we thank Pekka Alestalo for the loan of his micro books from the Far East.

References

Arenberger, E. 1995: Pterophoridae, 258 pp., 153 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor F. & Reisser, H. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 9. Karlsruhe, 258 pp.
 Arenberger, E. 2002: Pterophoridae II, 287 pp., 96 Tables. – In Series: Gaedike, R. (Ed.): Microlepidoptera Palearctica 11. Keltern, 287 pp.
 Arenberger, E. 2005: Pterophoridae III, 191 pp., 50 Tables. – In Series: Gaedike,

R. (Ed.): Microlepidoptera Palearctica 12. Keltern, 191 pp.
 Bengtsson, B. Å. 2016: Anmärkningsvärda fynd av småfjärilar (Microlepidoptera) i Sverige 2015 (in Swedish). Entomologisk Tidskrift 137 (1-2), 13-30.
 Bidzilya, O. & Nupponen, K. 2018: New species and new records of gelechiid moths (Lepidoptera, Gelechiidae) from southern Siberia. Zootaxa 4444 (4) 381-408.
 Bleszynski, S. 1965: Crambinae, 559 pp., 133 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor, F. & Reisser, H. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 1. Wien, 559 pp.
 Buchner, P. & Sumpich, J. 2020: Depressariidae (Lepidoptera) of the Russian Altai Mountains: new species, new records and updated checklist. Acta Entomologica Praga 60 (1), 201-244.
 Emelyanov, I. M. & Piskunov, V. I. 1982: New data on the fauna of the gelechiid and anarsiid moths (Lepidoptera, Gelechiidae, Anarsiidae) of Mongolia, the USSR and North China pp. 366-407 (in Russian, no summary in western languages). – In: Kershner, I. M. (Ed.): Nasekomye Mongolii Vyipusk 8. Insects of Mongolia Yearbook Number 8, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 576 pp.
 Falkovitsch, M. I. 1981: Epermeniidae pp. 431-445 (in Russian, no summary in western languages) – In: Medvedeva, G.S. (Ed.): Opredelitel' Nasekomyh Europeiskoi Tsasti SSSR, Tom IV, Theshuekrylye, vtoraja tsast, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 788 pp. (Lepidoptera of the European parts of Soviet Russia, part 2).
 Gilligan, T. M. & Wright, D. J. 2012: Revised world Catalogue of Eucopina, Eucosma, Pelochrista and Phaneta (Lepidoptera: Tortricidae: Eucosmini). Zootaxa 3746 (2) 301-337.
 Gregersen, K. & Karsholt, O. 2022: The Gelechiidae of North-West Europe. – Norwegian Entomological Society, Oslo. 939 pp.
 Huemer, P., Elsner, G. & Karsholt, O. 2013: Review of the *Eulamprotes wilkella* species-group based on morphology and DNA barcodes, with descriptions of new taxa. Zootaxa 3746 (1) 69-100.
 Ivinskis, P. P. 1990: Data on the fauna of the pyralid moths (Lepidoptera, Pyraloidea, Crambidae, Phycitidae, Pyraustidae) of Mongolia pp. 327-339 (in Russian, no summary in western languages). – In: Kerzhner I. M. and Korotjaev, B. A. (Eds.): Nasekomye Mongolii, Vyipusk 11. Insects of Mongolia Yearbook Number 11, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 624 pp.
 Karsholt, O. & Razowski, J. 1996: The Lepidoptera of Europe. A distributional checklist. – Apollo Books, Stenstrup. 380 pp.
 Kirpichnikova, V. A. 1990: Ergebnisse der zoologischen Forschungen von Dr. Z. Kaszab in der Mongolei pp. 317-26 (in Russian, no summary in western languages). – In: Kerzhner, I. M. and Korotjaev, B. A. (Eds.): Nasekomye Mongolii, Vyipusk 11. Insects of Mongolia, Yearbook Number 11, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 624 pp.
 Koster, S. & Sinev, S. Y. 2003: Momphidae s.l.: Momphidae, Batrachedridae, Stathmopodidae, Agonoxenidae, Cosmopterigidae, Chrysopeliidae. – Apollo Books, Stenstrup. 387 pp.
 Kostjuk, J. A. 1975: On the study of Lepidoptera from Tuva and north-western Mongolia (Tortricidae). Communication II, pp. 395-407 (in Russian, no summary in western languages). – In: Emeljanov, A. F., Kershner, I. M., Kozlov, M. A. and Tsogomzov, L. (Eds.): Nasekomye Mongolii Vyipusk 3. Insects of Mongolia Yearbook Number 3, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 676 pp.
 Kullberg, J., Filippov, B. Y., Zubrij, N. A. & Kozlov, M. V. 2013: Faunistic notes on Lepidoptera collected from arctic tundra in European Russia. Nota lepid. 36 (2): 127-136.
 Kuznetsov, V. I. 1975: On the fauna of leaf-rollers (Lepidoptera, Tortricidae) of Mongolia, pp. 408-437 (in Russian, no summary in western languages). – In: Emeljanov, A. F., Kerzhner, I. M., Kozlov, M. A. and Tsogomzov, L. (Eds.): Nasekomye Mongolii Vyipusk 3. Insects of Mongolia Yearbook Number 3, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 676 pp.
 Kuznetsov, V. I. 1978: Tortricidae pp. 193-680 (in Russian, no summary in western languages) – In: Medvedeva, G. S. (Ed.): Opredelitel' Nasekomyh Europeiskoi Tsasti SSSR, Tom IV, Theshuekrylye, pervaja tsast, "Nauka" Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 742 pp. (Lepidoptera of the European parts of Soviet Russia part 1).
 Kuznetsov, V. I., Jalava, J. & Kullberg, J. 1998: The leafrollers (Lepidoptera, Tortricidae) of Western Tuva. Entomol. Fennica 9:197-209.
 Laasonen, E. M. & Laasonen, L. 1995: *Endothenia oblongana* and *E. marginana* (Lepidoptera, Tortricidae) in Finland, with description of a new subspecies. Entomol. Fennica 5: 189-196.
 Leleja, A. C. 2016 Annotirovannyi katalog nasekomyh Dalnevo Vostoka Rossii. Part II, Lepidoptera – Dalnauka, Vladivostok, 812 pp. (in Russian, short summary in English. Russian Far East).

- Li, H & Zheng, Z. 1998: Two new species of the genus *Aroga* from China. Acta Entomologica Sinica 41(1) 85-89 (in Chinese, with summary in English).
- Nedoshivina, S. V. 2016: Leafroller Moths of the tribe Olethreutini (Lepidoptera, Tortricidae, Olethreutinae) of Russia (in Russian, summary in English of 18 selected species). – “Korporaciya Technology Provizheniya” Publishing, Uljanovsk, 328 pp.
- Piskunov, V. I. 1979: On the fauna of gelechiid moths (Lepidoptera, Gelechiidae) of Mongolia and Tuva. pp. 394-403 (in Russian, no summary in western languages). – In: Kershner, I. M. (Ed.): Nasekomye Mongolii Vyipusk 6. Insects of Mongolia Yearbook Number 6, “Nauka” Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 512 pp.
- Piskunov, V. I. 1990: Second addition to the fauna of gelechiid moths (Lepidoptera, Gelechiidae) of Mongolia pp. 286-316 (in Russian, no summary in western languages). – In: Kerzhner, I. M. and Korotjaev, B. A. (Eds.): Nasekomye Mongolii, Vyipusk 11. Insects of Mongolia Yearbook Number 11, “Nauka” Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 624 pp.
- Razowski, J. 1966: The Tortricoidea (Lepidoptera) from Mongolia. Ann. Zool. (Warz.) 23:21, 495-507.
- Razowski, J. 1970: Cochylidae, 528 pp., 161 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor F. & Reisser, H. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 3. Wien. 528 pp.
- Razowski, J. 1984: Tortricini, 376 pp., 101 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor F., Reisser, H. & Roesler, R-U. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 6. Karlsruhe. 376 pp.
- Razowski, J. 2003: Tortricidae (Lepidoptera) of Europe. Volume 2: Olethreutinae. – Frantisek Slamka, Bratislava, 301 pp.
- Roesler, R. U. 1973: Trifina, Acrobasiina, 752 pp., 170 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor, F. & Reisser, H. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 4. Wien, 752 pp.
- Roesler, R. U. 1993: Phycitinae 305 pp., 82 Tables. – In Series: Amsel, H. G., Gregor, F., Reisser, H. & Roesler, R. U. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 8. Karlsruhe, 305 pp.
- Sattler, K. 1965: Ethmiidae, 185 pp., 106 Tables. – In: Amsel, H. G., Gregor, F. & Reisser, H. (Eds.): Microlepidoptera Palearctica 2. Wien, 185 pp.
- Sinev, S. J. (Ed.) 2019: Catalogue of the Lepidoptera of Russia. Second Edition – Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Sankt-Petersburg, 448 p (in Russian, no summary in western languages).
- Staudinger, O. 1892: Lepidopteren des Kentei-Gebirges. Deutsche Entomologische Zeitschrift Iris 5(2), 300-393.
- Sukhareva, I. L. 1978: Zygaenidae pp. 142-156 (in Russian, no summary in western languages) – In: Medvedeva, G. S. (Ed.): Opredeletelj Nasekomyh Europeiskoi Tsasti SSSR, Tom IV, Theshuekrylye, pervaja tsast, “Nauka” Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 742 pp. (Lepidoptera of the European parts of Soviet Russia, part 1).
- Sumpich, J. Huemer, P. & Bidzilya, O. 2020: Review of Caryocolum (Lepidoptera, Gelechiidae) from the Russian Altai with description of two new species. Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae 60(1) 65-79.
- Tokar, Z., Lvovsky, A. & Huemer, P. 2005: Die Oecophoridae s.l. (Lepidoptera) Mitteleuropas. – Frantisek Slamka, Bratislava, 120 pp.
- Wikström, B., Huemer, P., Mutanen, M., Tyllinen, J. & Kaila, L. 2020: *Pyalis cardinalis*, a charismatic new species related to *P. regalis* (Denis & Schiffermüller, 1775), first recognized in Finland (Lepidoptera, Pyralidae). Nota lepid. 43, 337-364.
- Zaguljajev, A. K. 1972: True moths (Lepidoptera, Tineidae) from the Mongolian People's Republic, pp. 681-686 (in Russian, no summary in western languages). – In: Emeljanov, A. F., Kerzhner, I. M. and Tsogomzov, L. (Eds.): Nasekomye Mongolii, Vyipusk 1. Insects of Mongolia Yearbook Number 1, “Nauka” Leningradskoje Otdelenie, Leningrad, 864 pp.
- Zhang, A. H. & Li, H. H. 2005: Catalogue of Eucosmini from China 1 (Lepidoptera: Tortricidae). SHILAP Revta lepid. 33(131), 265-298.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ephysteris_insulella. Visited 06.01.2026.

https://v4.boldsystems.org/index.php/Public_BarcodeIndexNumber_Home, Visited 25.02.2026

