Miért csíkos a zebra, és mi a haszna a tehenek tarkafoltosságának?

Horváth Gábor
Környezetoptika Laboratórium, Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, ELTE, Budapest

A zebracsíkok feltételezett funkciói

(1) Látszólagos méretnövekedés (Cott 1966, Cloudsley-Thompson 1984, Vaughan 1986, Morris 1990)

(2) Gyér fénybeli csökkent láthatóság (Galton 1851, Kipling 1908, Cott 1966, Cloudsley-Thompson 1984, McLeod 1987, Morris 1990)

(3) Ragadozók mozgó csíkok általi elkápráztatása (Cott 1957, Kruuk 1972, Eltringham 1979, Morris 1990)

(4) Optikai rejtőzés (Wallace 1867, 1879; Darwin 1871, Thayer 1909, Marler & Hamilton 1968)

(5) Szociális hasznok az egyedi csíkmintázat miatt (Cloudsley-Thompson 1984, Kingdon 1984, Becker & Ginsberg 1990, Morris 1990, Prothero & Schoch 2003)

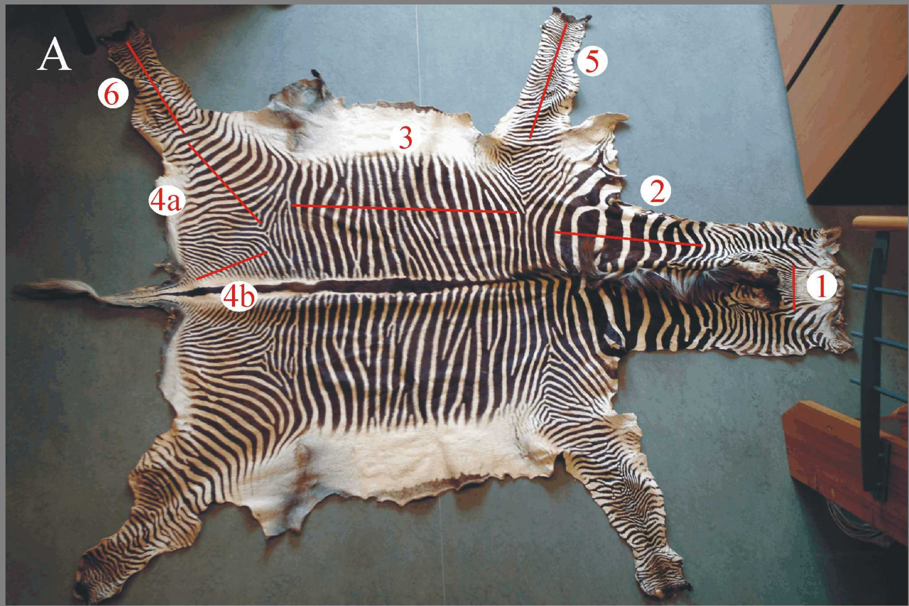
(6) Álomkórt terjesztő cecelegyek elleni vizuális védelem (Harris 1930, Vale 1974, Waage 1981, Jordan 1986, Foil 1989, Estes 1992, Gibson 1992)

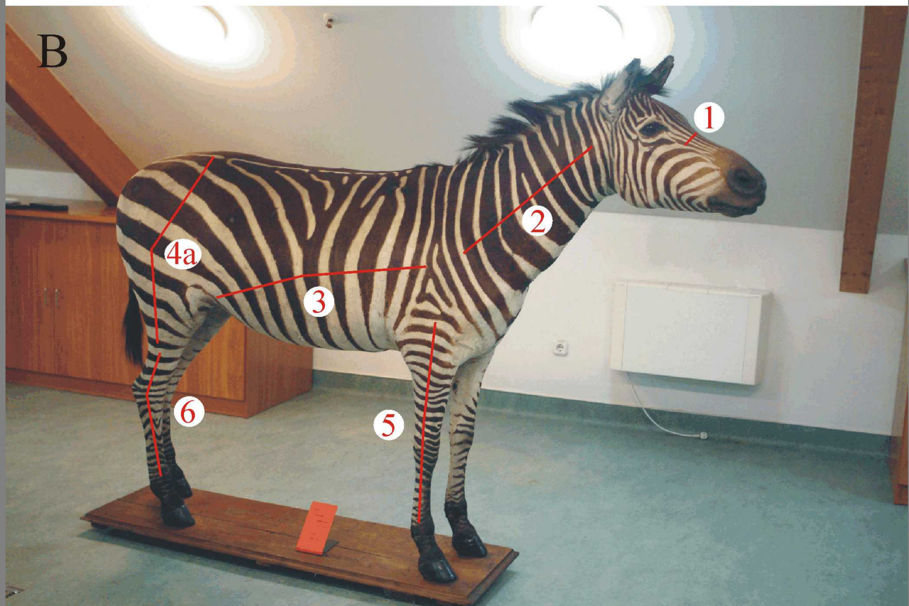
(7) Rátermettség vizuális jelzése (Ruxton 2002)

(8) Hőszabályozás (Cloudsley-Thompson 1984, Kingdon 1984, Morris 1990, Louw 1993)

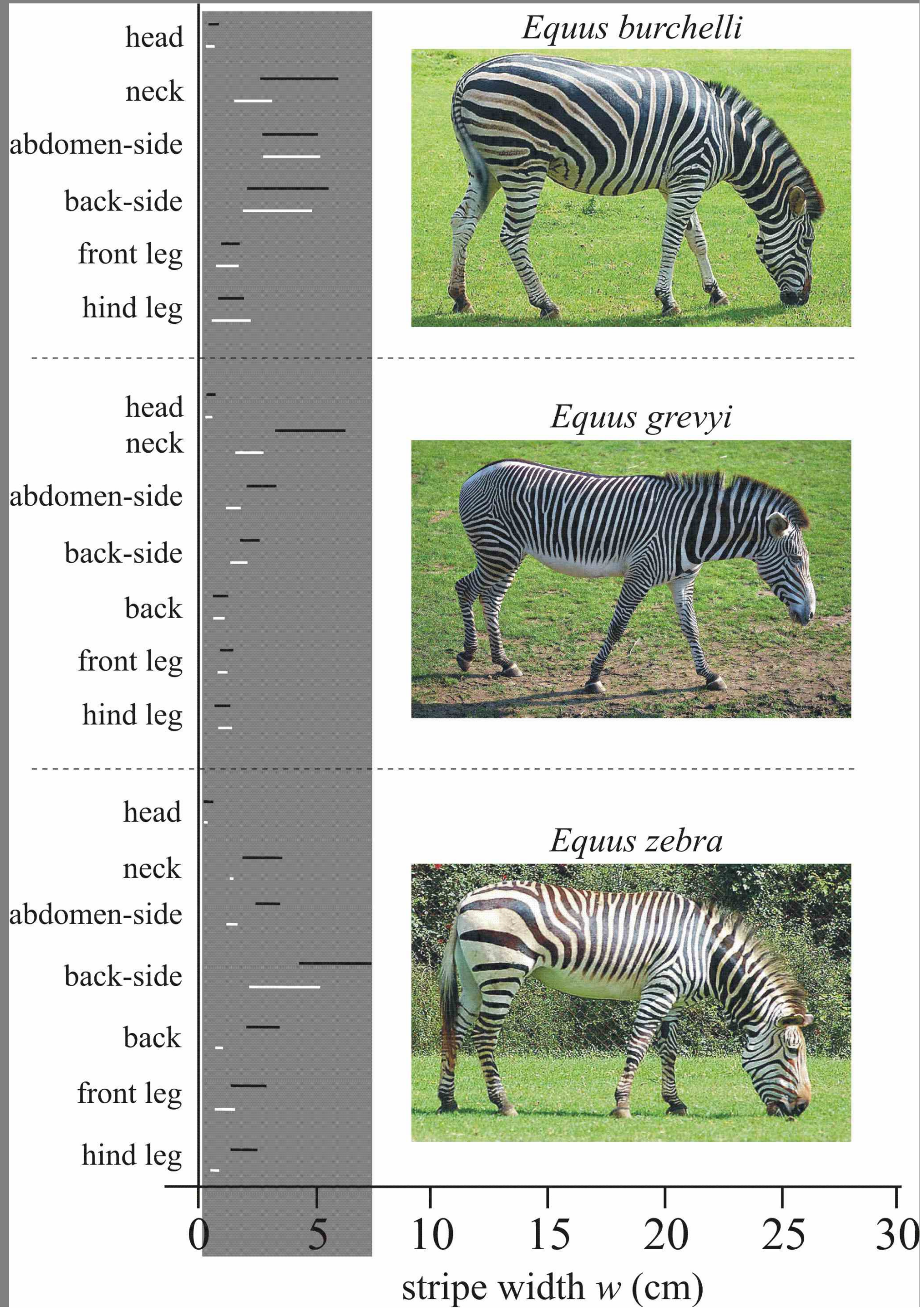
(9) A súlyos betegségek kórokozóit vérszívásukkal terjesztő böglyök elleni védelem
(G. Horváth *et al*. 2011, az egyetlen, kísérletileg bizonyított magyarázat)

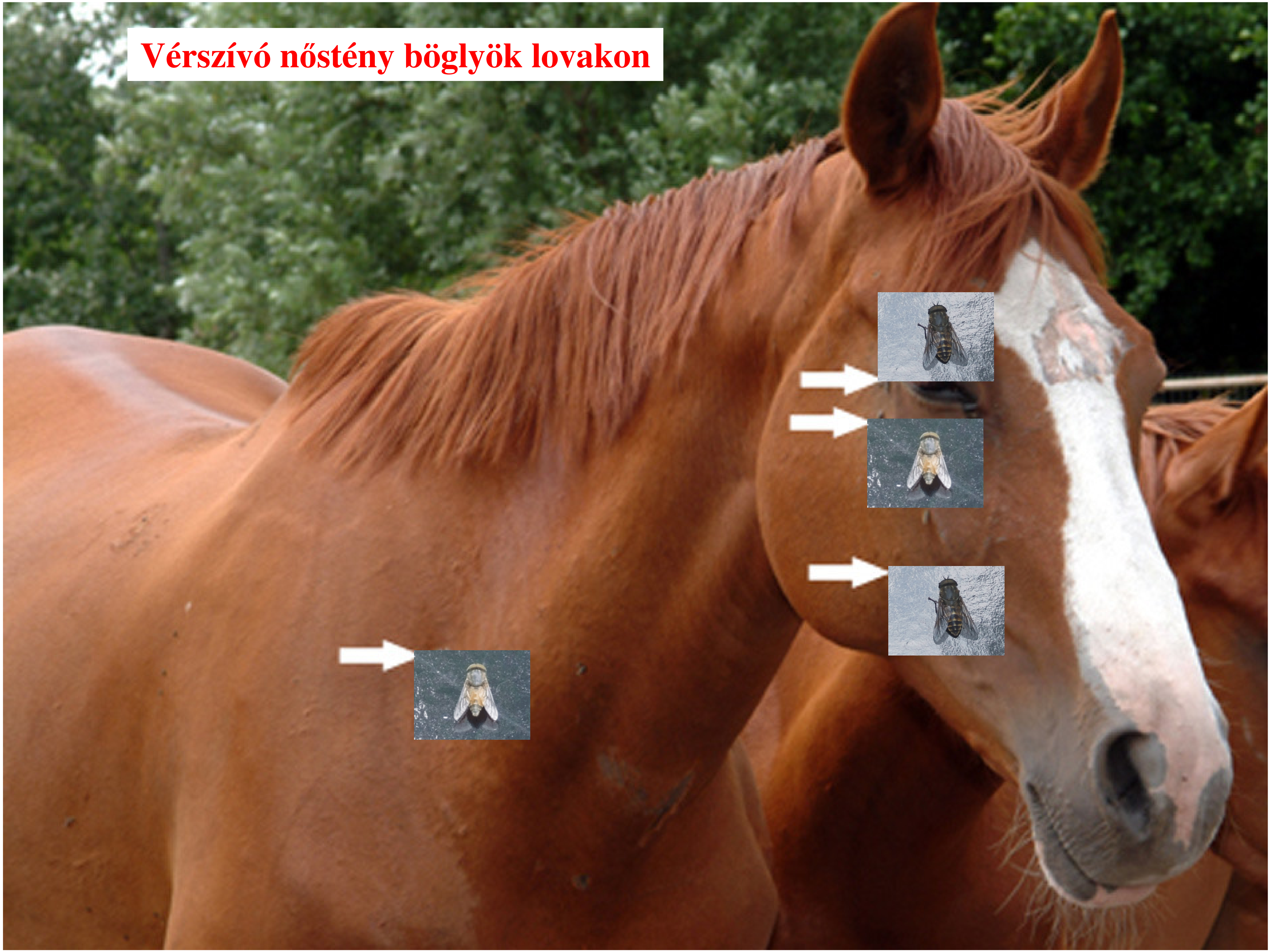
Zebracsíkok mérése





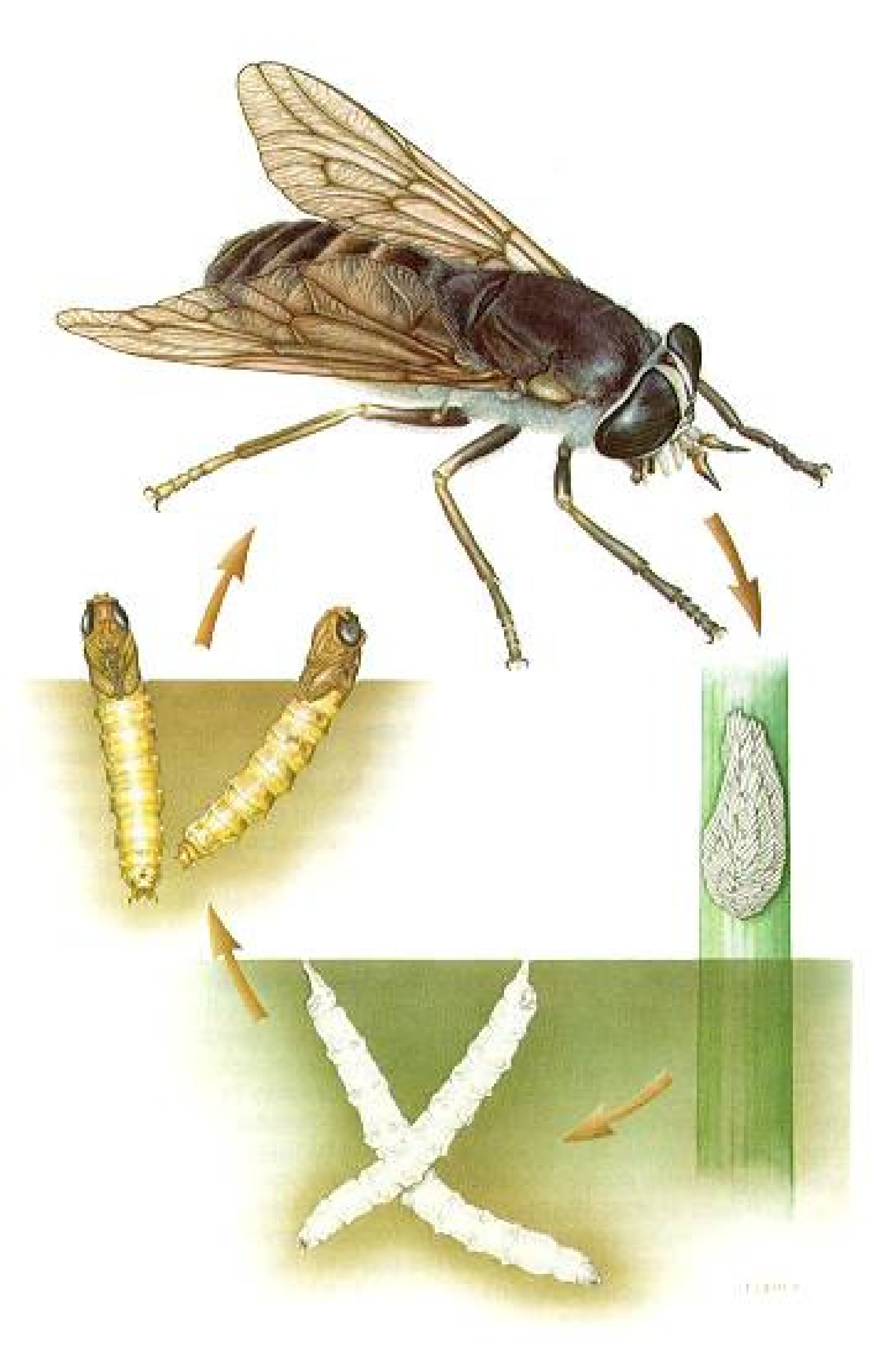
A zebrák csíkszélességének testfelületi eloszlása




Vérszívó nőstény böglyök lovakon

Lovak tipikus reakciói a böglyök támadásaival szemben

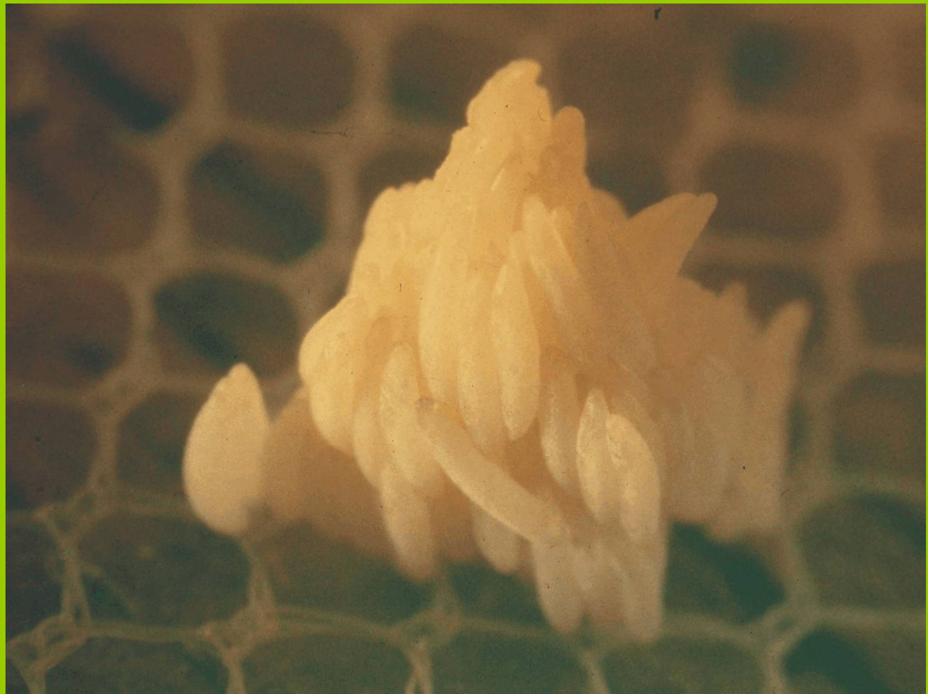
Egy bögöly (legalul) vérszívásakor legyek csoportosulnak köréje, hogy ők is lakmározhassanak a kicsorduló vércseppből.



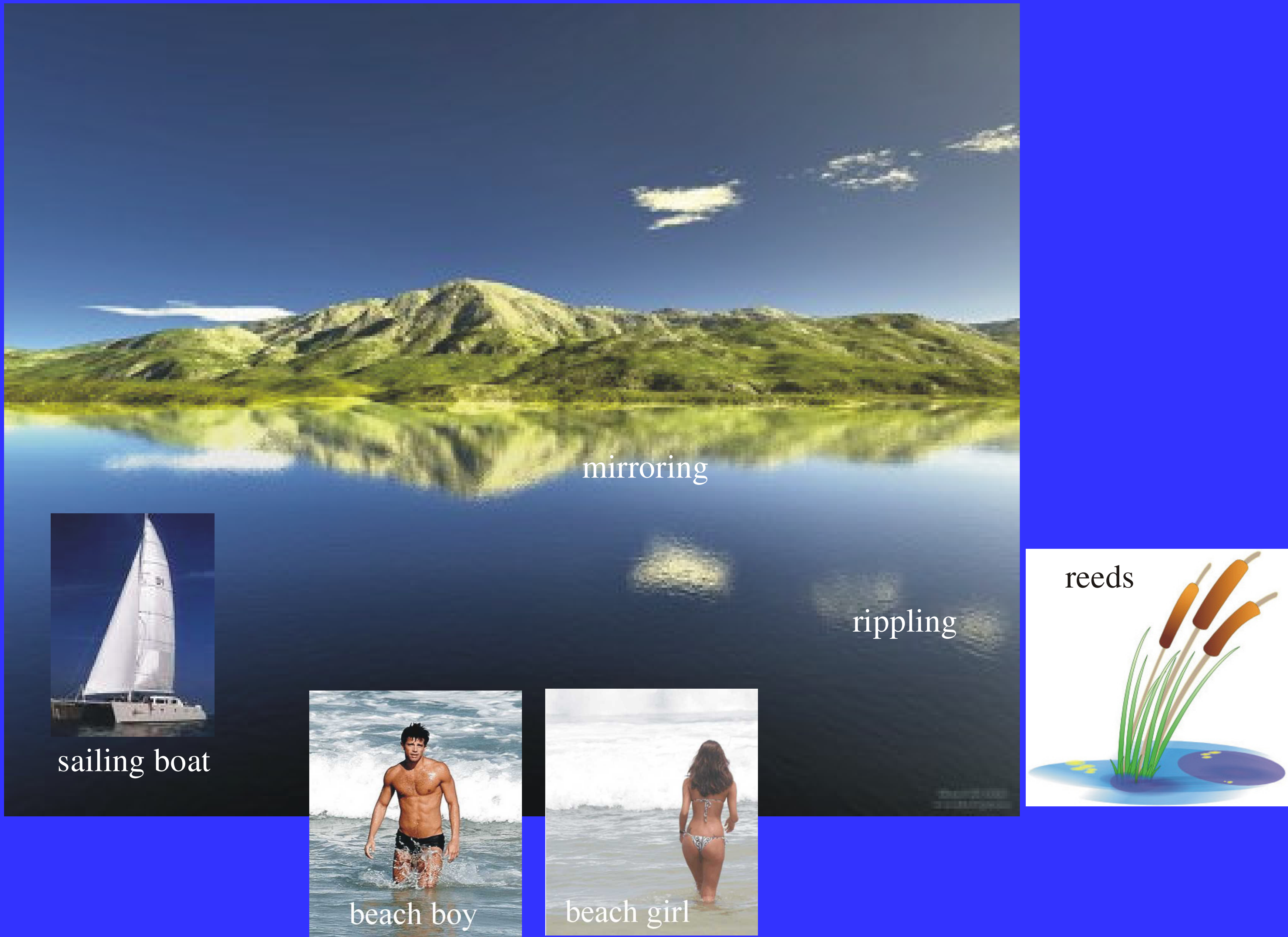
A böglyök vízhez kötődő életciklusa

Bögöly petecsomója vízfelszín fölé hajló békabuzogány levelének fonákján.

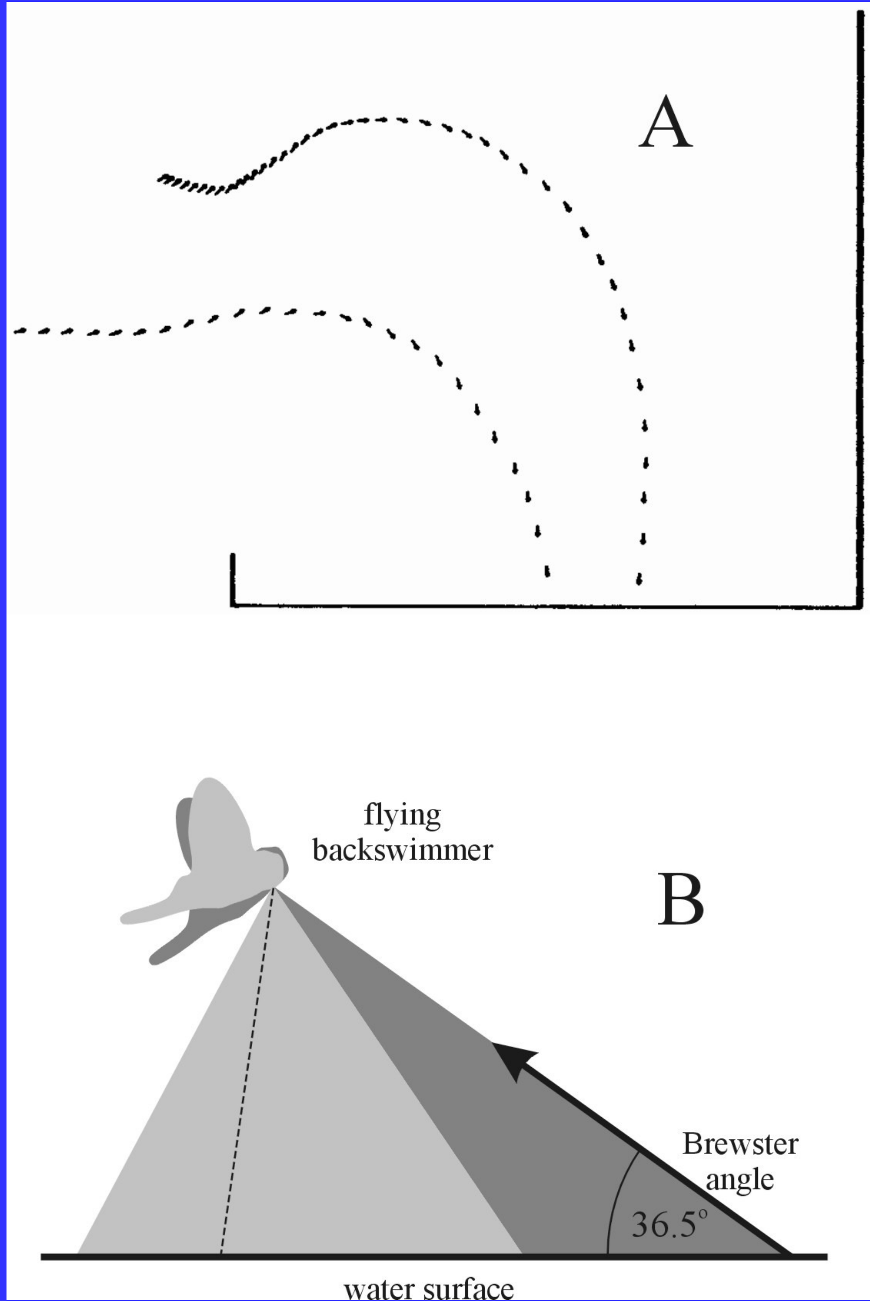
Böglyök petecsomója, lárvája és kifejlett egyedei



Vízfelszín ember általi vizuális érzékelése

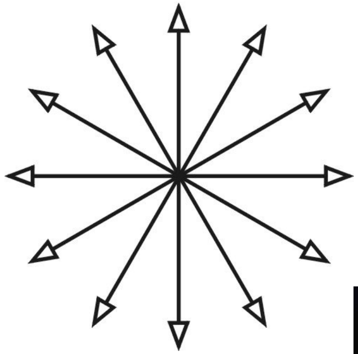


A vízirovarok polarotaktikus vízdetekciója

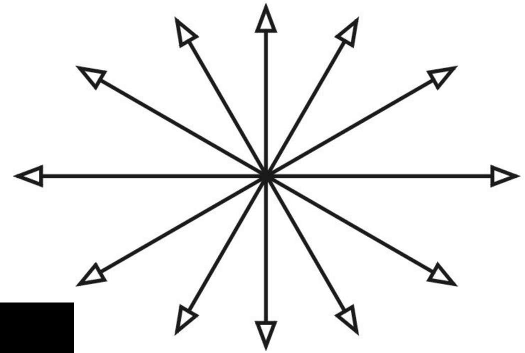


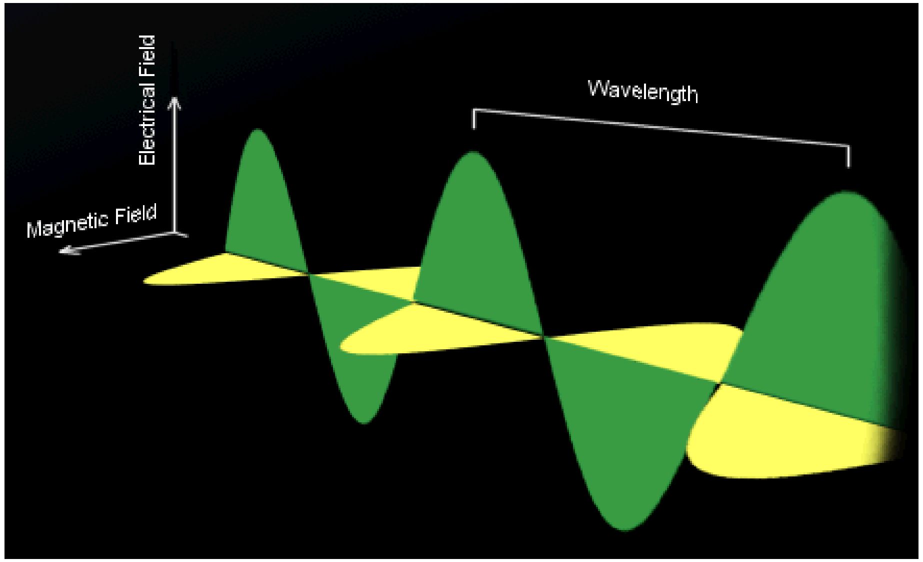
A fény polarizációja

polarizálatlan

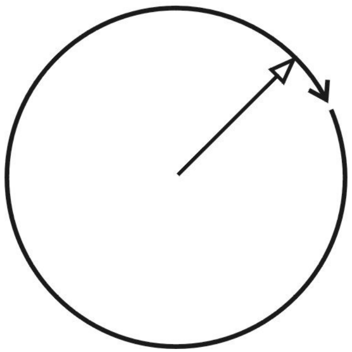


részlegesen lineárisan poláros

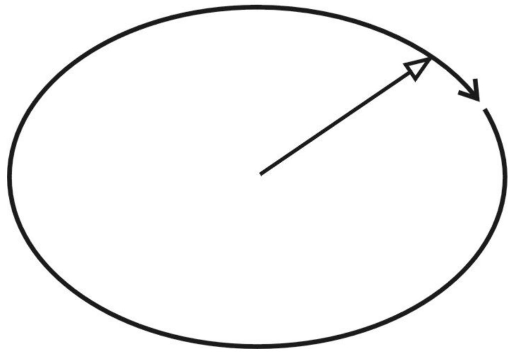




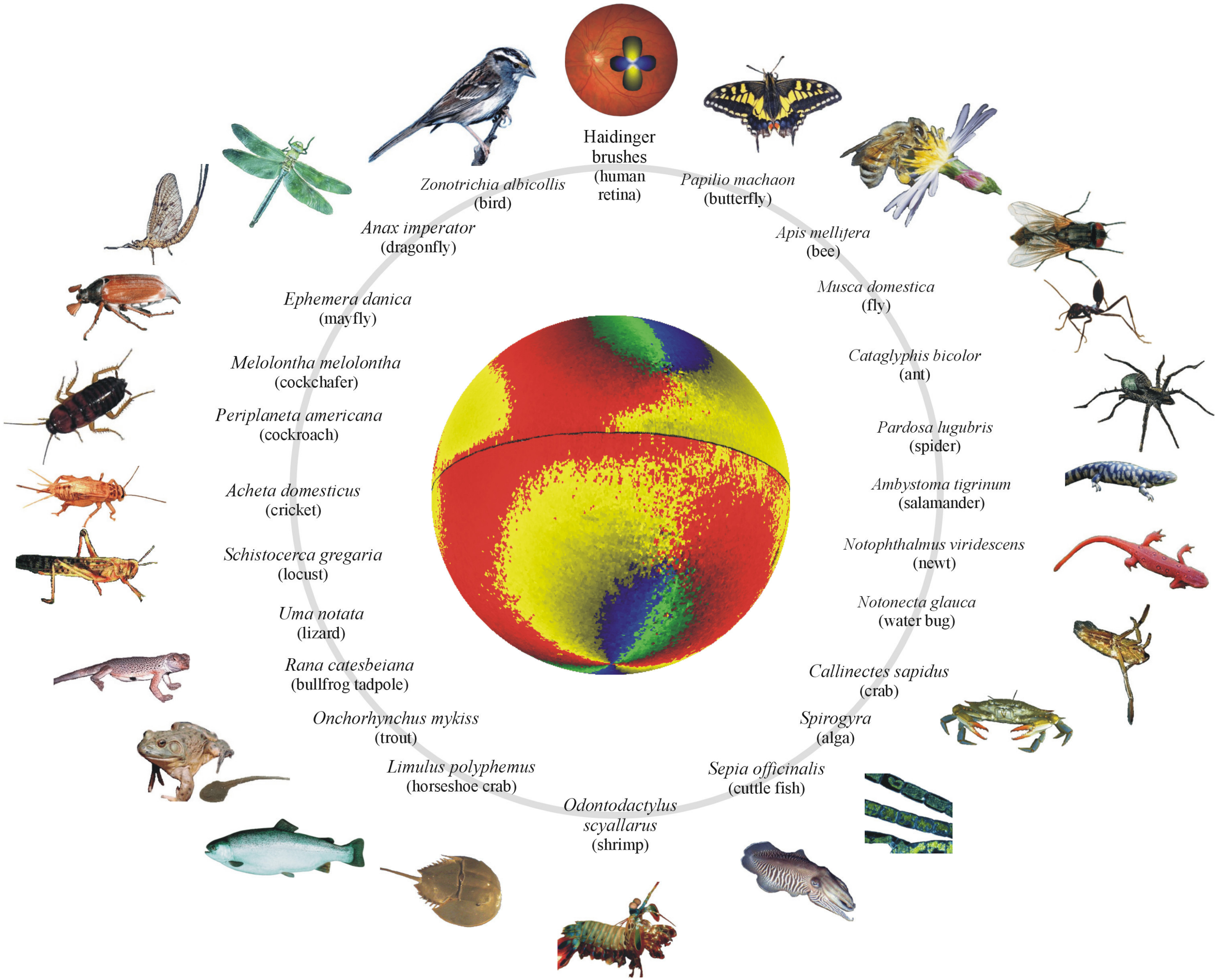
cirkulárisan poláros



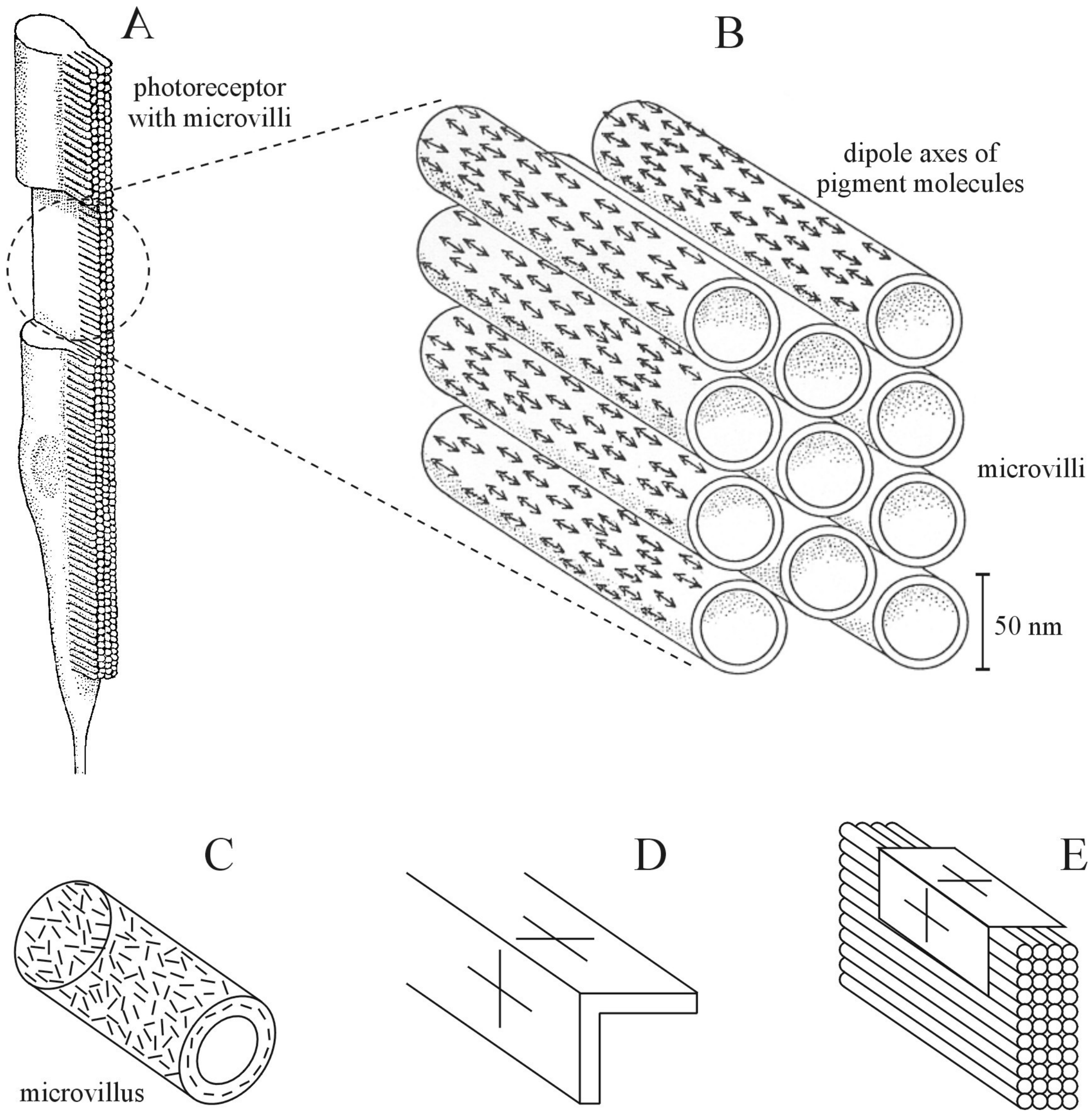
elliptikusan poláros



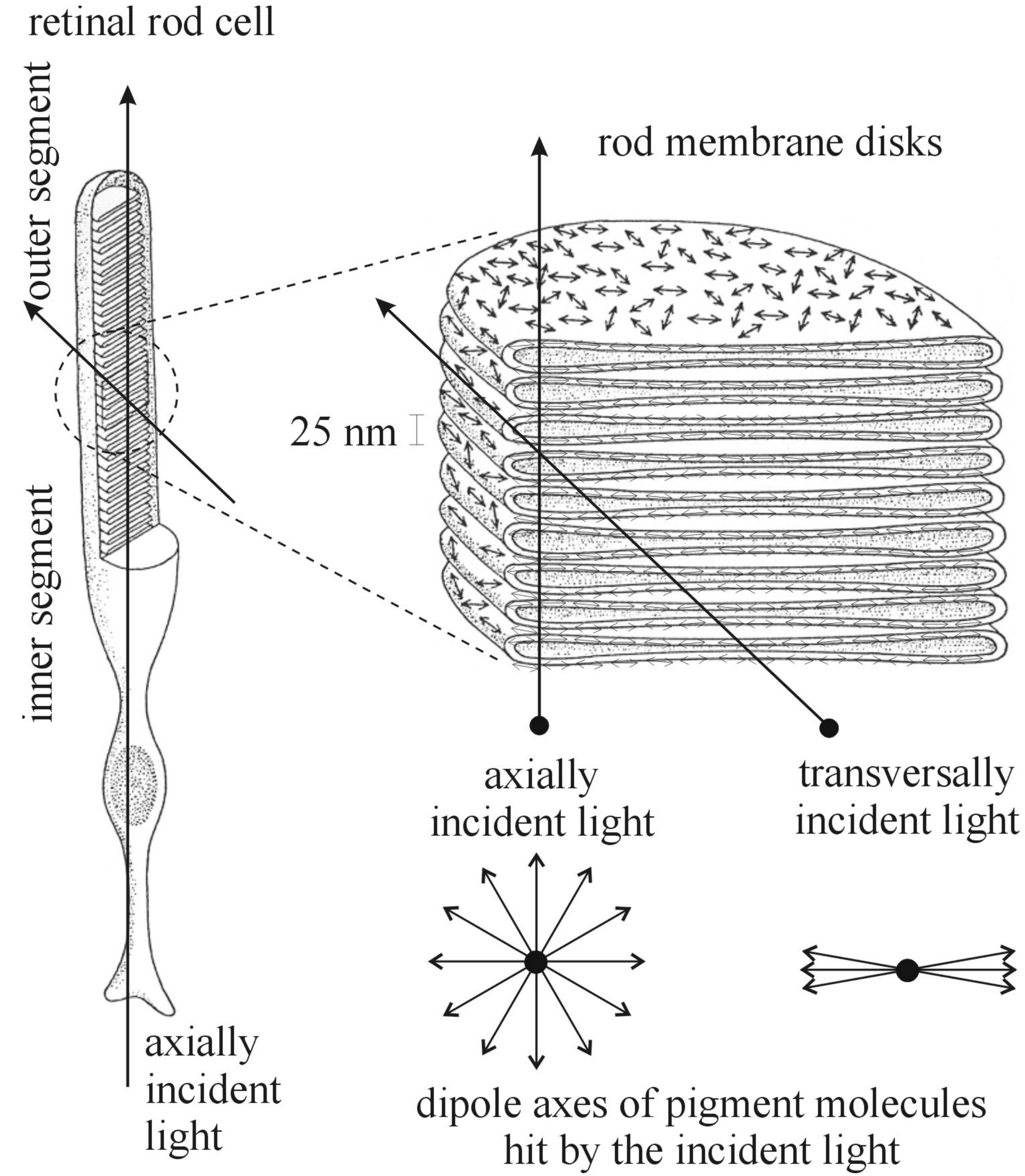
Polarizációlátású állatok



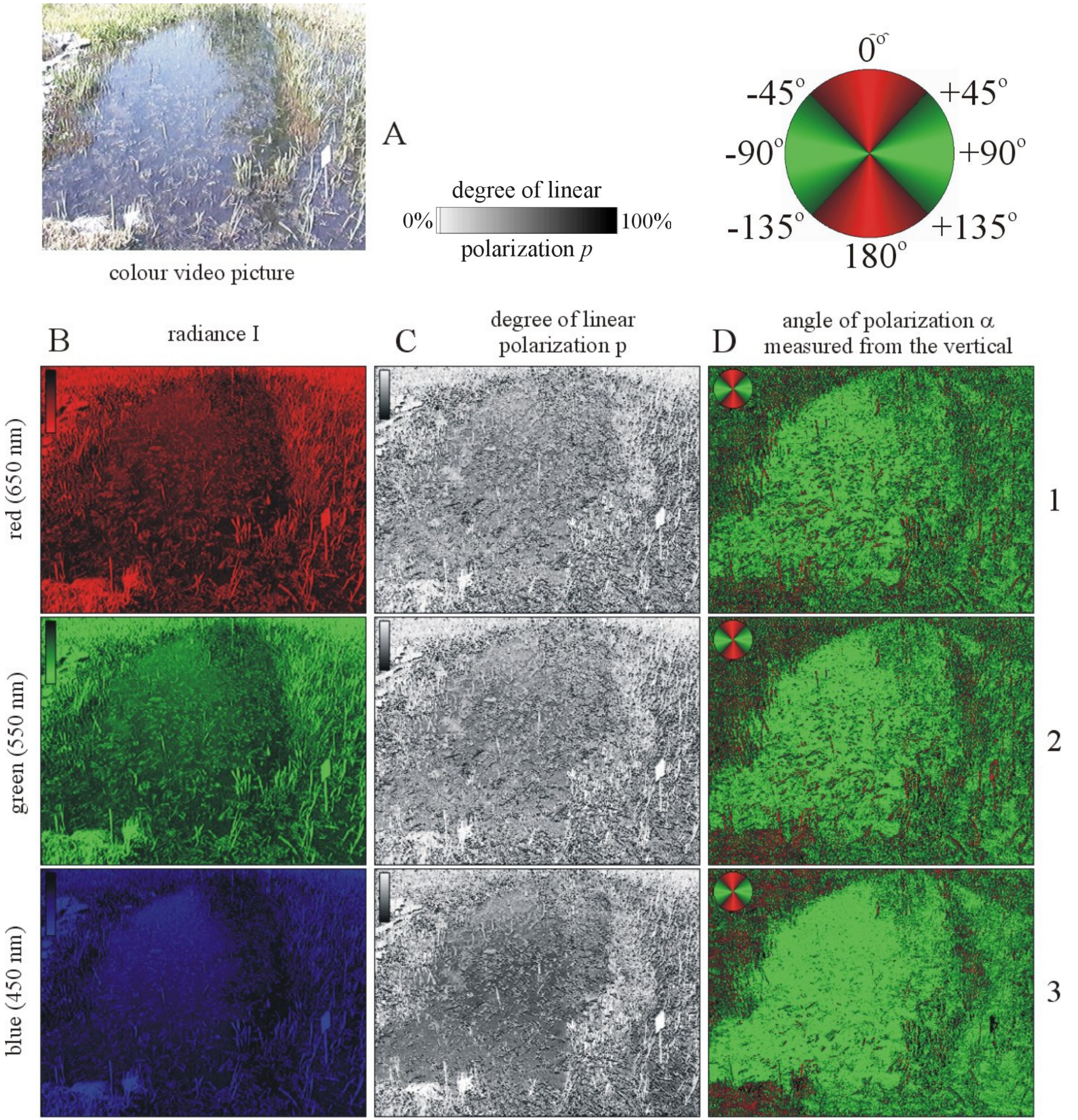
Miért érzékenyek a fénypolarizációra az ízeltlábúak fotoreceptorai?



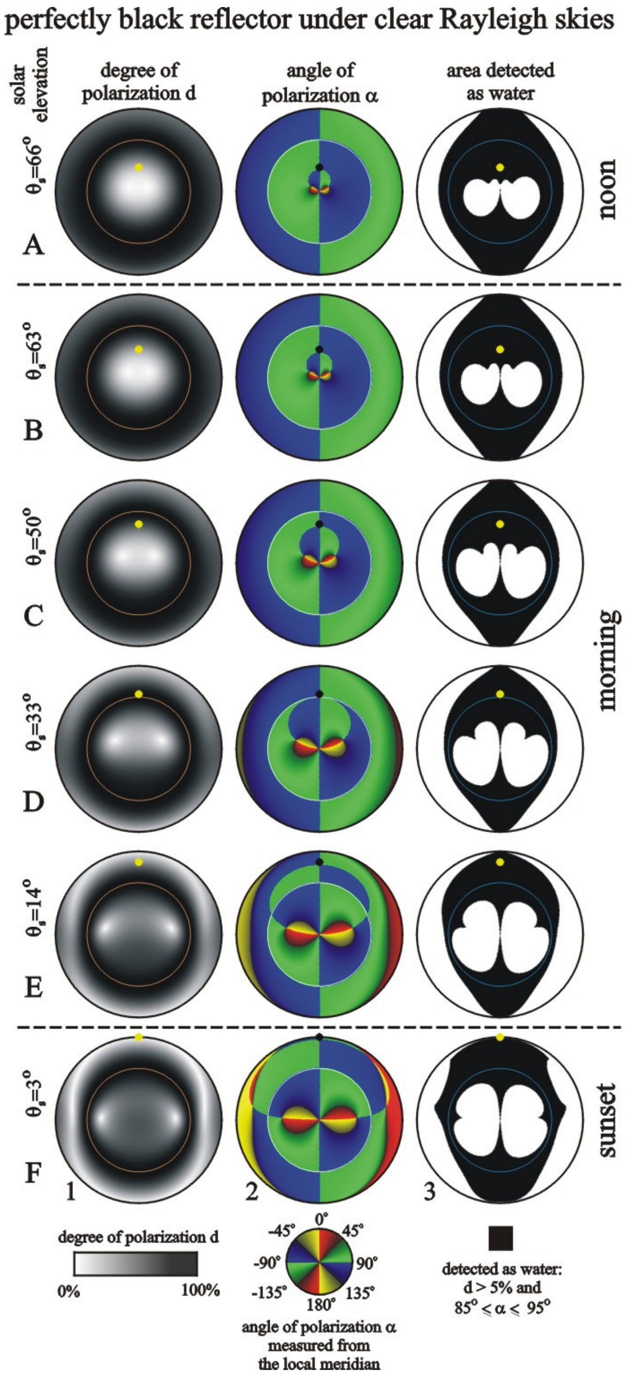
Miért érzéketlenek a fénypolarizációra az emlősök fotoreceptorai?



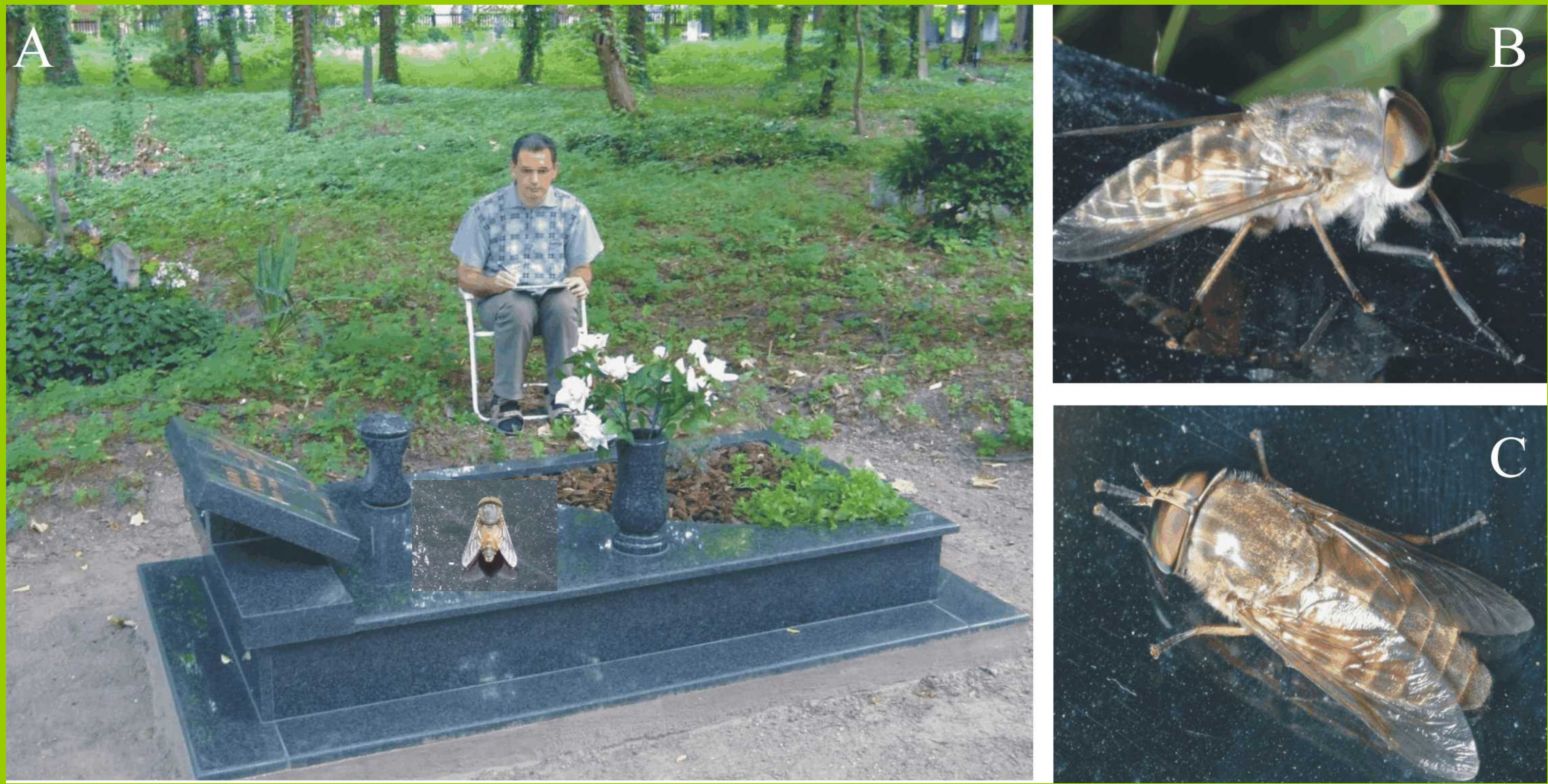
Sötét víztest polarizációs mintázatai



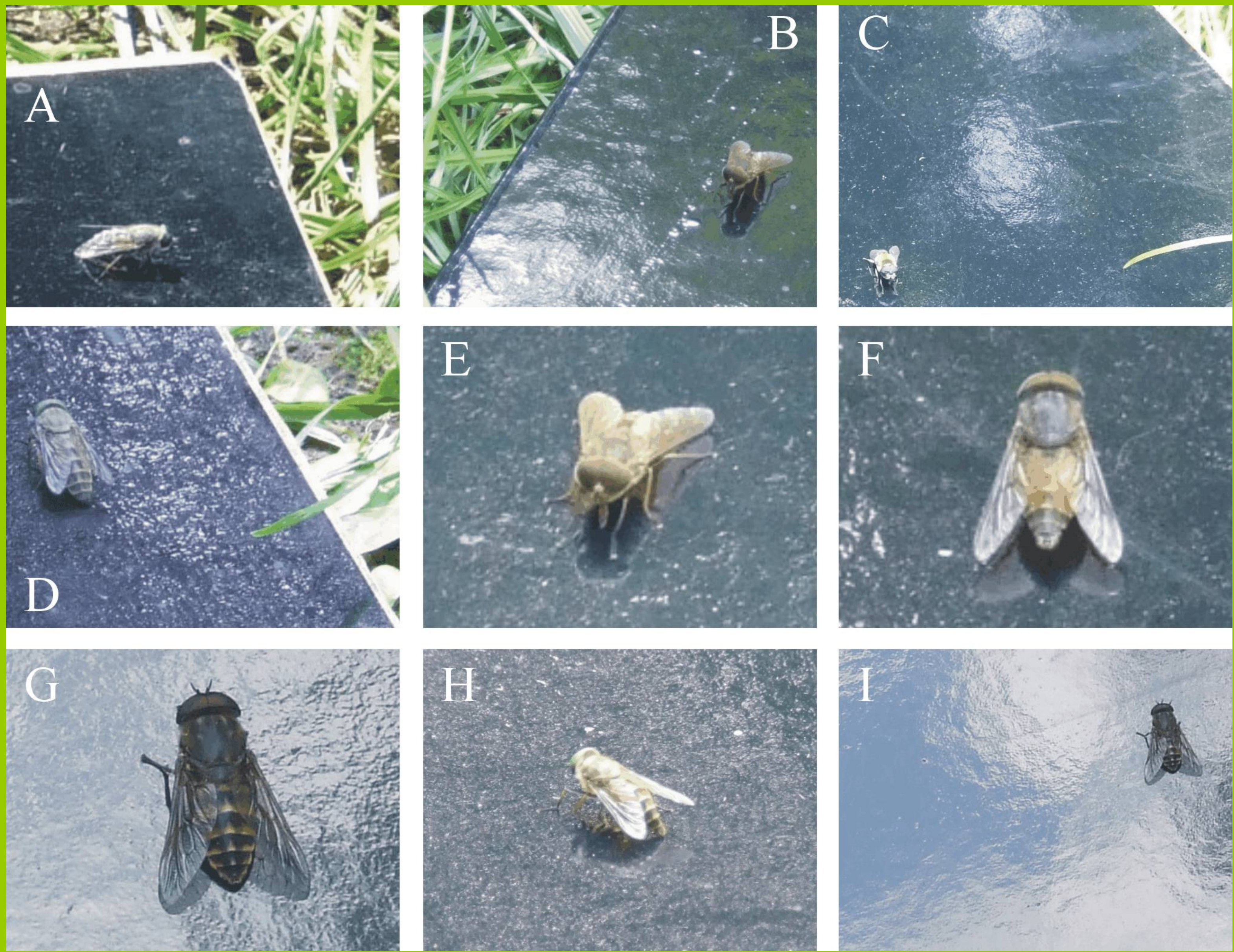
Fekete vizek polarizációs mintázatai

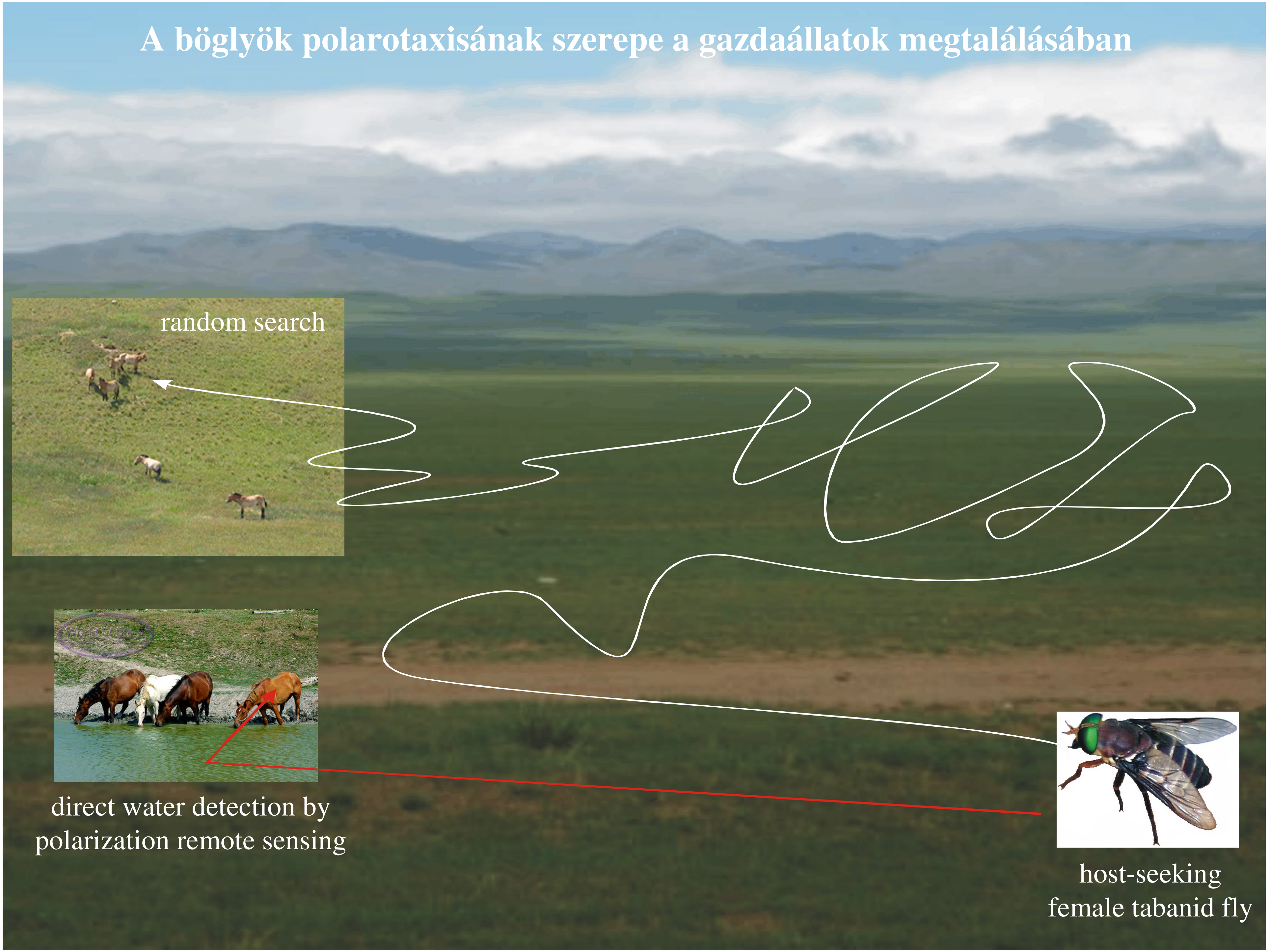


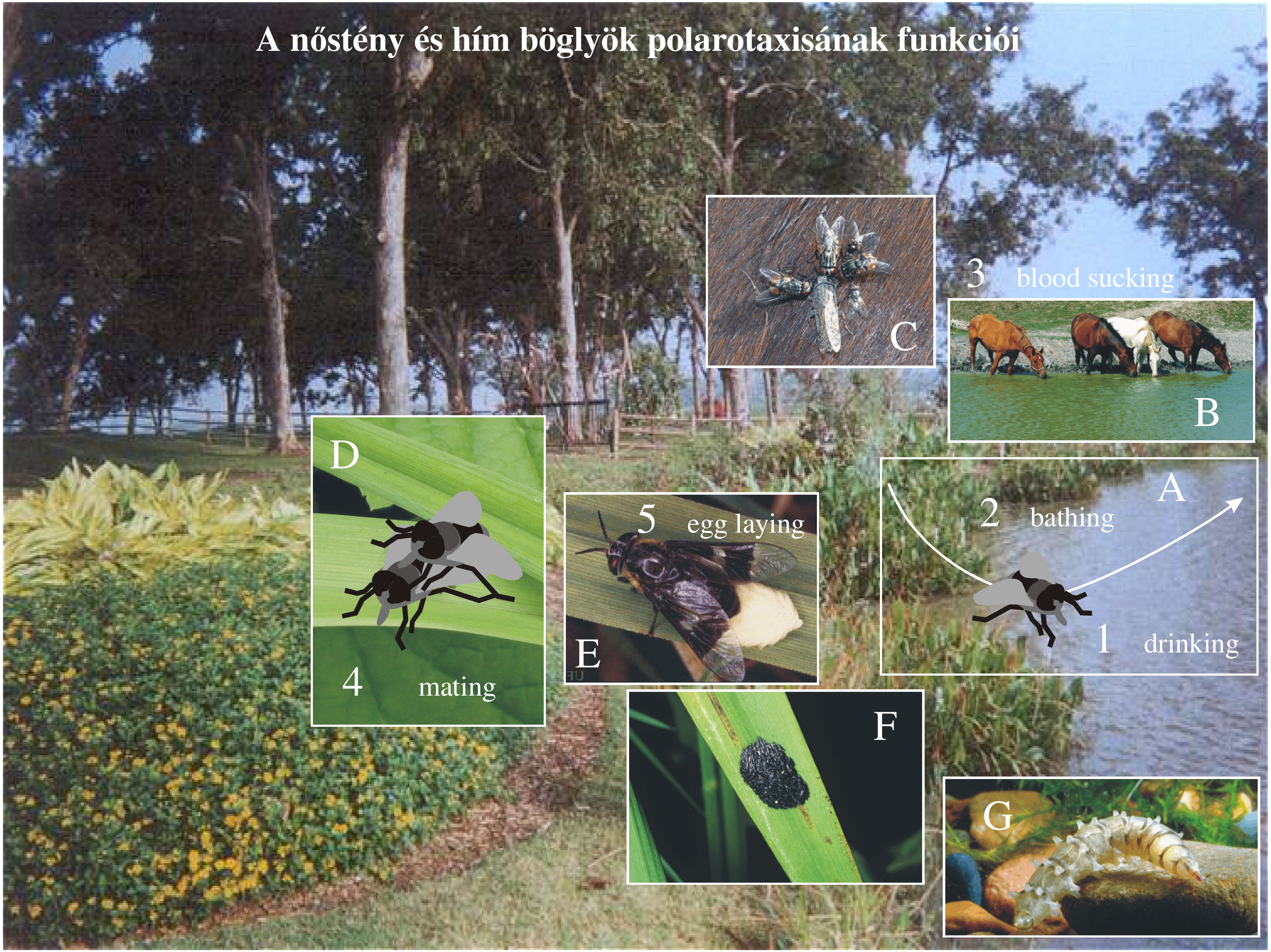
A böglyök pozitív polarotaxisának fölfedezése egy temetőben



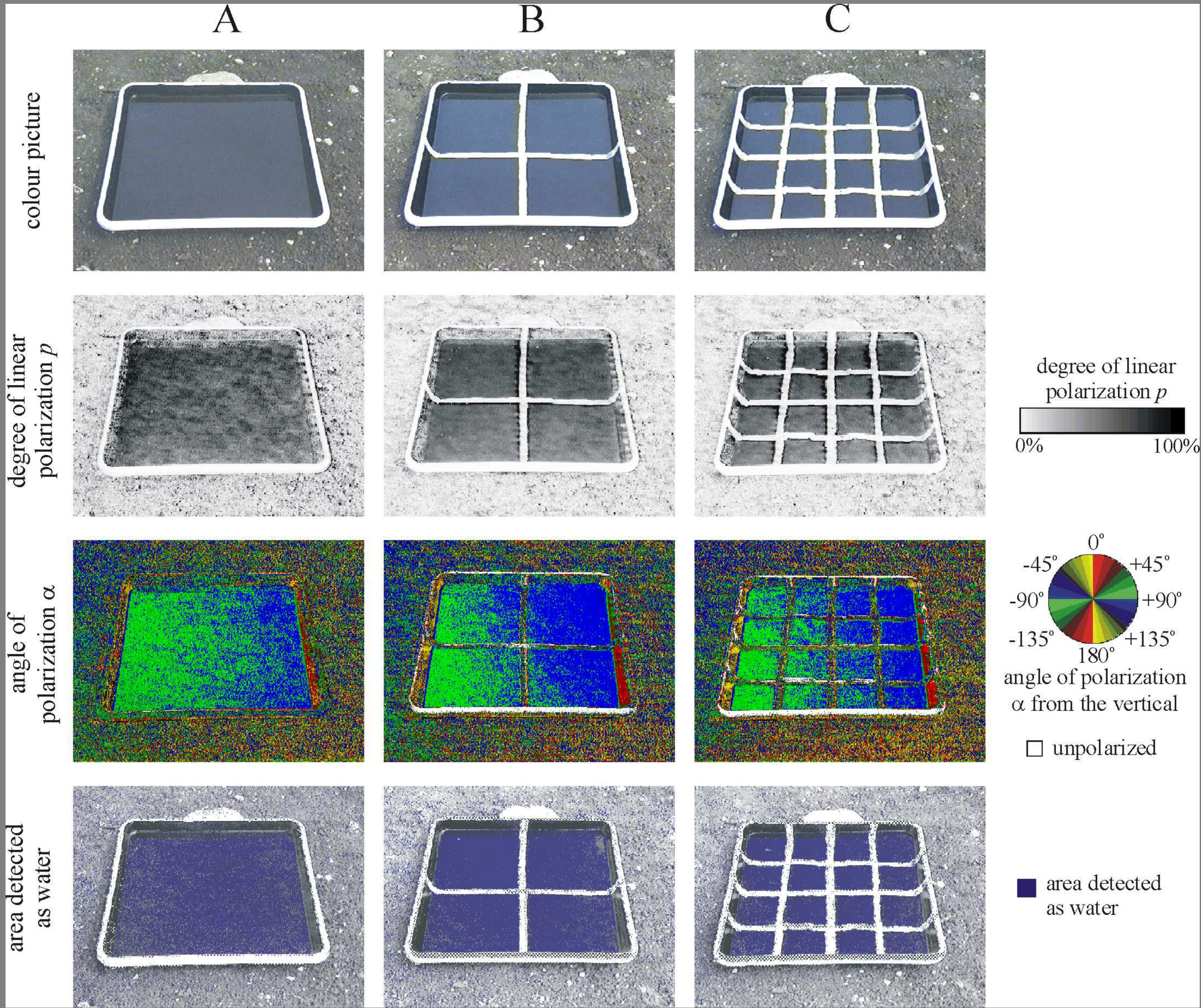
Vízszintes sima fekete tesztfelületre leszálló polarotaktikus böglyök



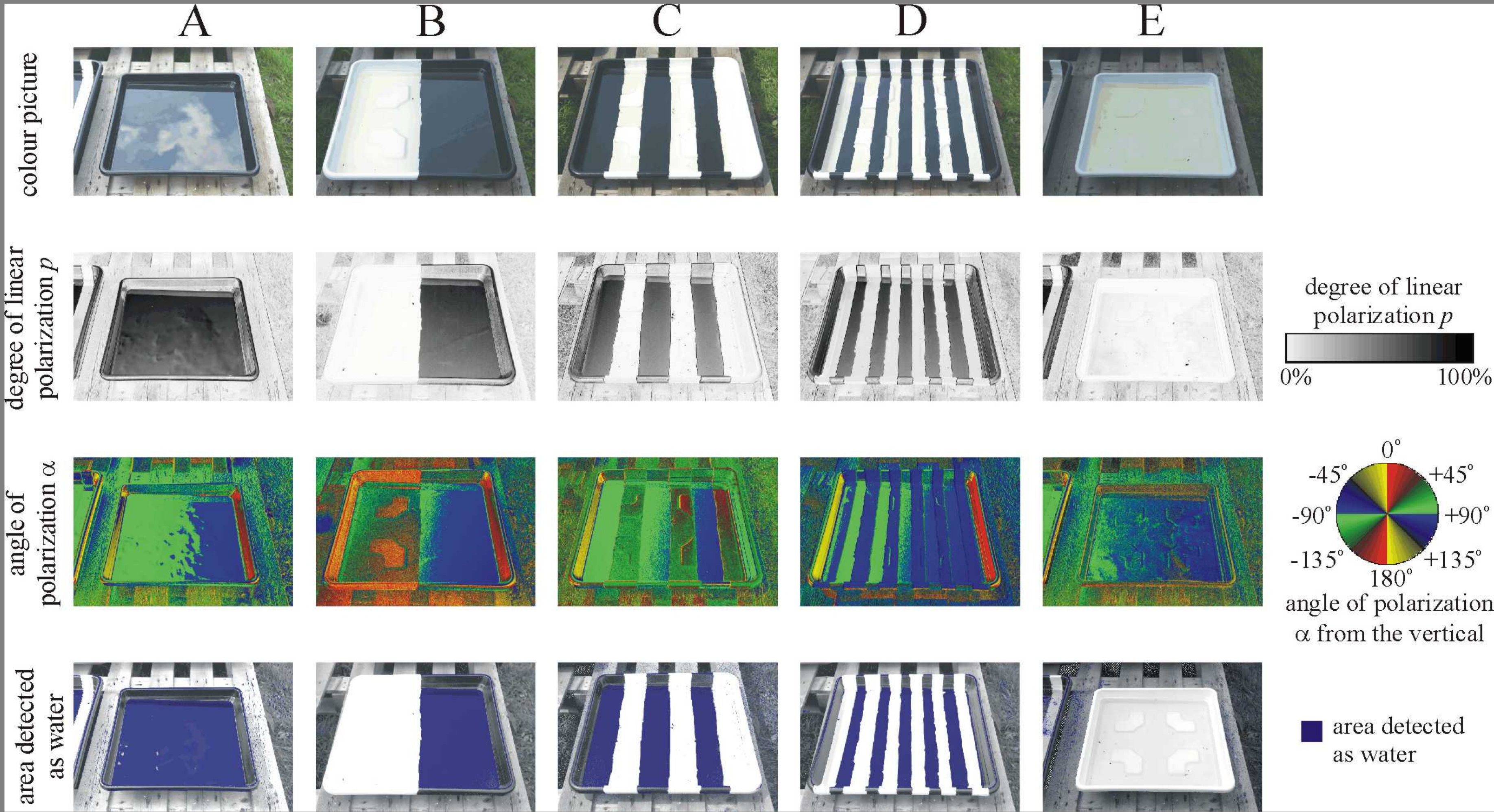

A böglyök polarotaxisának szerepe a gazdaállatok megtalálásában
random search
direct water detection by
polarization remote sensing
host-seeking
female tabanid fly


A nőstény és hím böglyök polarotaxisának funkciói
C
3 blood sucking
B
D
5 egg laying
A
2 bathing
1 drinking
E
4 mating
F
G

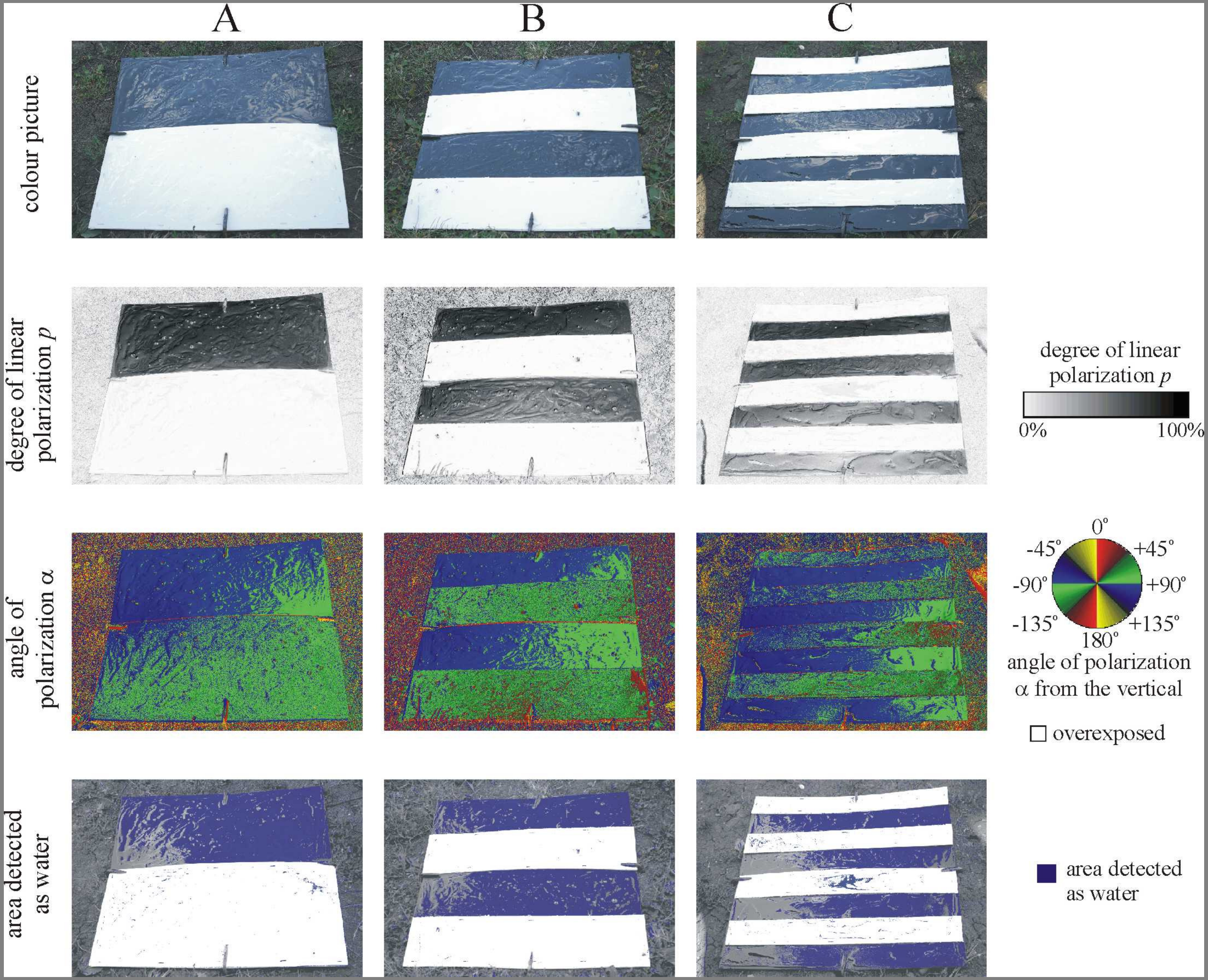
Az 1. kísérlet fehér-rácsos fekete olajtálcáinak polarizációs mintázatai



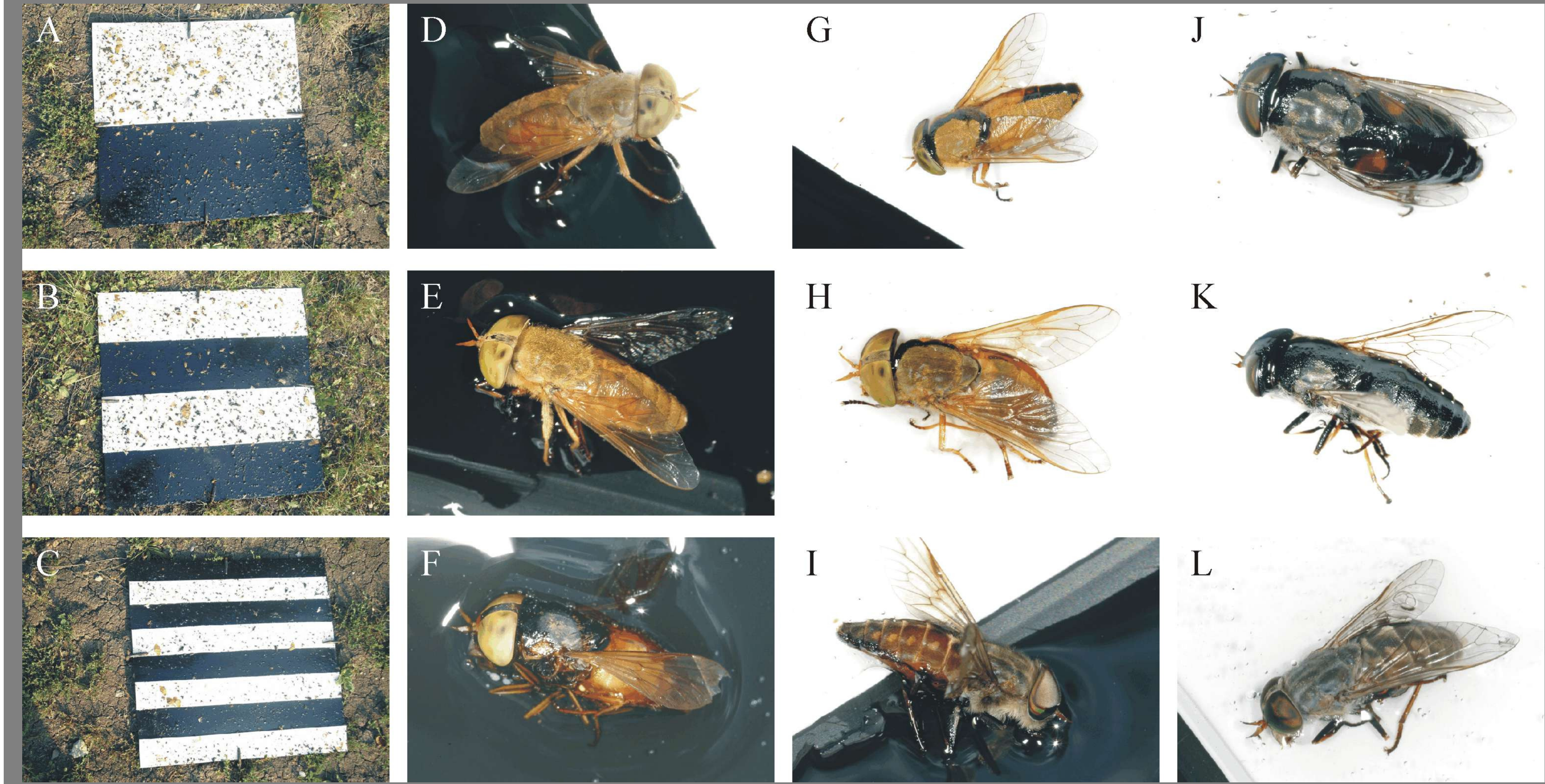
A 2. kísérlet fekete-fehér csíkos olajtálcáinak polarizációs mintázatai



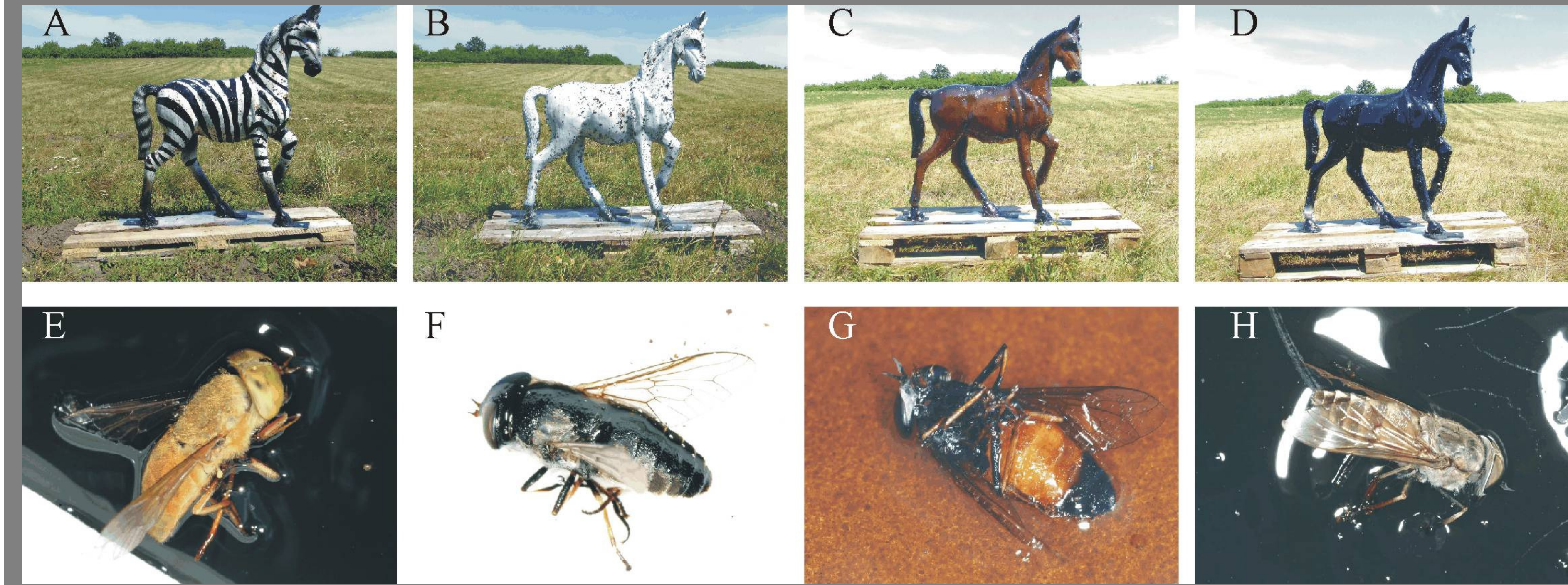
A 3. kísérlet fekete-fehér csíkos ragadós tesztfelületeinek polarizációs mintázatai



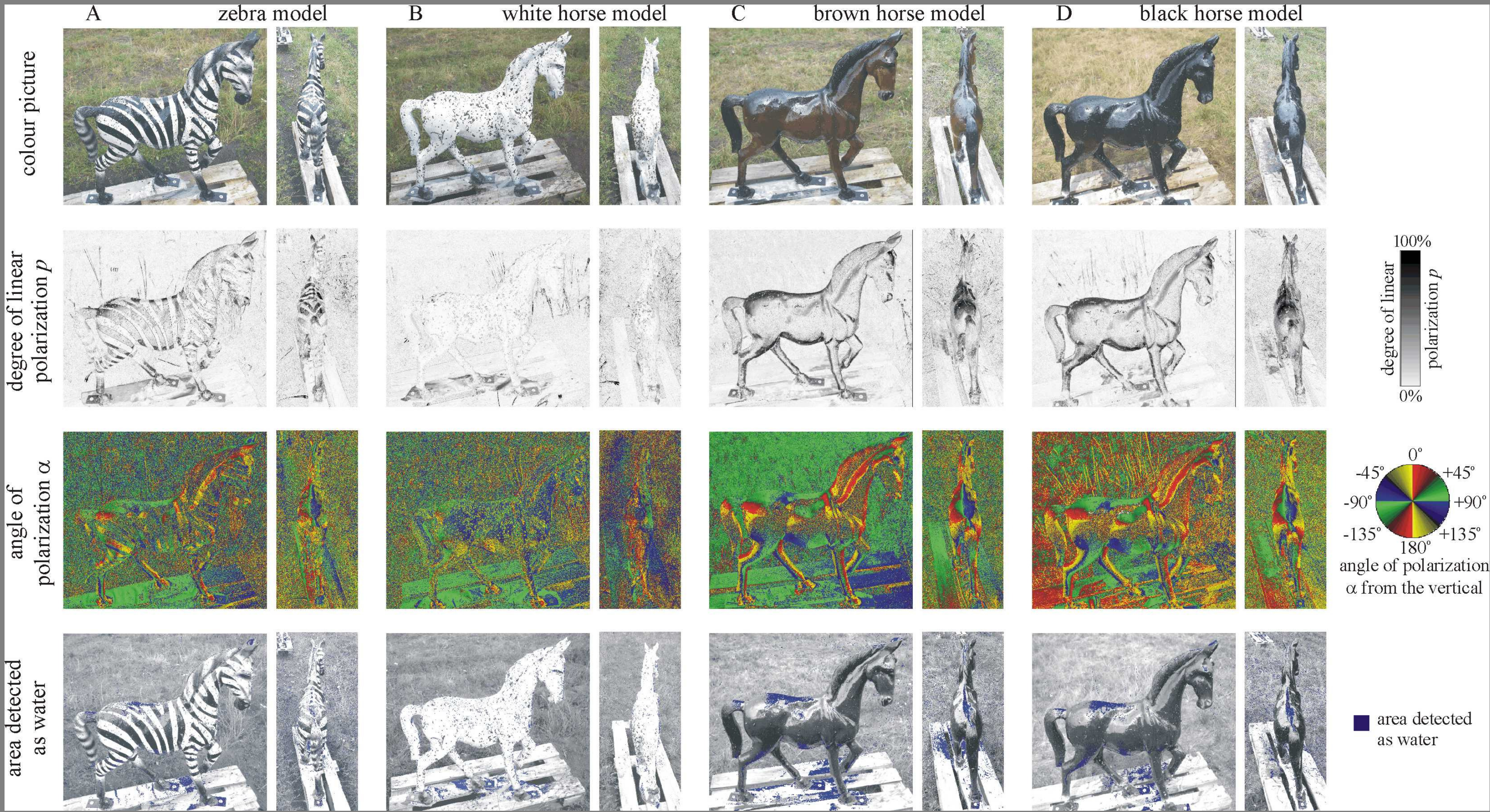
A 3. kísérlet fekete-fehér csíkos tesztfelületeibe ragadt böglyök

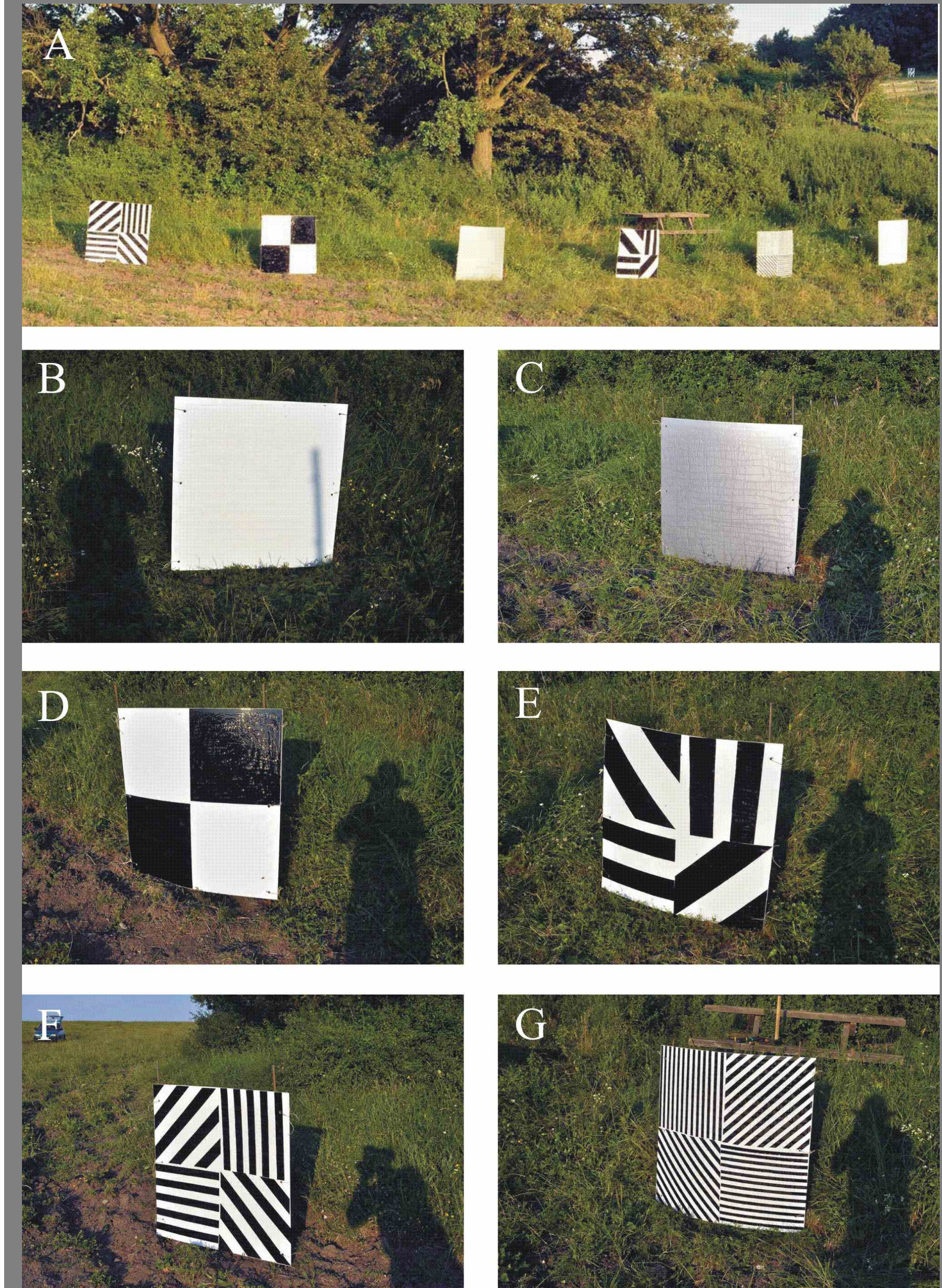


4. kísérlet ragadós lómakettekkel



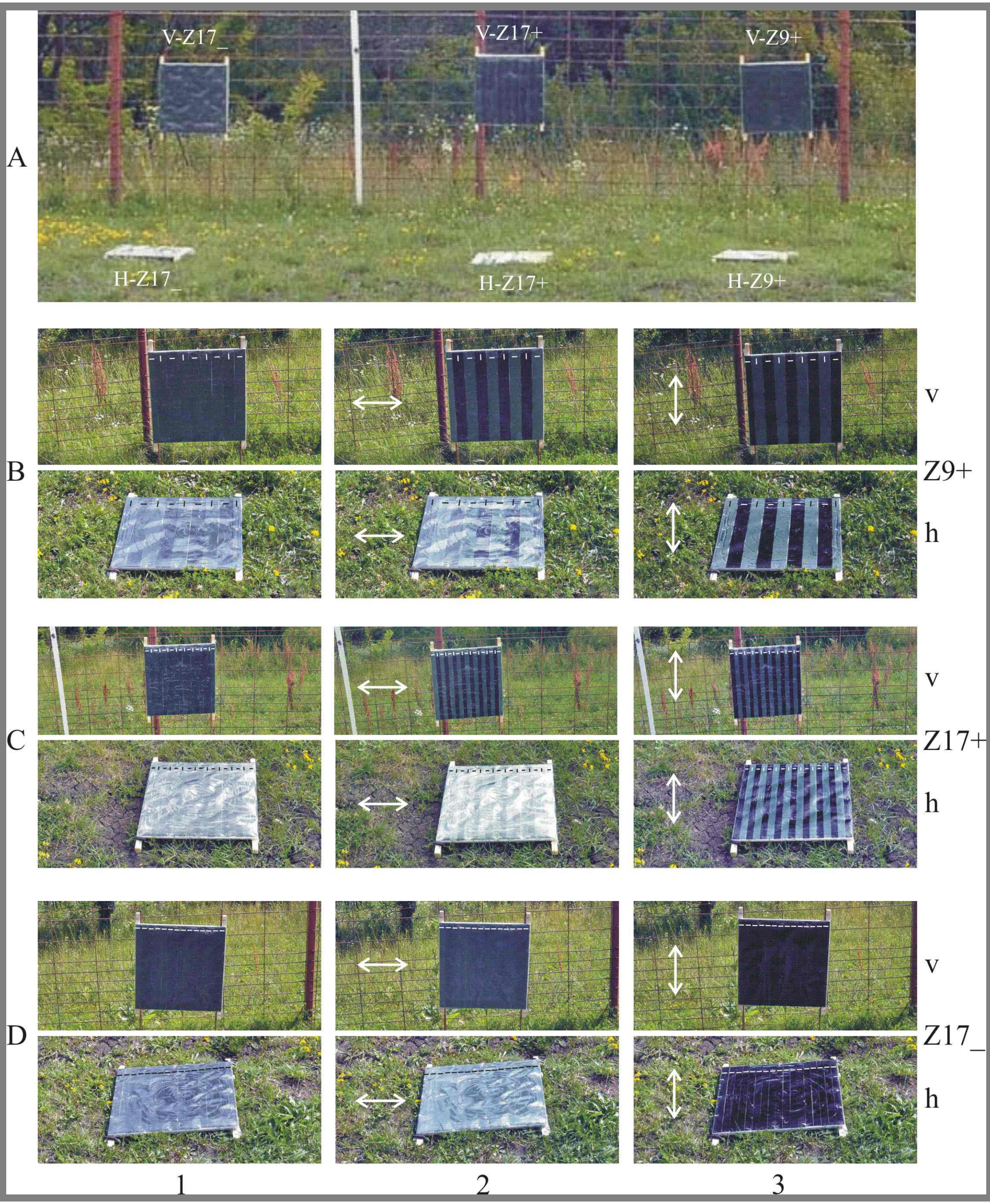
A 4. kísérlet ragadós lómakettjeinek polarizációs mintázatai



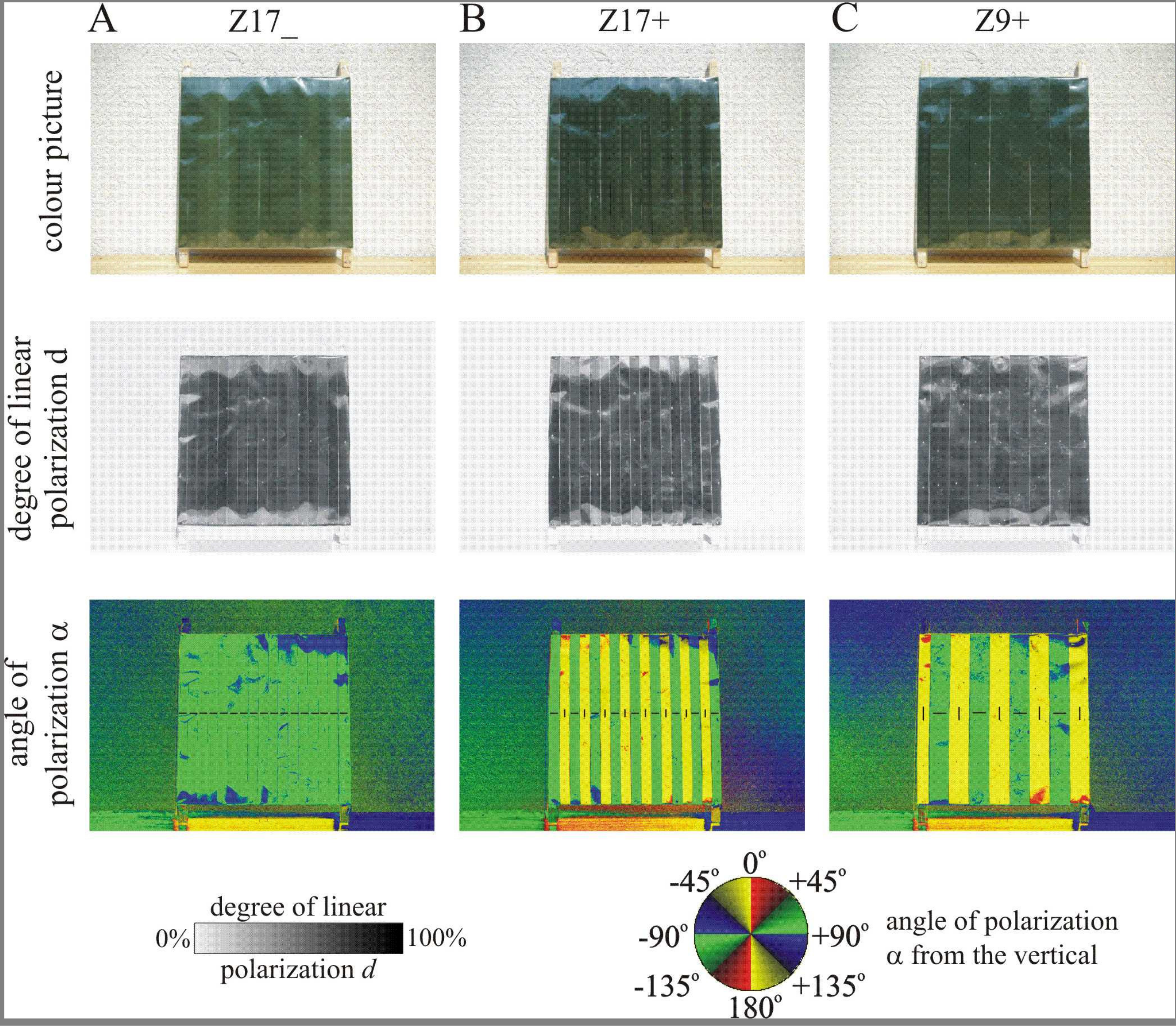


5. kísérlet fekete-fehér csíkos ragadós tesztfelületekkel

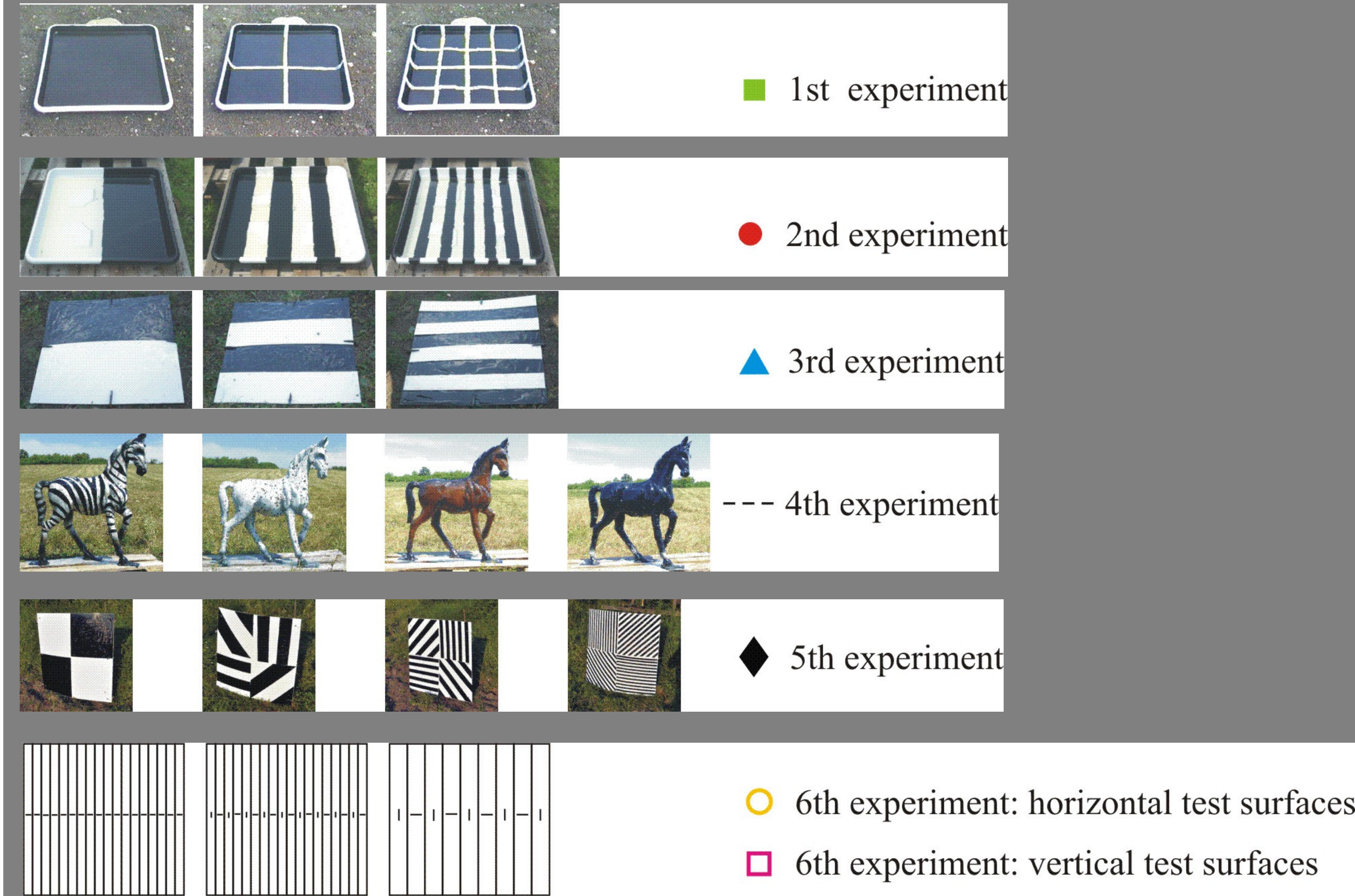
6. kísérlet csíkos lineáris polárszűrős ragadós tesztfelületekkel



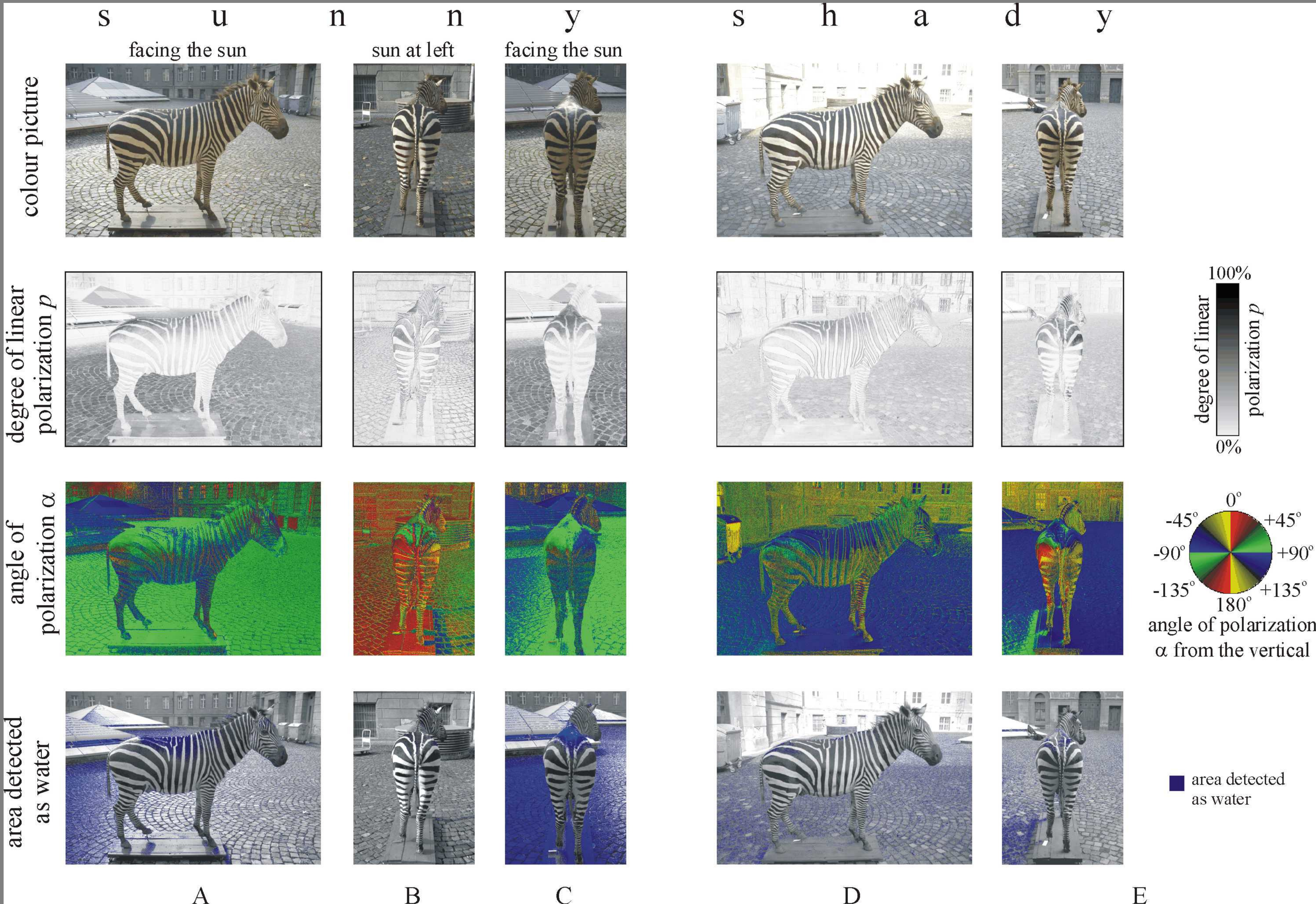
A 6. kísérlet csíkos lineáris polárszűrős tesztfelületeinek polarizációs mintázatai



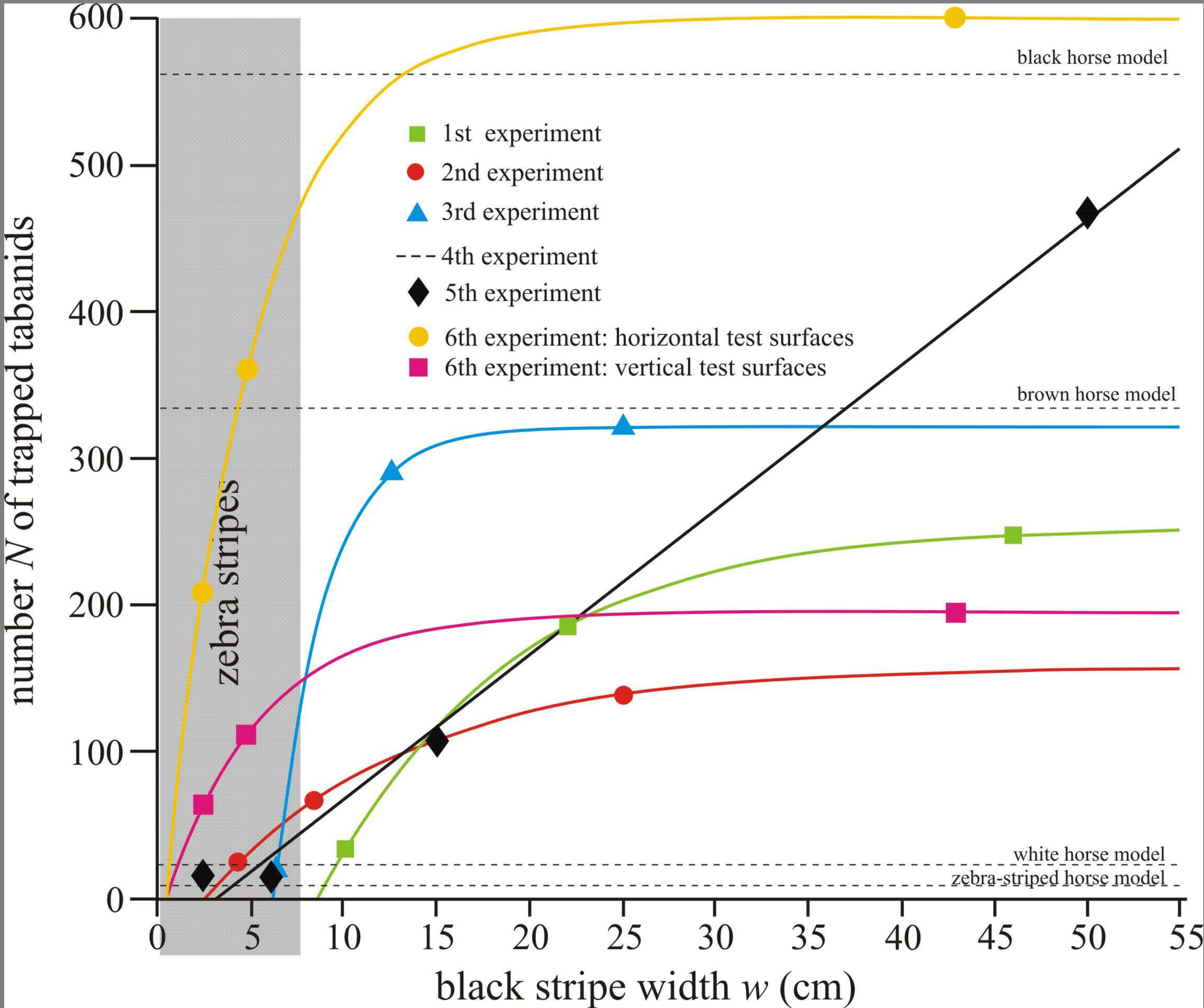
Terepkísérletek csíkos tesztfelületekkel és polarotaktikus böglyökkel



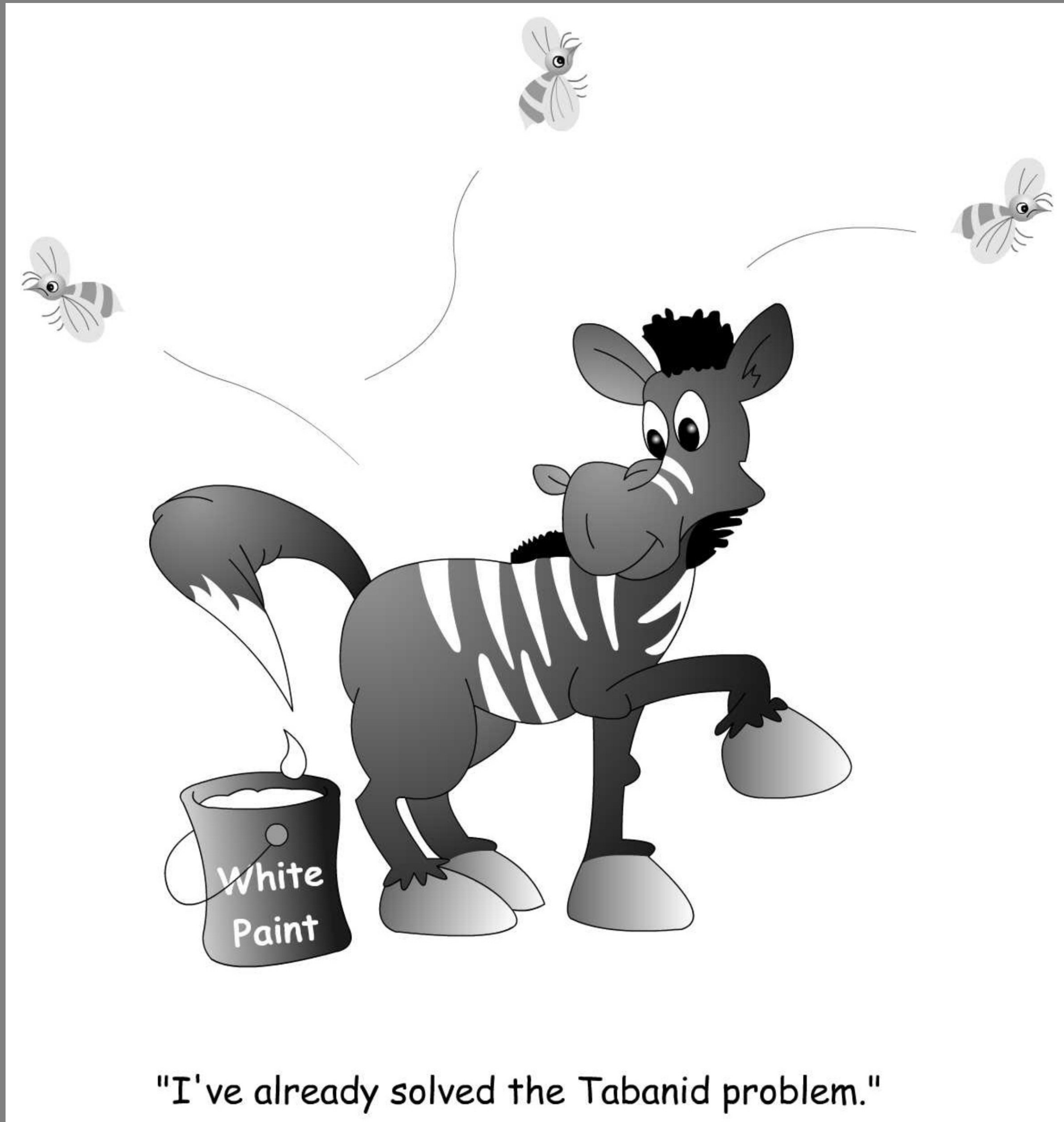
Egy zebra polarizációs mintázatai

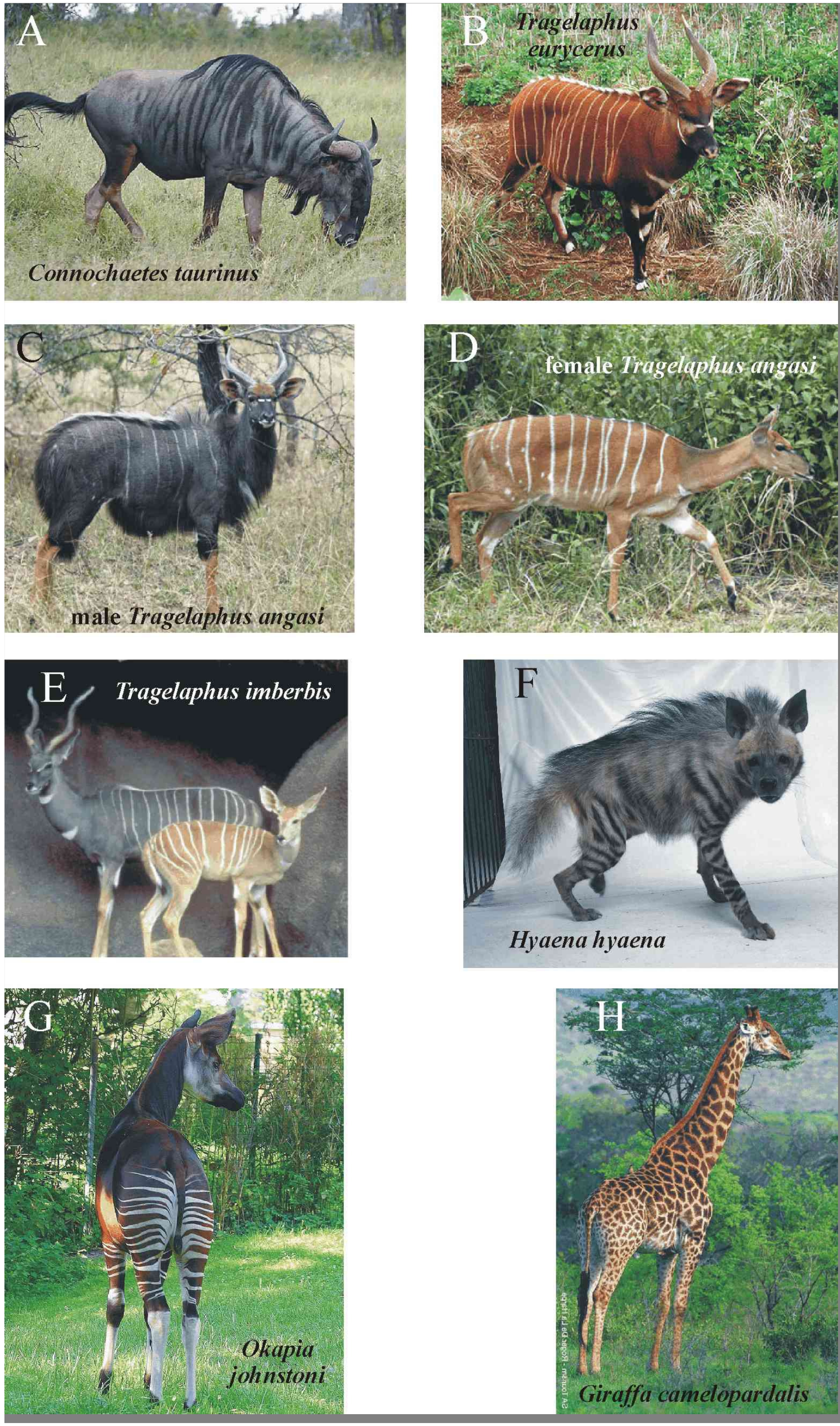


A terepkísérletek eredményei



Az őszebra sötét színű volt, fehér csíkjai később fejlődtek ki

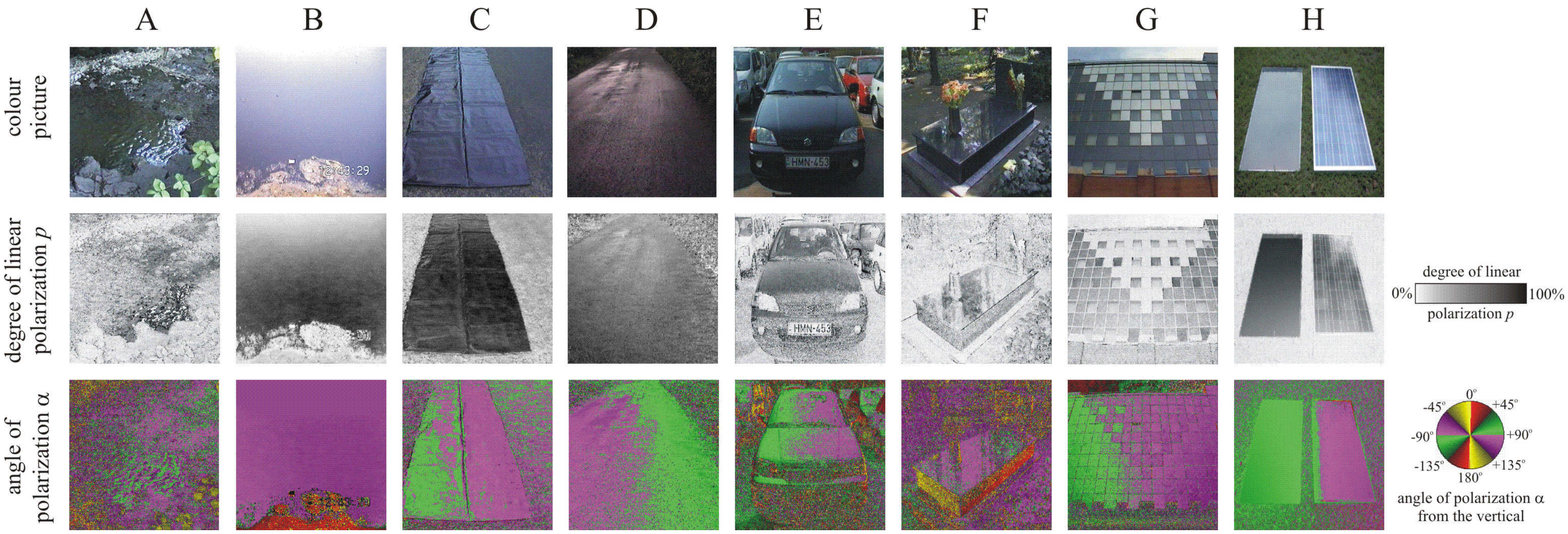




A csíkos kültakaró az emlősök körében elterjedt

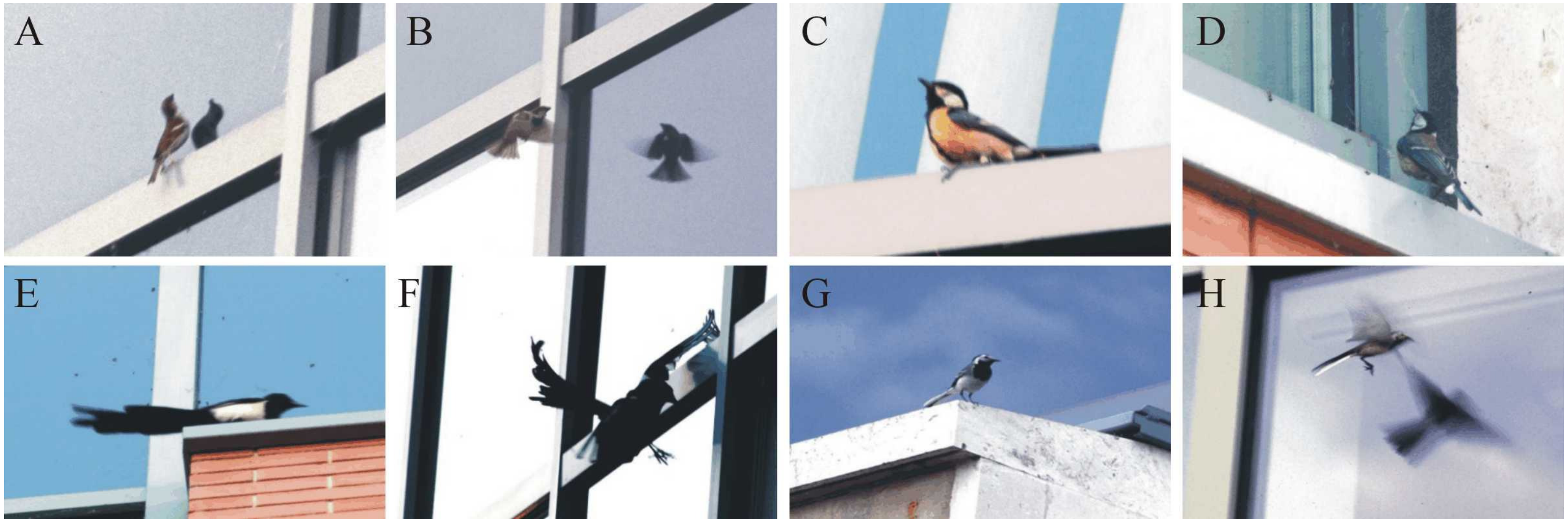
Afrikai törzsek (zebra)csíkos testfestése

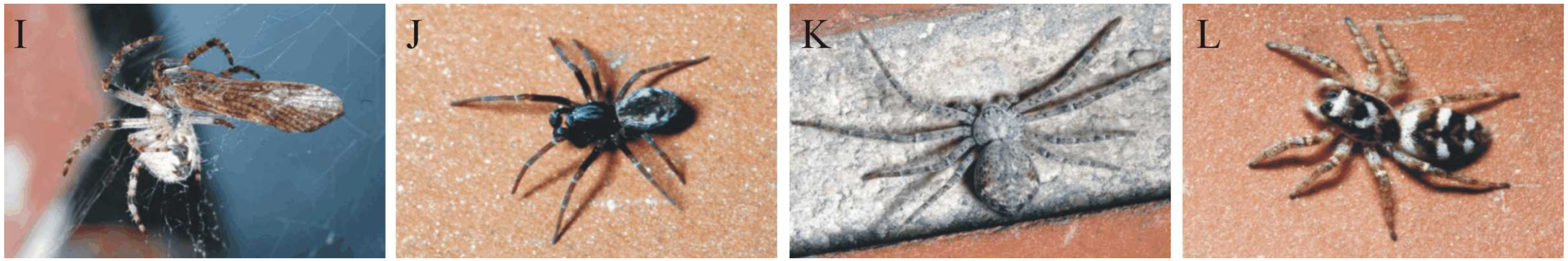
Poláros fényszennyező források



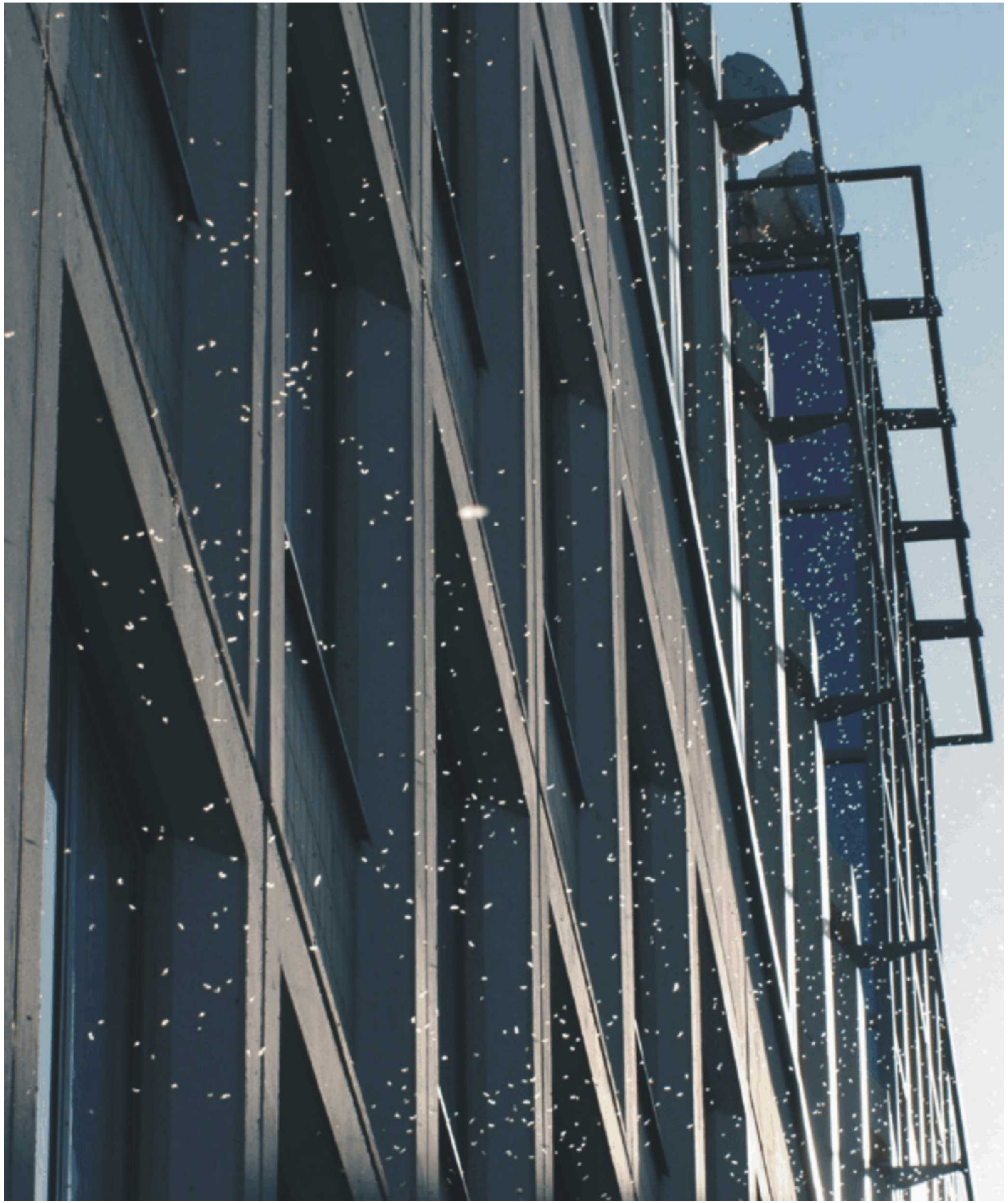
A poláros fényszennyezés áldozatai

A poláros fényszennyezés haszonélvezői





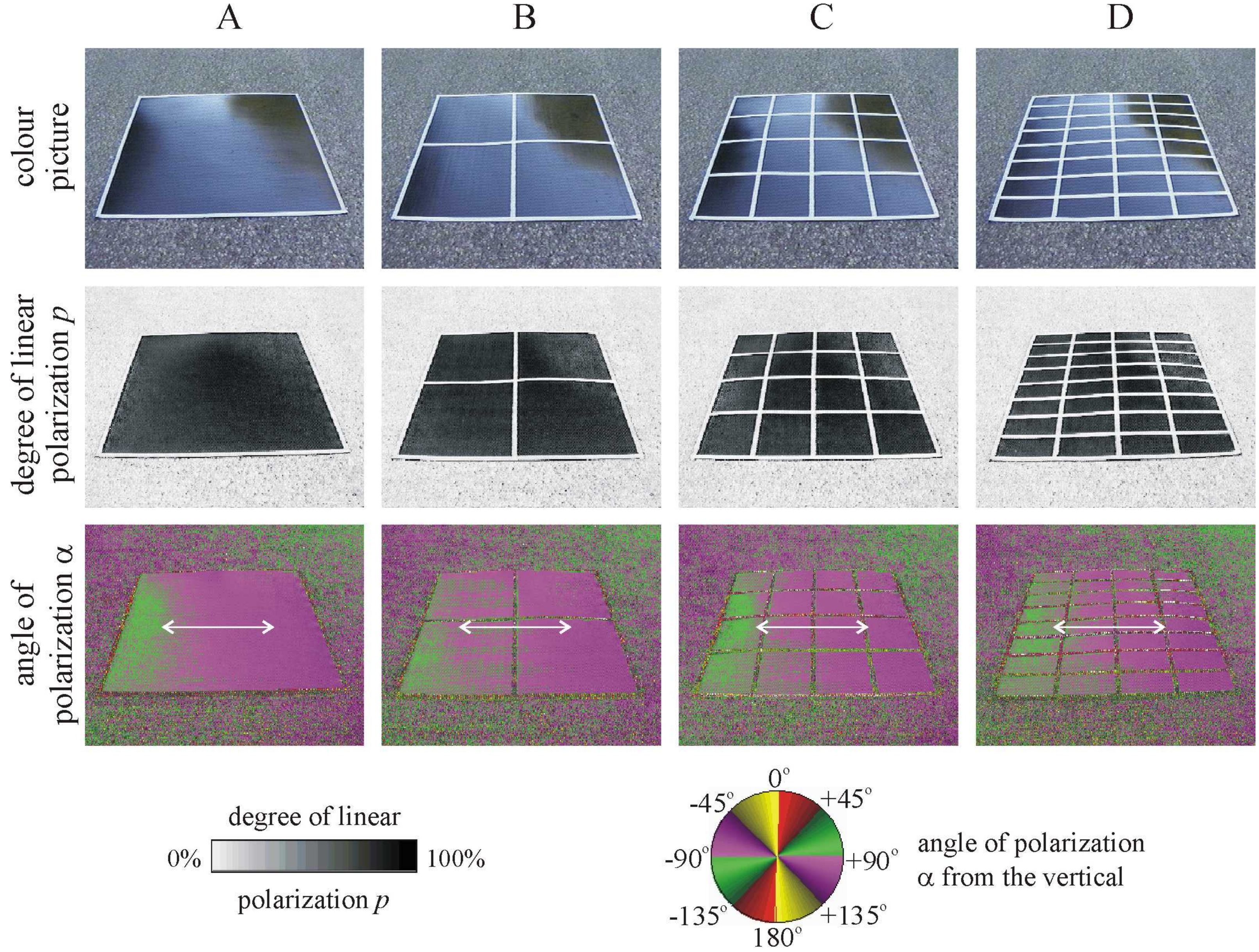
A poláros fényszennyezés haszonélvezői majd áldozatai



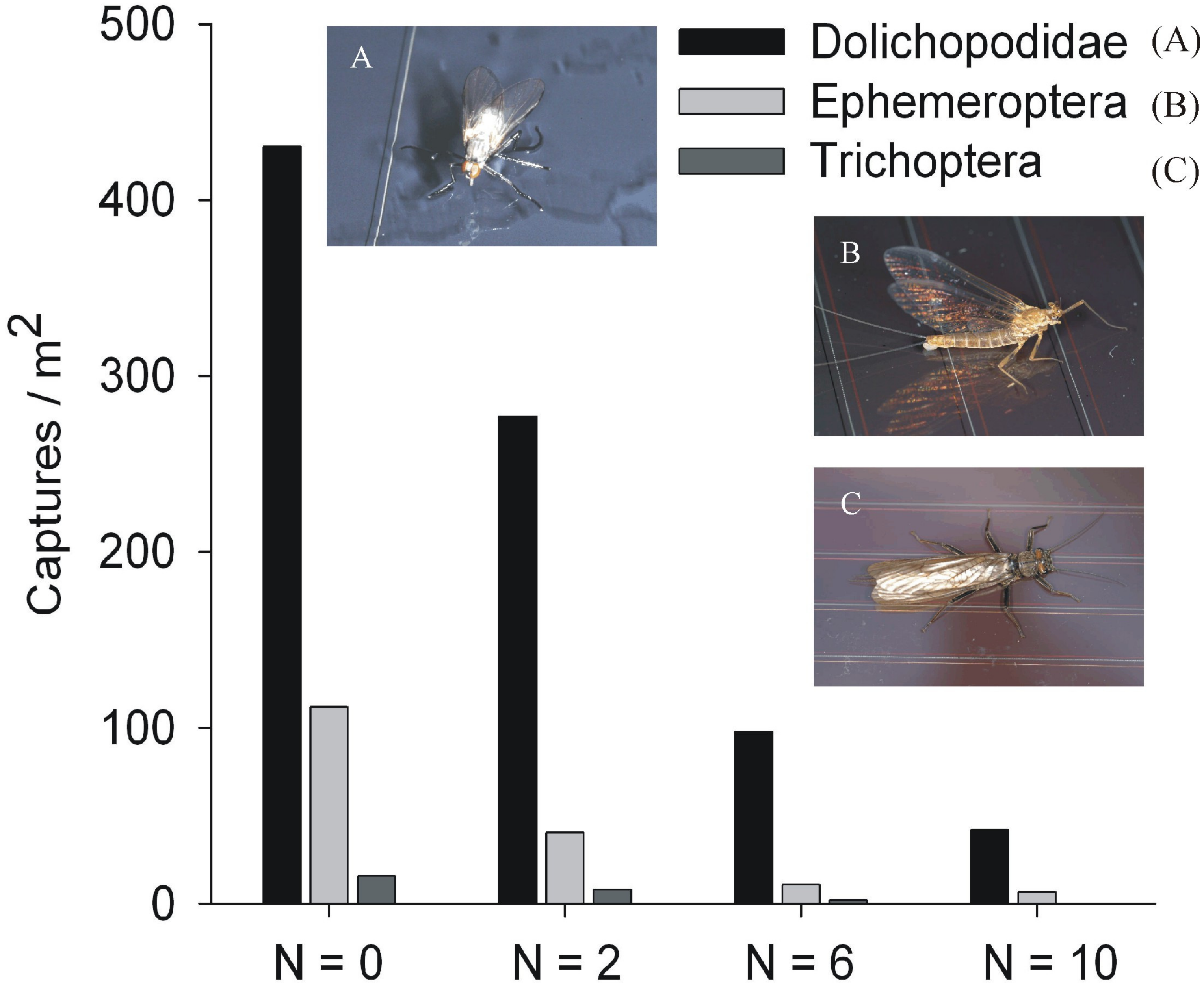
Polarotaktikus dunai tömegtegzesek rajzása az ELTE duna-parti poláros fényszennyező üvegépületénél

Gyakran súlyos probléma a poláros fényszennyezés

Fehér csíkos, fekete csillogó felületek polarizációs mintázatai



Fehér csíkok védő szerepe: a poláros fényszennyezés csökkentésének egyik módja



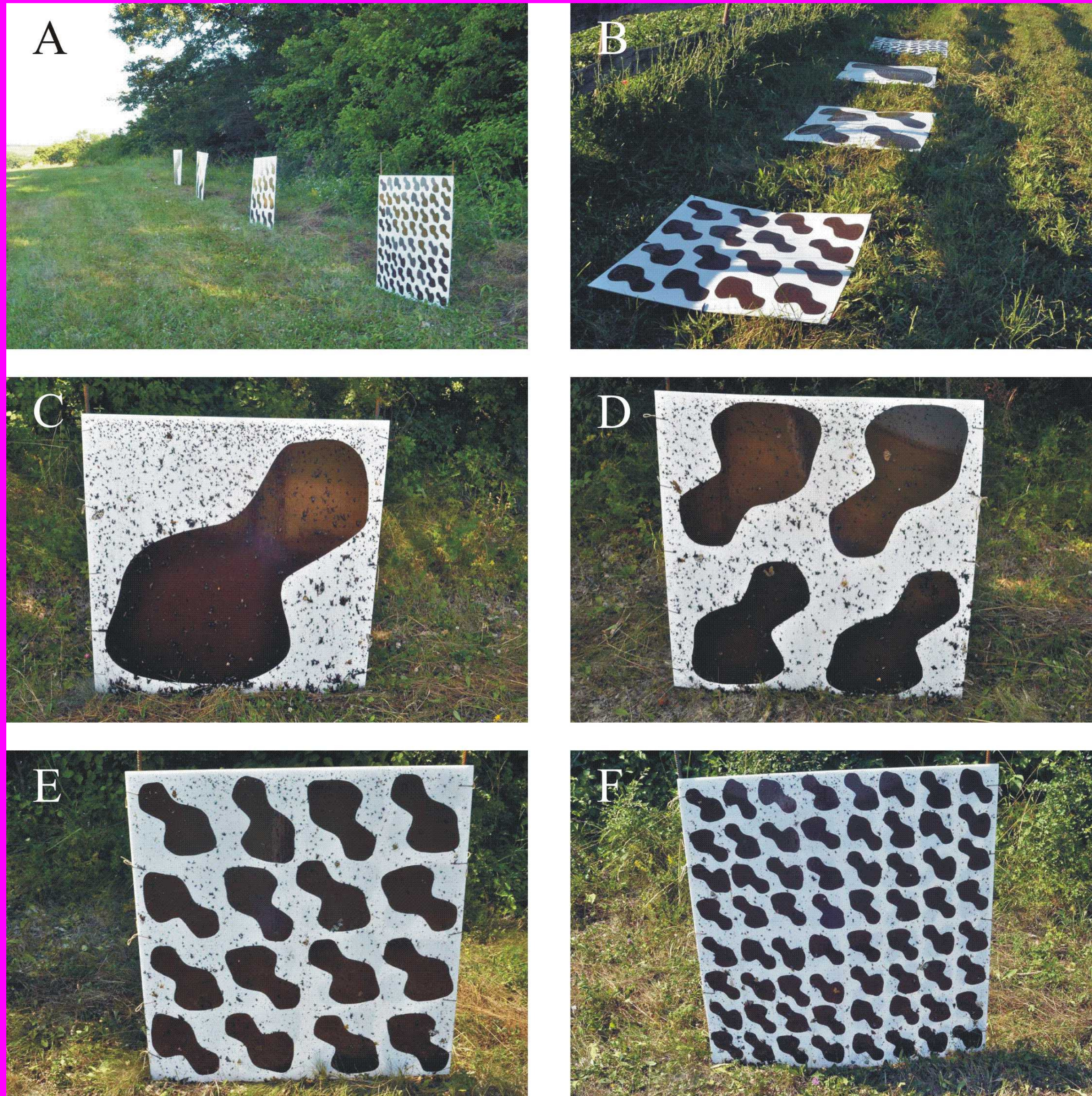
Vérszívó nőstény böglyök szarvasmarhákon

Vérszívó nőstény böglyök szarvasmarhákon

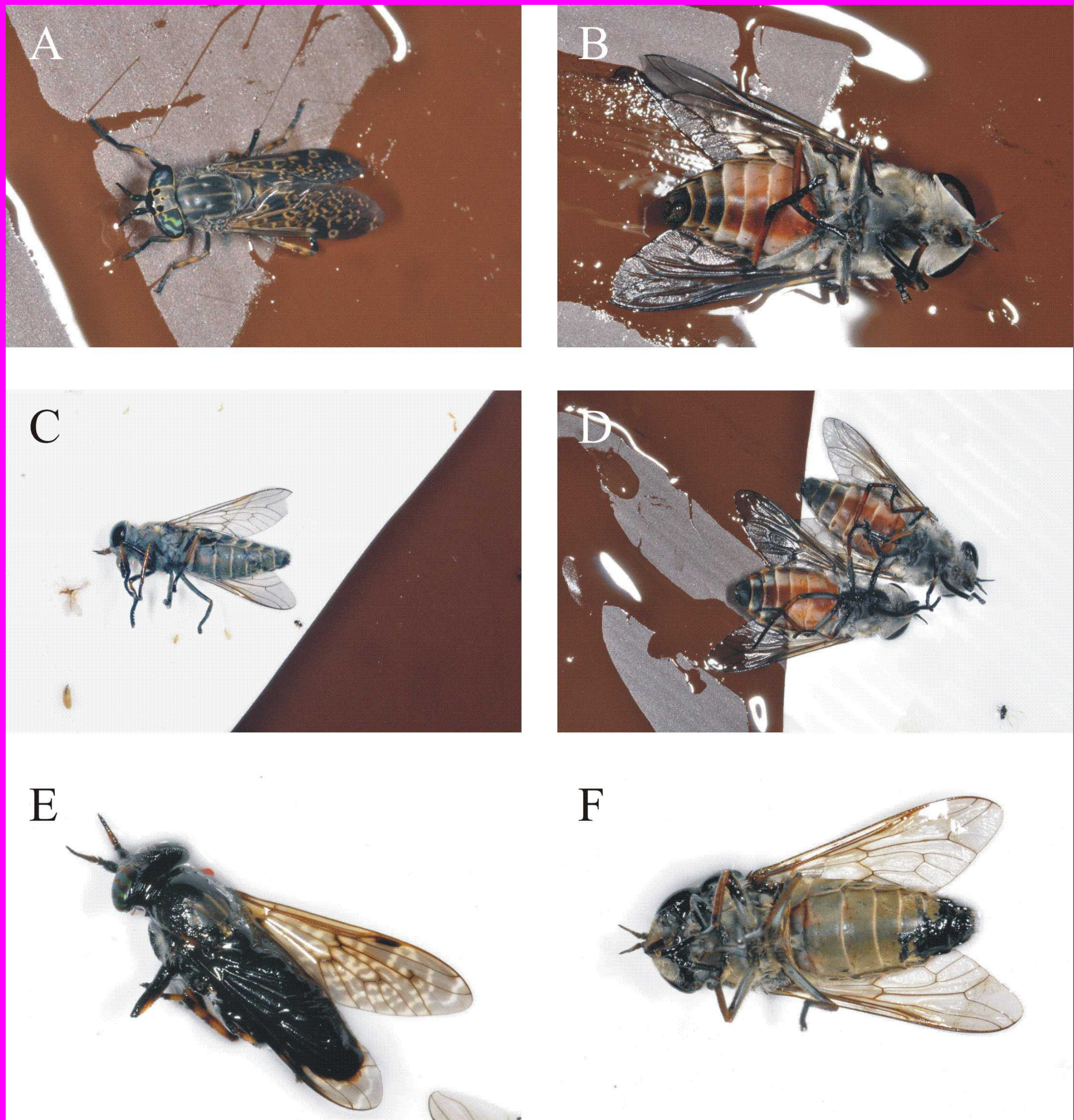
The Natural History Museu

A szarvasmarhák kültakarójának különböző színmintázatai

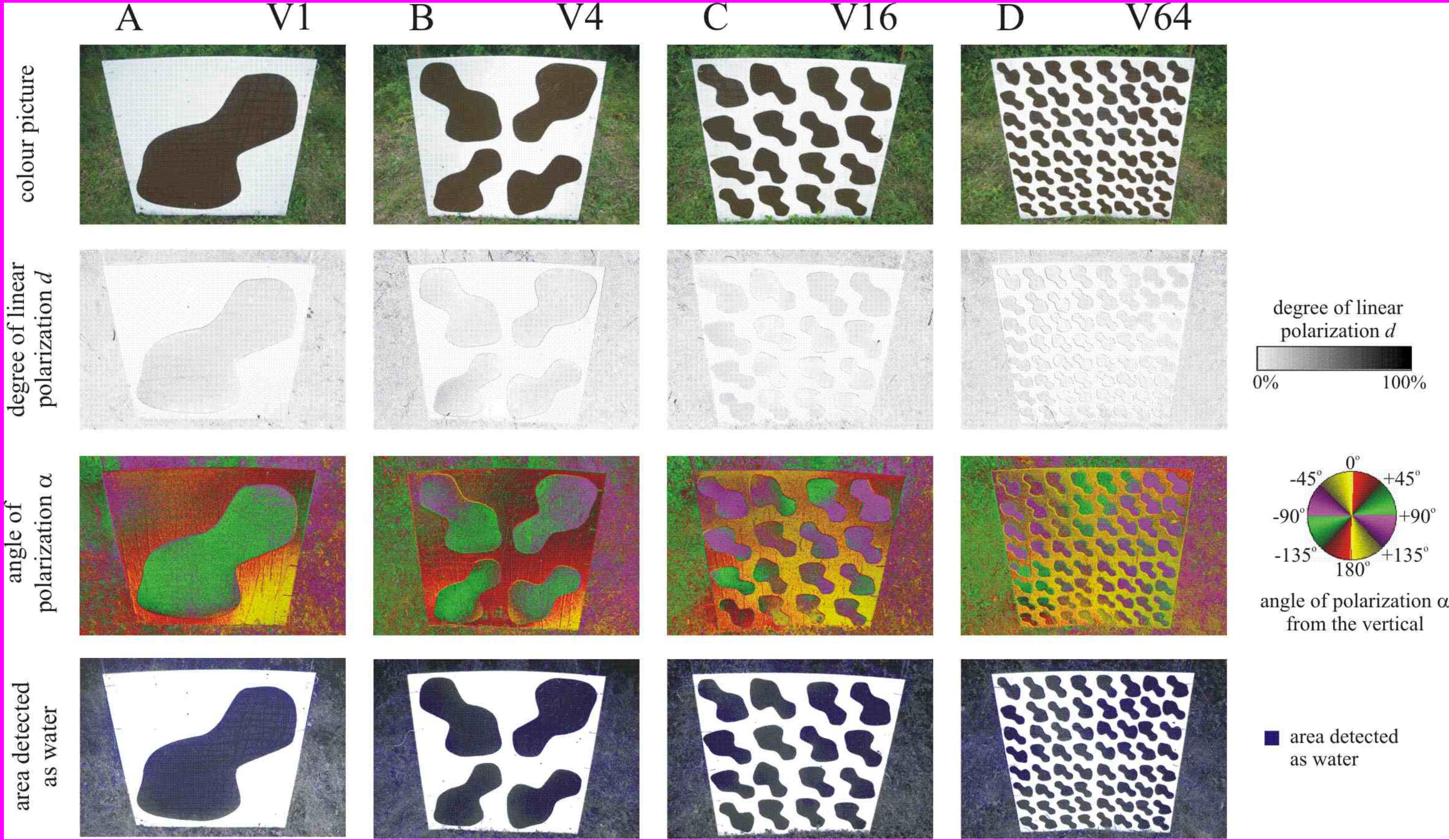
1. kísérlet barnafoltos ragadós tesztfelületekkel



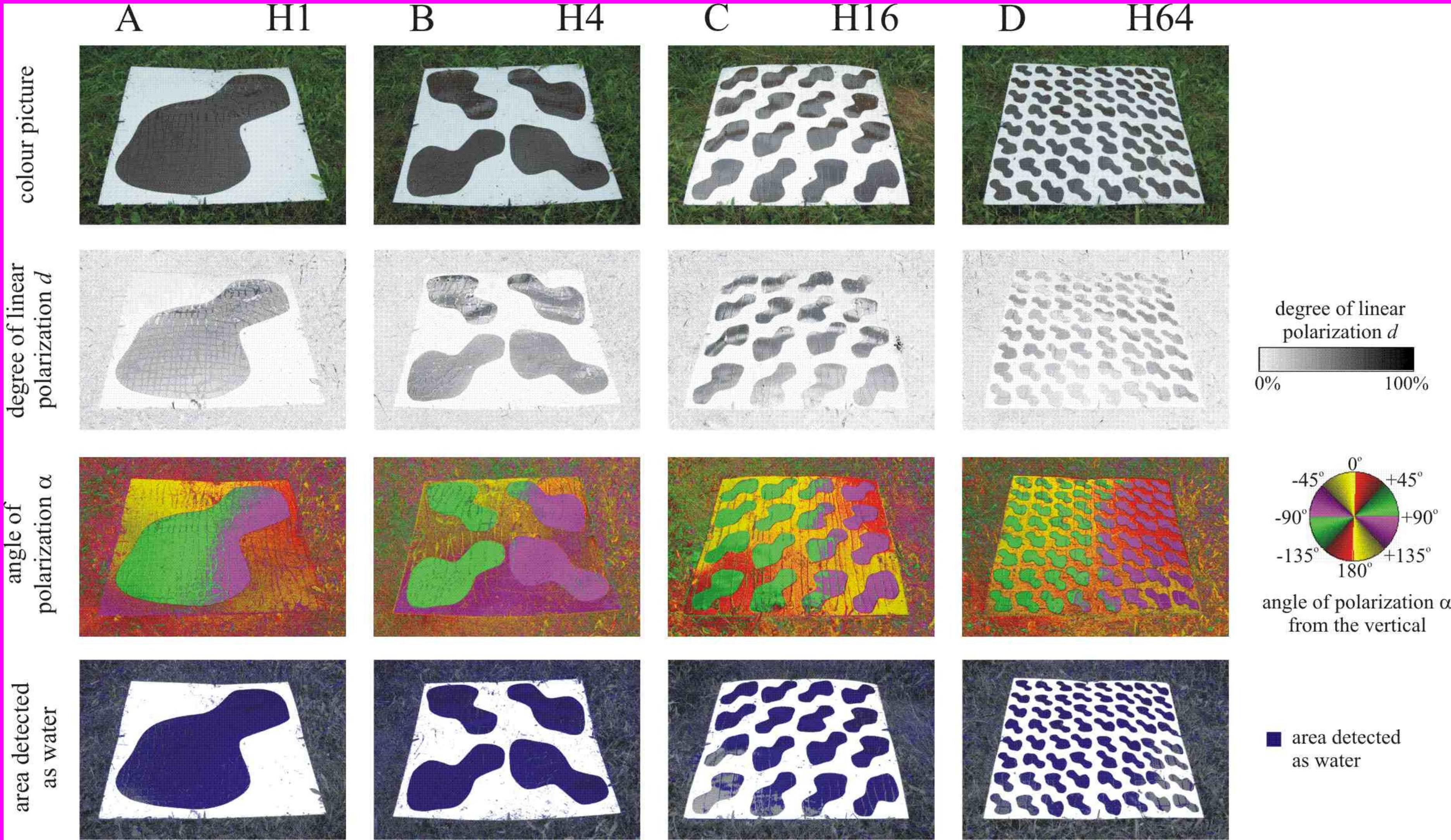
Az 1. kísérlet barnafoltos tesztfelületeibe ragadt böglyök



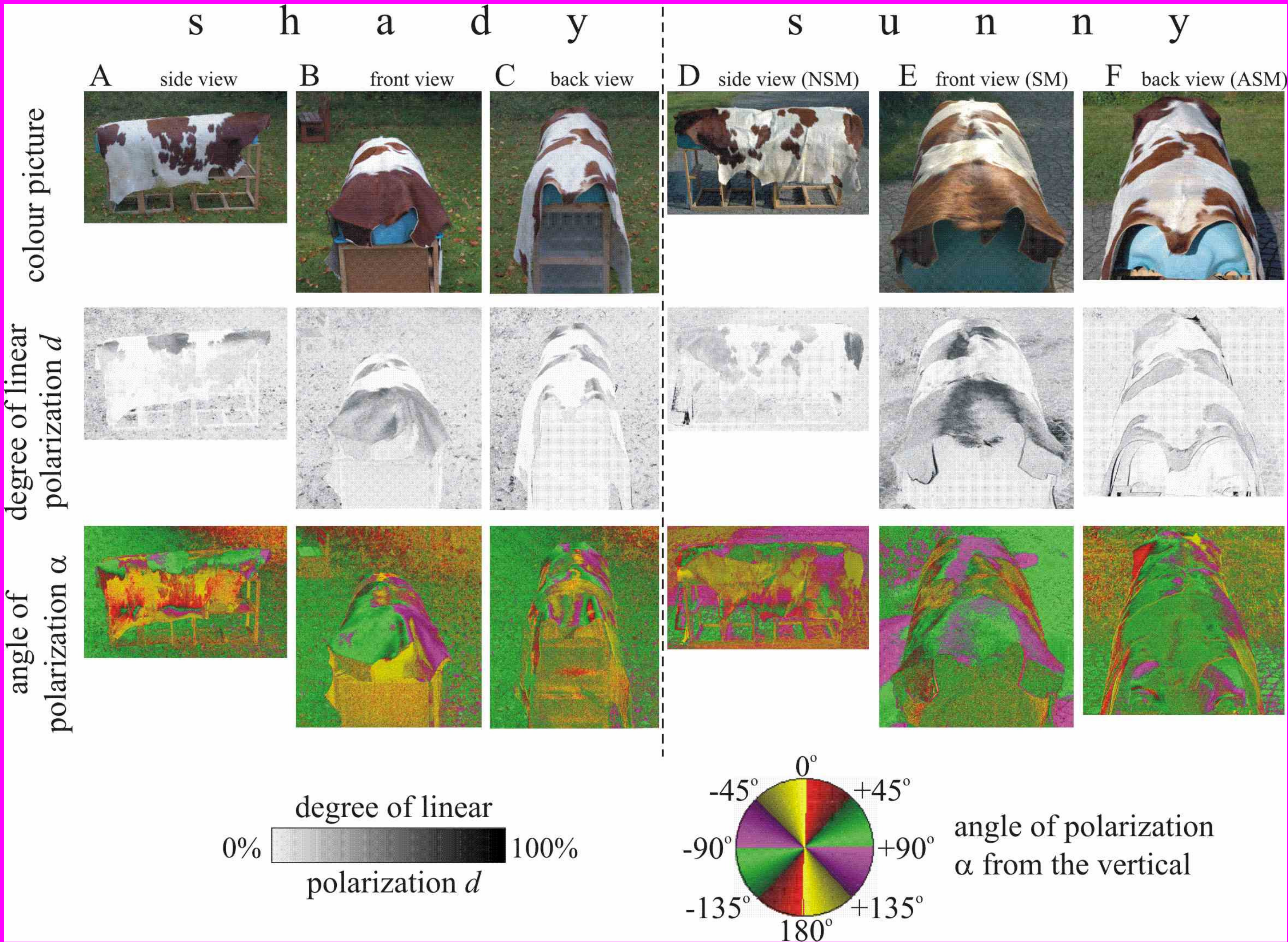
Az 1. kísérlet függőleges barnafoltos ragadós tesztfelületeinek polarizációs mintázatai



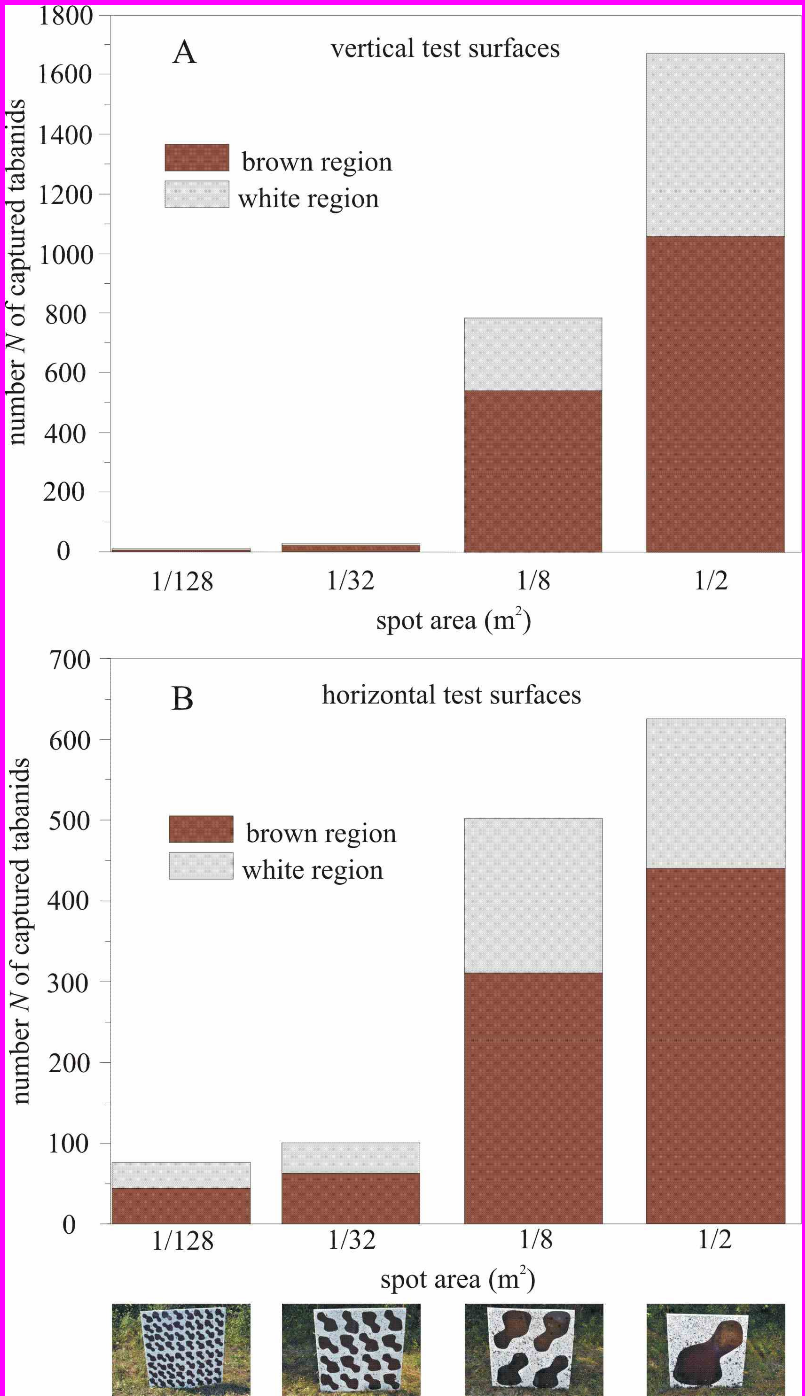
Az 1. kísérlet vízszintes barnafoltos ragadós tesztfelületeinek polarizációs mintázatai



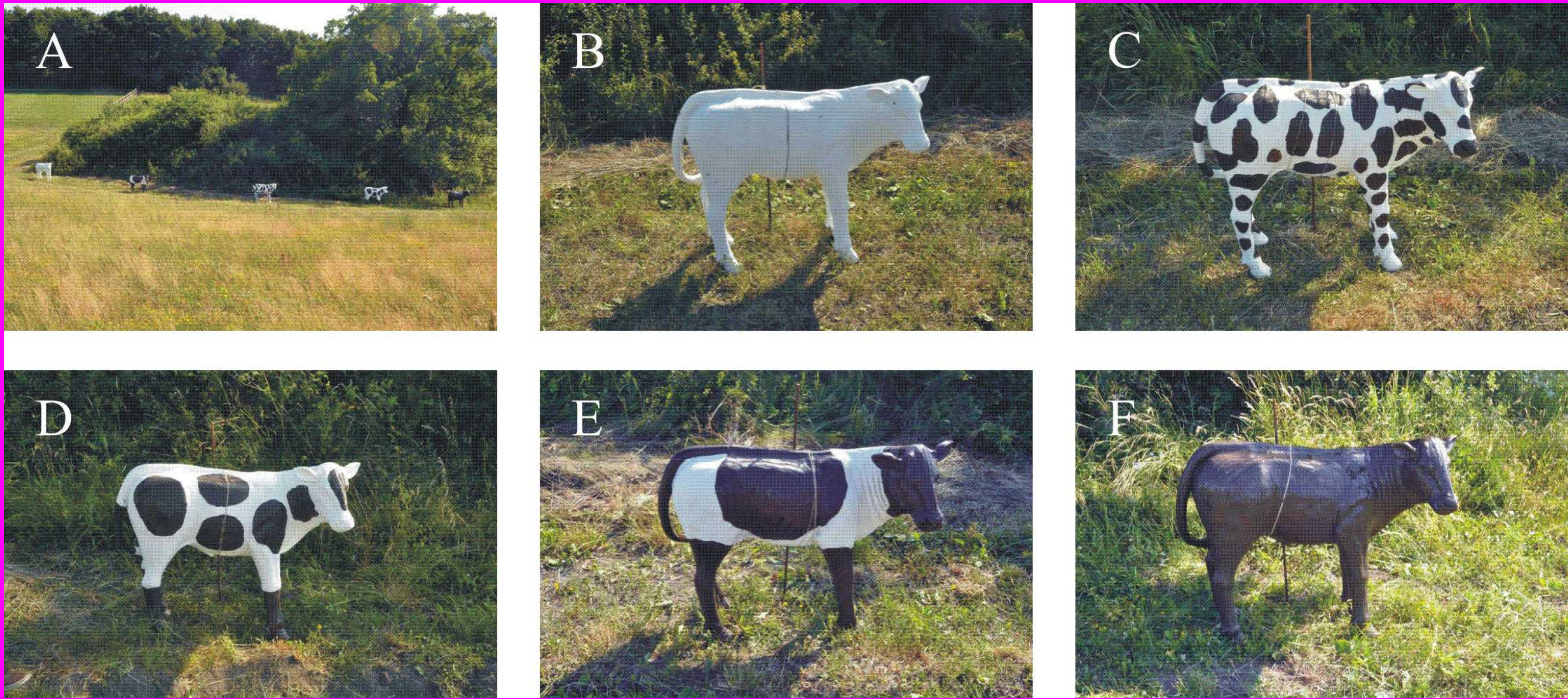
Egy szarvasmarha tarkafoltos bőrének polarizációs mintázatai



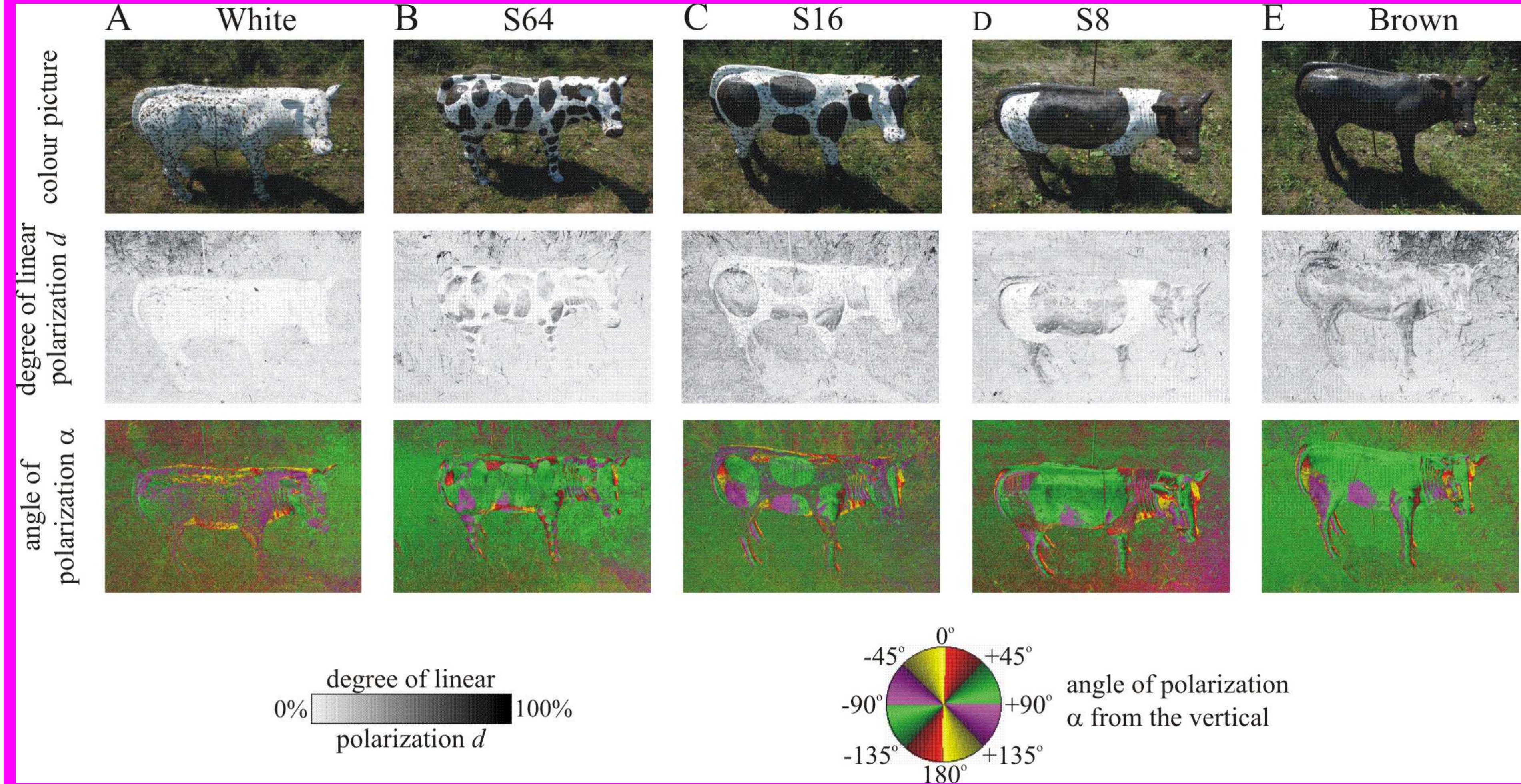
Az 1. kísérletben csapdázott böglyök száma



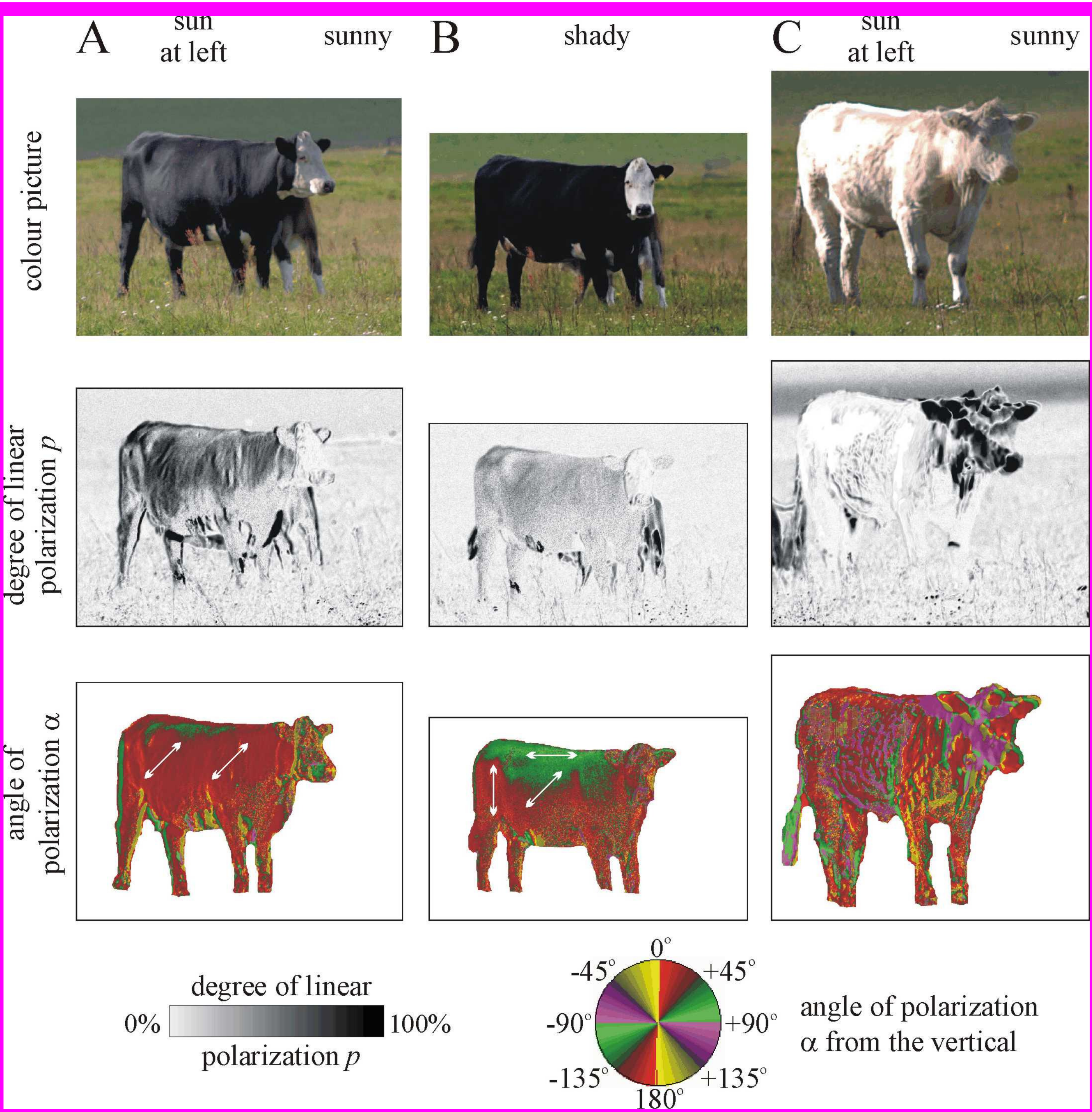
2. kísérlet ragadós foltos tehénmakettekkel



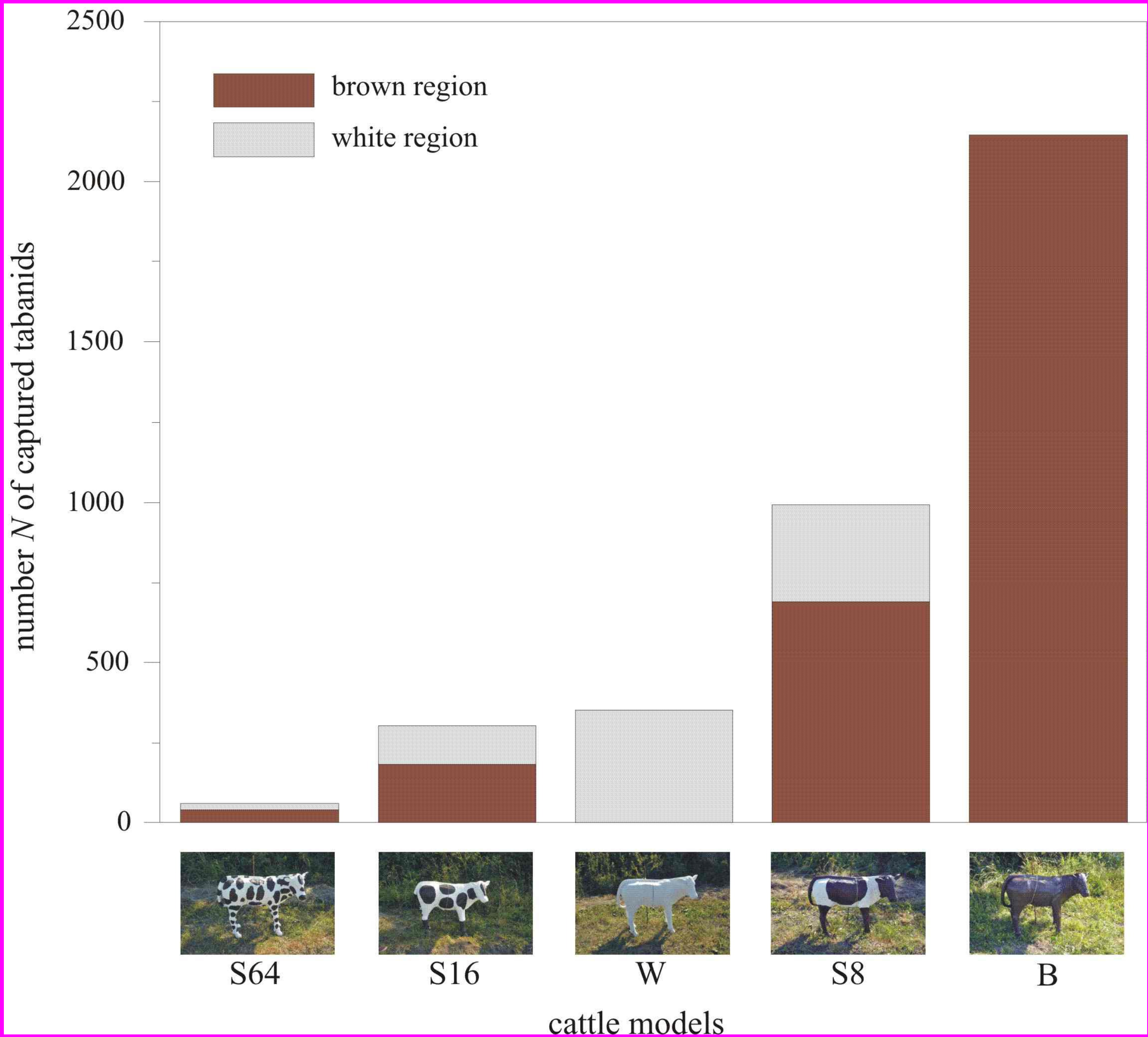
A 2. kísérlet ragadós foltos tehénmakettjeinek polarizációs mintázatai

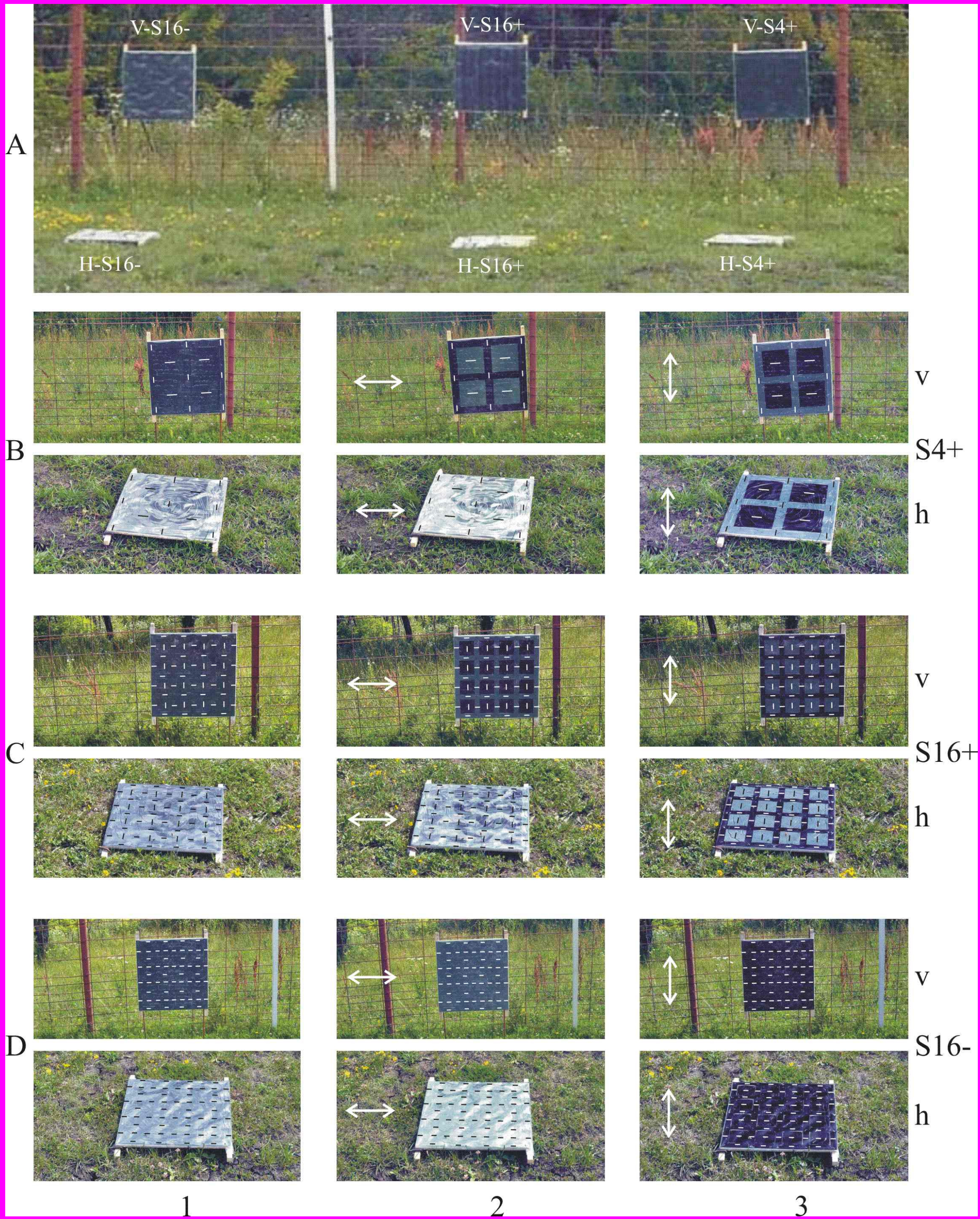


Szarvasmarhák polarizációs mintázatai



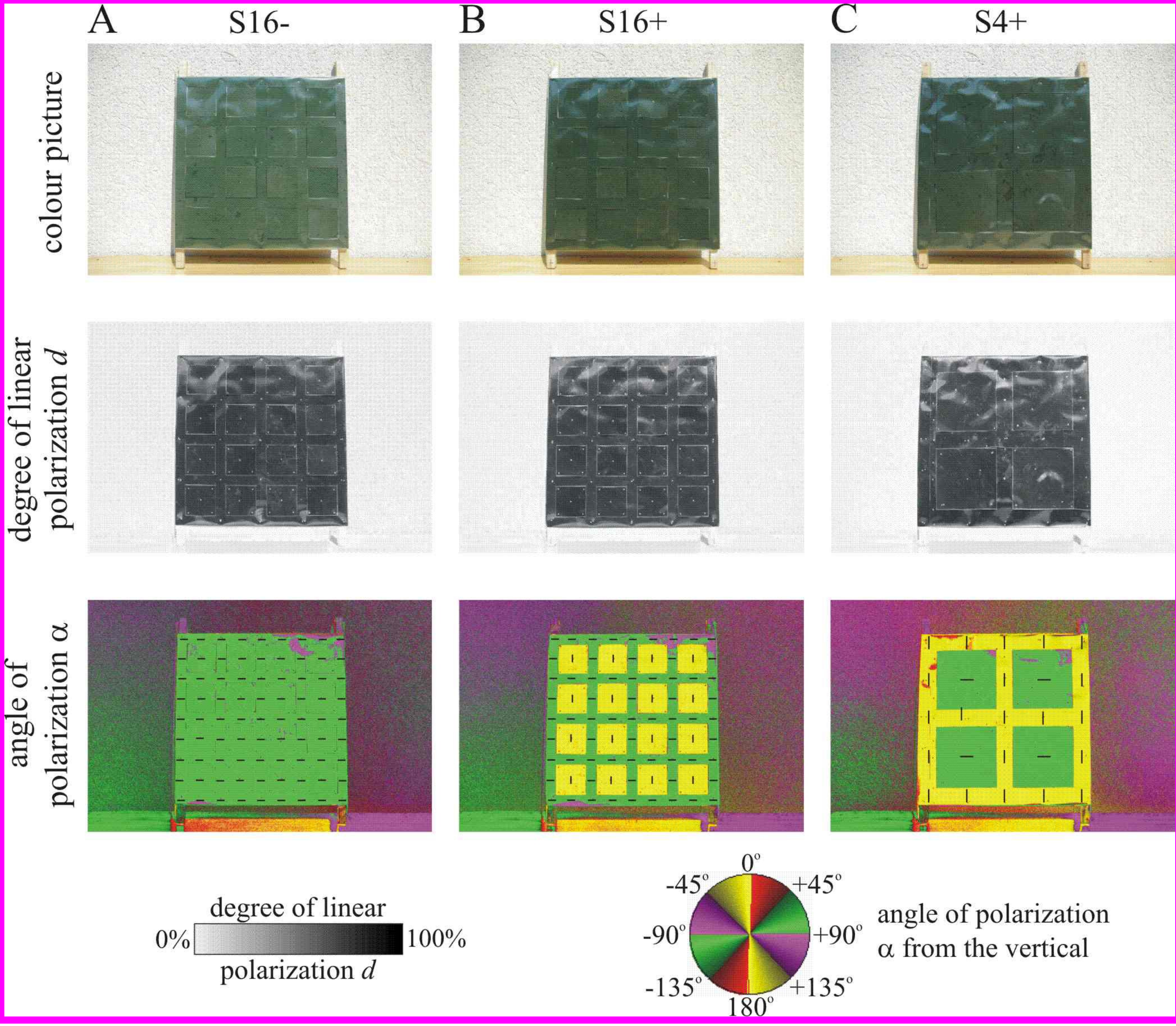
A 2. kísérletben csapdázott böglyök száma



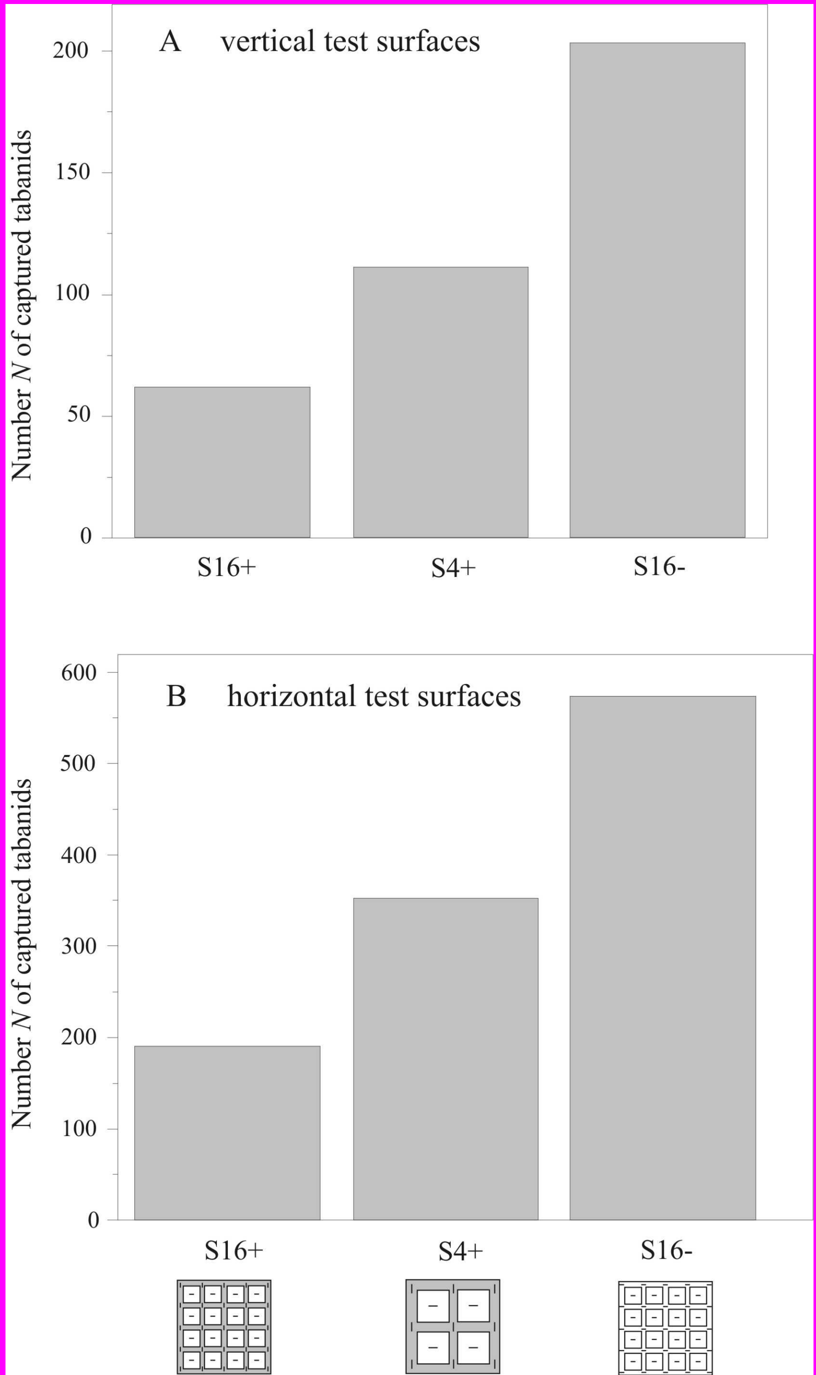


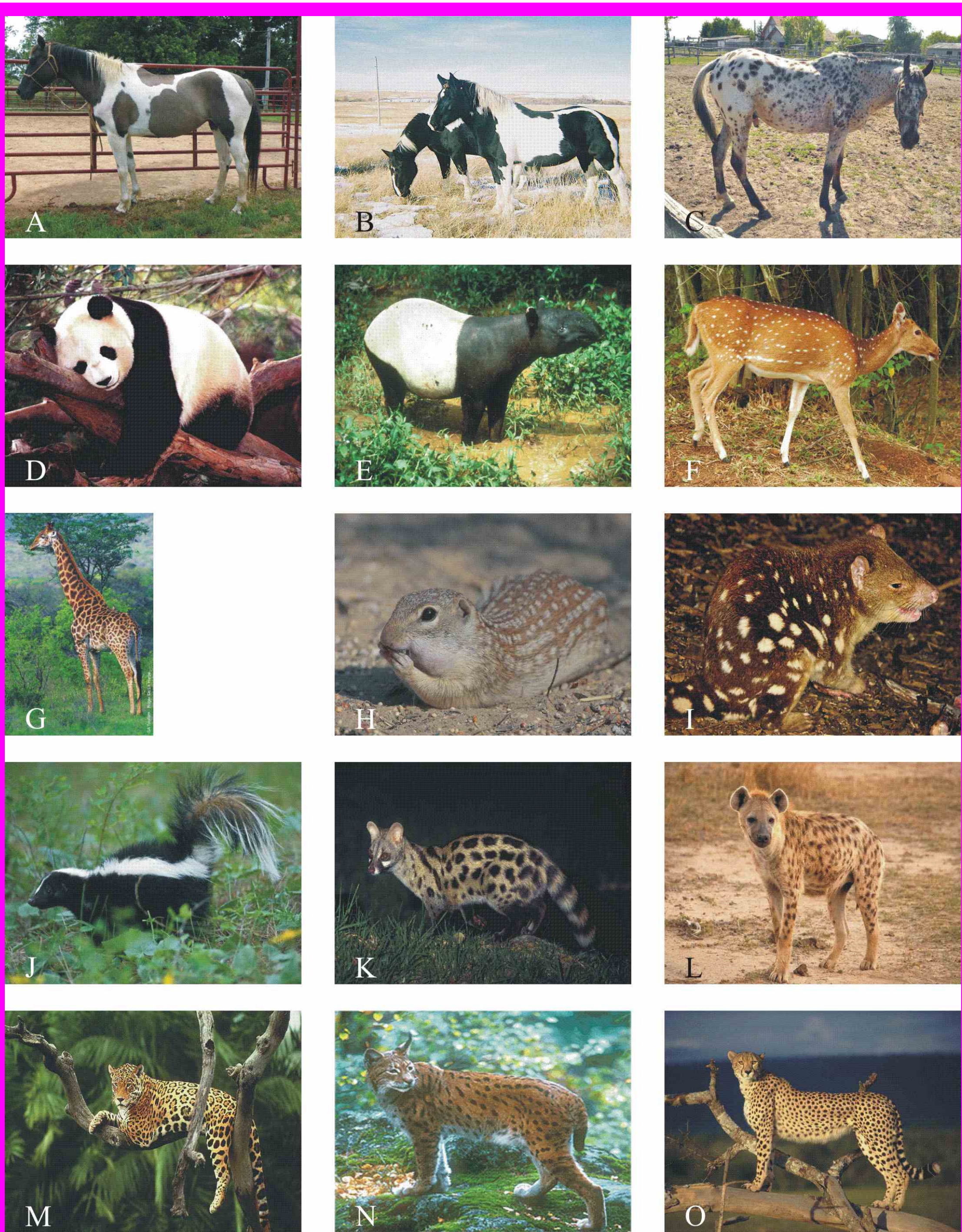
3. kísérlet foltos lineáris polárszűrős ragadós tesztfelületekkel

A 3. kísérlet foltos lineáris polárszűrős tesztfelületeinek polarizációs mintázatai



A 3. kísérletben csapdázott böglyök száma





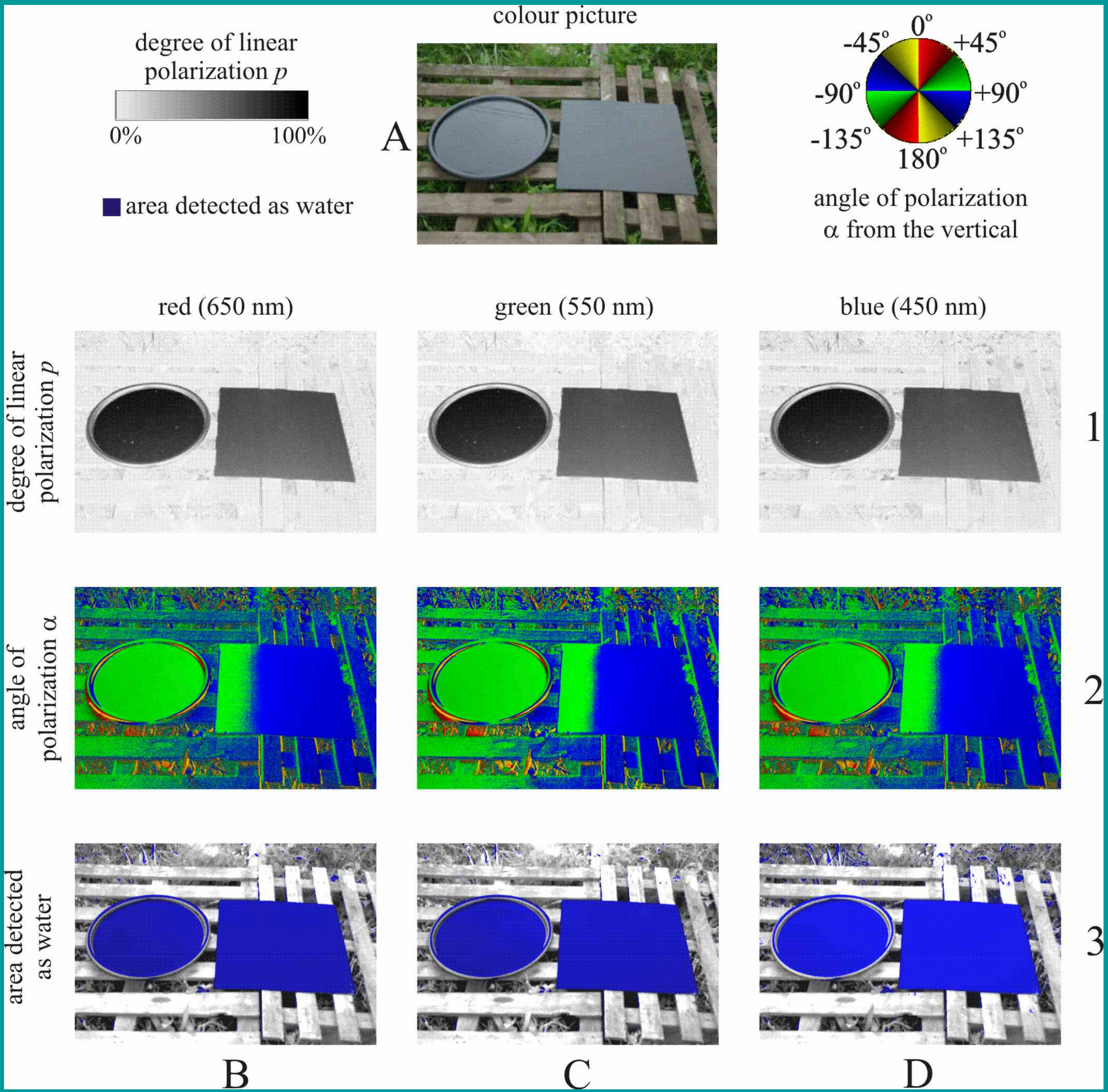
A foltos kültakaró az emlősök körében elterjedt

Új típusú, polarizációs bögölypapír

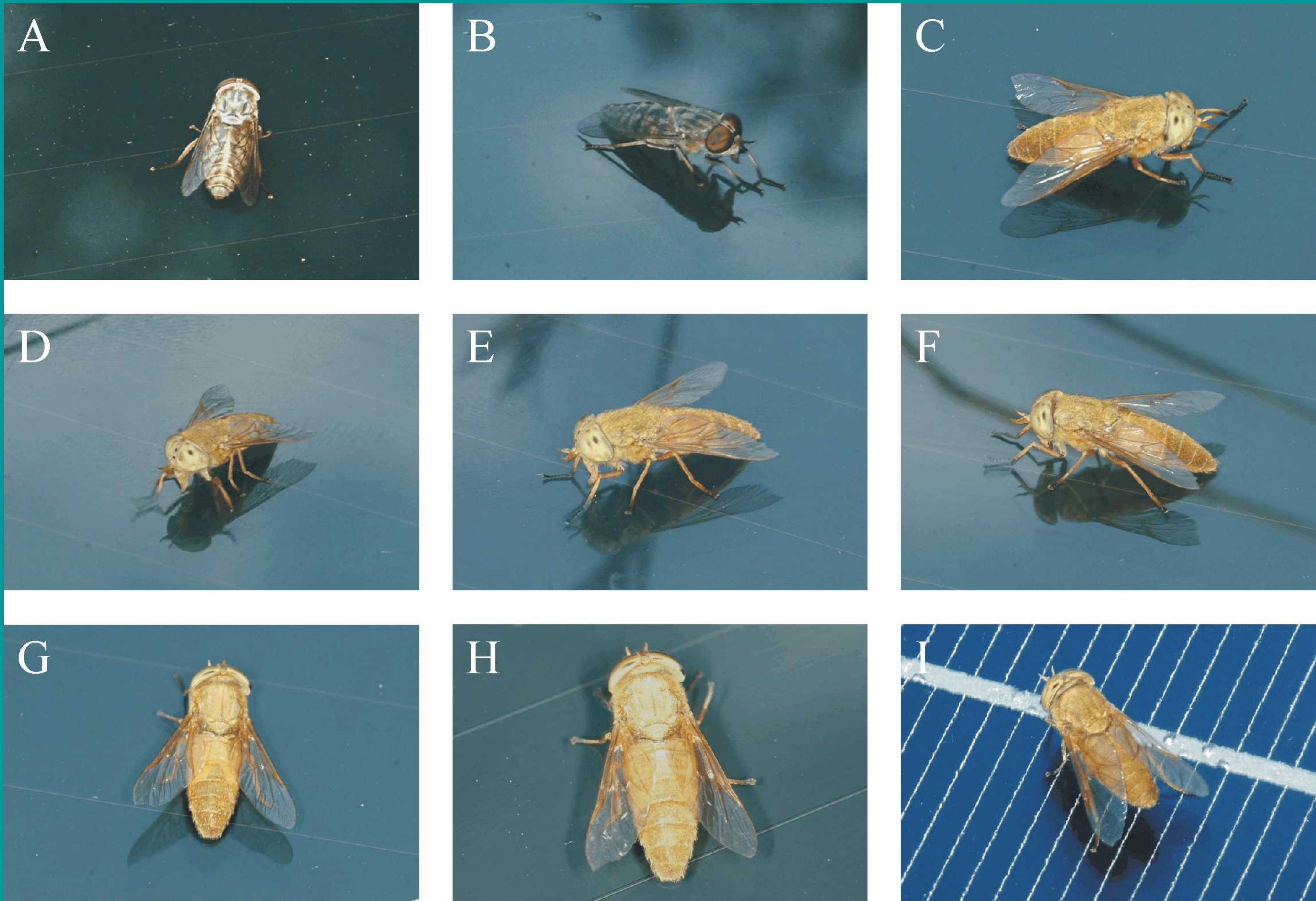
1) fekete, 2) vízszintes, 3) földön fekszik, 4) megfelelően nagy felületű

Polarizációs vizes-olajos bögölycsapda

Az új bögölycsapdák polarizációs mintázatai

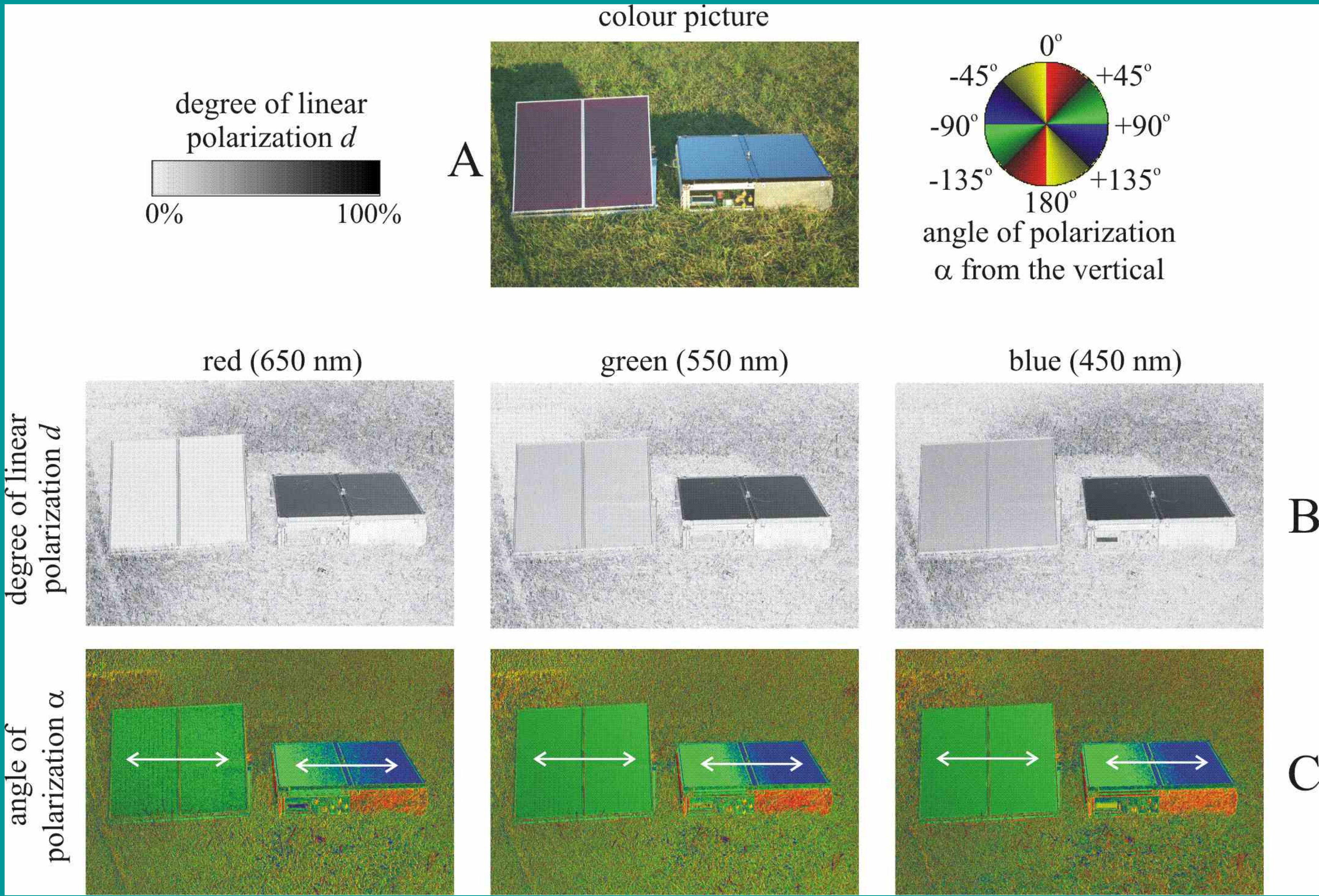


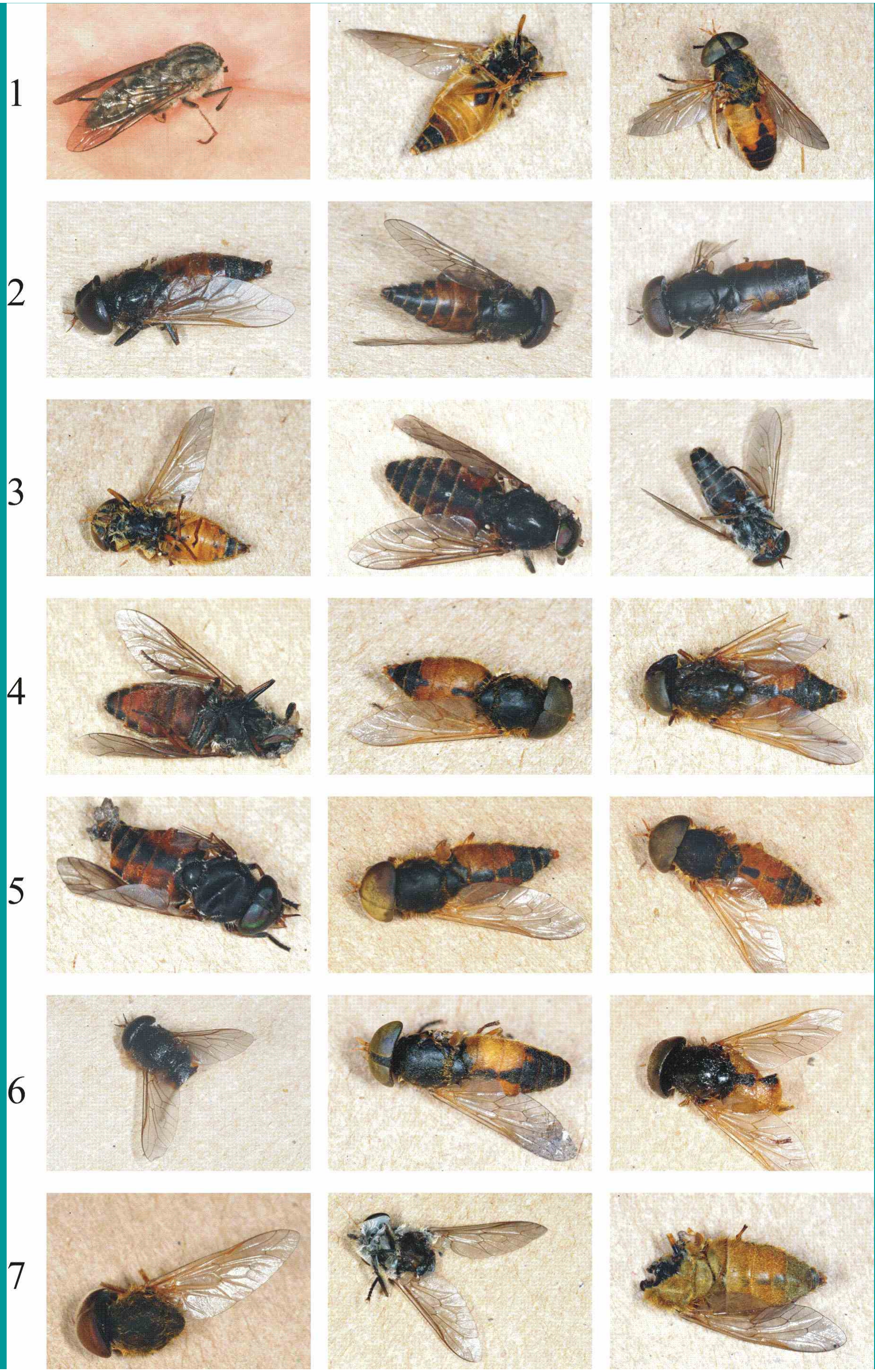
Napelemtáblákra szálló böglyök



Napelemes, forgódrótos bögölycsapda

Napelemes, forgódrótos bögölycsapda polarizációs mintázatai

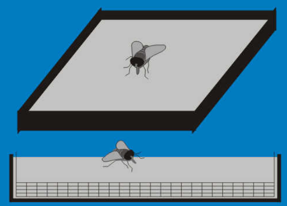


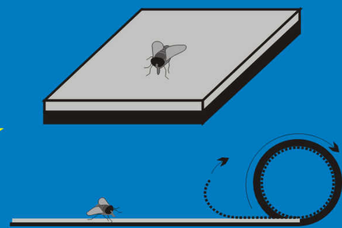


Napelemes, forgódrótos bögölycsapda által elpusztított böglyök tetemei

Research for the Development of TabaNOid Technology

Funded by the European Commission under the 7th Framework Programme



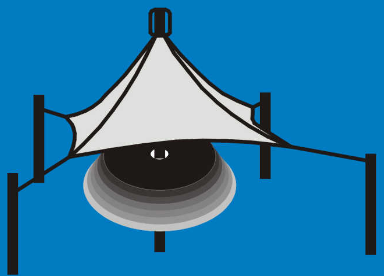


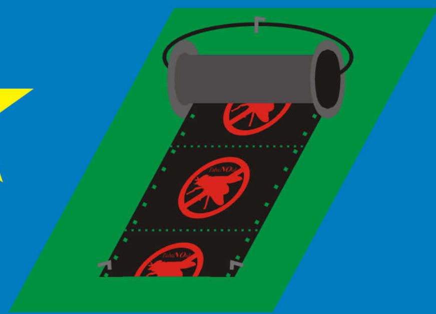
Grant no.: 232366

Project acronym: TabaNOid

TabaNOid

Grant type: Research for the Benefit of Small and Medium Enterprises





Title: Trap for the novel control of horse-flies on open-air fields

Senior researcher: György Kriska (PhD)

Eötvös University, Faculty of Natural Sciences, Biological Institute, Department of Anthropology, Group for Methodology in Biology Teaching

Project leader: Gábor Horváth (habil, PhD, CSc, DSc)

Eötvös University, Faculty of Natural Sciences, Physical Institute, Department of Biological Physics, Biooptics Laboratory

PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B

An unexpecte
in horses: the
has a de

Gábor Horváth[1,*], Mikló
Balázs Gerics[4], R

[1]Environmental Optics Labora
[2]Group for Methodology in Biology

[3]Computer Vision and Robotics

[4]Faculty of Veterinary Science, Depar
Department of Parasitology and Zool
[6]Department of Animal Ecolog

White horses frequently suffer from n
tivity to the ultraviolet solar radiation.
than dark individuals because they c
white horses have been highly appre
that blood-sucking tabanid flies, knc
white than dark horses. We also der
as a signal to find a host. The attrac
by positive polarotaxis. As the host's
has a strong influence on the parasi
horse interaction, our results can prob
as the reflection–polarization charact
not species-dependent.

Keywords: horses; tabanid flie

1. INTRODUCTION

In nature, light grey, or albino (termed 'whit
in this work) ungulates (e.g. horses) are rar
their great vulnerability. They have a highe
to solar radiation often leading to malign
and deficiency of the visual system (Pie
2008). A white-coated animal is easily detect
tors, thus individuals with white coats have b
out from wild populations during evolution.
hand, humans have bred a blood-line of 'w
just because of their rarity in the wild. To
white horse became an icon for dignity, a s
demonstrating wealth (Tresidder 2005).

In this work, we show that white horses ar
tive to blood-sucking tabanid flies compare
horses. Our hypothesis is that this phenc
partly be explained by the polarization vision
polarotaxis in tabanids discovered recently (H
2008): tabanids are strongly attracted to a
artificial sources of horizontally polarize
horses and other mammals suffer considerabl
nids, the tabanid-proof feature of host
advantageous in two respects: on the one
blood-sucking flies are vectors of seriou

* Author for correspondence (gh@arago.elte.hu).

Received 2 December 2009
Accepted 13 January 2010

The Journal of Experimental Biology 215, 736-745
© 2012. Published by The Company of Biologists Ltd
doi:10.1242/jeb.065540

RESEA

Polarotactic tabanids find striped p
modulation least attractiv

Ádám Egri[1], Miklós Blahó[1], György Kriska[2,3], Róbe
Gáb

[1]Environmental Optics Laboratory, Department of Biologi
Pázmány sétány 1, Hungary, [2]Group for Methodology in Biol
Pázmány sétány 1, Hungary, [3]Danube Research Institute, H-
Zoology, Faculty of Veterinary Science, Szent István Univ
Biology, Centre for Animal Movement Research, L
*Author for corres

Accepted

**The characteristic striped appearance of zebras has prov
evolved, but experimental evidence is scarce. Here, we dem
(tabanids) than either homogeneous black, brown, grey or
have considerable fitness impact on potential mammalian
this protection is the polarization of reflected light from th
tabanids is also reduced if only polarization modulations (
occur in horizontal or vertical homogeneous grey surfaces.
light, and we demonstrate here that the light and dark stripe
that disrupts the attractiveness to tabanids. We show that t
and that stripes below a certain size are effective in not a
zebra coats fall in a range where the striped pattern is most
mammals may also function in reducing exposure to taban
of reflected light. This work provides an experimentally s
selective advantage of a black-and-white striped coat patter**

Supplementary material available online at http://jeb.biologists.org/c

Key words: zebra, tabanid fly, horsefly, striped pattern, protection fr

INTRODUCTION

The most characteristic aspects of zebras are the bold black-a
white striped patterns on their body surface (Fig. 1). Embryologi
evidence (Prothero and Schoch, 2003) has shown that
background colour of zebras is black, and the white stripes a
bellies (where the production of dark pigmentation is inhibit
appear only in a later embryonic developmental stage. The rea
for the striped coat pattern in zebras has long been debated,
Wallace suggested that zebras evolved striped coats as camoufl
against carnivores in tall grass (Wallace, 1867; Wallace, 187
Darwin, however, who had closely studied the inheritance
colours and stripes in horses and zebras, criticized this hypoth
as an explanation (Darwin, 1871), as zebras do not occur in ar
with dense vegetation but rather prefer open savannah habitats w
short grass.

Since the 19th century, a number of alternative hypothe
(Waage, 1981; Ruxton, 2002; Lehane, 2005; Caro, 2009) have b
proposed to explain the striped pattern of zebras, including preda
defence, social interaction, indication of physical conditi
thermoregulation, and protection from tsetse flies (a more detai
account is given in the Appendix). These and more explanati

OPEN ACCESS Freely available online PLOS ONE

Spottier Targets Are Less Attractive to Tabanid Flies: On the Tabanid-Repellency of Spotty Fur Patterns

Miklos Blaho[1], Adam Egri[1], Lea Bahidszki[1], Gyorgy Kriska[2,3], Ramon Hegedus[4], Susanne Åkesson[5]*, Gabor Horvath[1]

1 Environmental Optics Laboratory, Department of Biological Physics, Physical Institute, Eötvös University, Budapest, Hungary, 2 Group for Methodology in Biology Teaching, Biological Institute, Eötvös University, Budapest, Hungary, 3 Danube Research Institute, Centre for Ecological Research, Hungarian Academy of Sciences, Vácrátót, Hungary, 4 Computer Vision and Robotics Group, University of Girona, Girona, Spain, 5 Department of Biology, Centre for Animal Movement Research, Lund University, Lund, Sweden

Abstract

During blood-sucking, female members of the family Tabanidae transmit pathogens of serious diseases and annoy their host animals so strongly that they cannot graze, thus the health of the hosts is drastically reduced. Consequently, a tabanid-resistant coat with appropriate brightness, colour and pattern is advantageous for the host. Spotty coats are widespread among mammals, especially in cattle (*Bos primigenius*). In field experiments we studied the influence of the size and number of spots on the attractiveness of test surfaces to tabanids that are attracted to linearly polarized light. We measured the reflection-polarization characteristics of living cattle, spotty cattle coats and the used test surfaces. We show here that the smaller and the more numerous the spots, the less attractive the target (host) is to tabanids. We demonstrate that the attractiveness of spotty patterns to tabanids is also reduced if the target exhibits spottiness only in the angle of polarization pattern, while being homogeneous grey with a constant high degree of polarization. Tabanid flies respond strongly to linearly polarized light, and we show that bright and dark parts of cattle coats reflect light with different degrees and angles of polarization that in combination with dark spots on a bright coat surface disrupt the attractiveness to tabanids. This could be one of the possible evolutionary benefits that explains why spotty coat patterns are so widespread in mammals, especially in ungulates, many species of which are tabanid hosts.

Citation: Blaho M, Egri A, Bahidszki L, Kriska G, Hegedus R, et al. (2012) Spottier Targets Are Less Attractive to Tabanid Flies: On the Tabanid-Repellency of Spotty Fur Patterns. PLoS ONE 7(8): e41138. doi:10.1371/journal.pone.0041138

Editor: Michel Renou, INRA-UPMC, France

Received February 10, 2012; **Accepted** June 18, 2012; **Published** August 2, 2012

Funding: This work was supported by the grant OTKA K-68462 from the Hungarian Science Foundation, and the grant TabaNOid 232366 funded by the European Commission under the 7th Framework Programme received by G. Horváth and G. Kriska. Gábor Horváth thanks the German Alexander von Humboldt Foundation for an equipment donation. Susanne Åkesson is supported by a project grant from the Swedish Research Council and the Centre for Animal Movement Research (CAnMove) financed by a Linnaeus grant (349-2007-8690) from the Swedish Research Council and Lund University. Ramón Hegedüs is a Marie Curie IEF fellow and is grateful for the support of the European Commission. The authors are grateful to Dr. Róbert Farkas and Mónika Gyurkovszky (Department of Parasitology and Zoology, Faculty of Veterinary Science, Szent István University, Budapest) for the taxonomical determination of the captured tabanids. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: susanne.akesson@biol.lu.se

Introduction

The coat pattern of cattle (*Bos primigenius*) has a remarkably large diversity ranging from homogeneous black and brown, through brown-white or black-white spotty, to homogeneous grey or white. These coat patterns are specific to species and races, and are the result of domestic breeding. The different coat patterns have some trivial advantages and disadvantages. The darkness of the coat influences the thermoregulation of the animal [1,2], for example: black or brown coats absorb sunlight much more than white or grey ones. The visibility of the animal depends strongly on the brightness and colour of the coat in contrast to the background. At a given background the coat pattern also influences the visual detectability such that a spotty coat makes the animal conspicuous against a homogeneous background, but can endow with camouflaging at a structured background, for instance, similar to what has been shown by a classical experiment in the moth *Biston betularia* [3,4]. During breeding the brightness, colour and spottiness of the coat in cattle and horses are usually of marginal importance and are the by-product of cross-breeding aiming to maximize other economically more important characteristics of the animal, e.g. the milk or meat production, weather-proofness, or the shape or size of the animals.

It has been demonstrated that the tabanid load of horses can be reduced by a homogeneously bright (white or grey) coat [5]. The study demonstrated that white horses attract much less blood-sucking female members of the family Tabanidae (tabanids henceforward) than dark (black or brown) horses. This phenomenon was partly explained by the polarizing capacity of the horse's coat and the positive polarotaxis of tabanids. Tabanids lay their eggs onto plants or mud near water, and thus must find water for oviposition. Like aquatic insects in general [6,7,8,9,10], tabanids detect water by means of the horizontal polarization of light reflected from the water surface, thus they are attracted to horizontally polarized light [11]. The higher the degree of horizontal polarization of reflected light, the more polarotactic tabanids are attracted [12]. In [13] it was showed that female and male tabanids find water by the horizontally polarized water-reflected light, while the polarotaxis of female tabanids that serves

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Mathematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Mathematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LX. évfolyam 5. szám 2010. május

A LOVAK FEHÉRSÉGÉNEK EGY NEM VÁRT ELŐNYE

A leginkább „bögölyálló” ló depolarizáló fehér szőrű, a fekete ló pedig szenvedi polarizáló szőrét

Blahó Miklós, Horváth Gábor, ELTE Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest
Hegedüs Ramón, Gironai Egyetem, Számítógépes Látás és Robotika Csoport, Girona, Spanyolország
Kriska György, ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport, Budapest
Gerics Balázs, Szent István Egyetem, Anatómiai és Szövettani Tanszék, Budapest
Farkas Róbert, Szent István Egyetem, Parazitológiai és Állattani Tanszék, Budapest
Susanne Åkesson, Lundi Egyetem, Biológia Tanszék, Lund, Svédország

A fehér lovak gyakran szenvednek az ultraibolya napsugárzással szembeni nagy érzékenységükből fakadó rosszindulatú bőrrákban és látórendszeri betegségekben. Ráadásul a vadon élő fehér lovakat a ragadozók könnyebben elejtik, mert fehérségük miatt kevésbé tudnak rejtőzködni, mint sötétebb színű fajtársaik. Nagyobb sebezhetőségük ellenére a fehér lovakat az emberek évezredek óta nagy becsben tartják, éppen a természetbeni ritkaságuk miatt. Cikkünkben megmutatjuk, hogy a bögölyök kevésbé vonzódnak a fehér lovakhoz, mint a sötét színűekhez. A bögölyök számos egészségügyi és gazdasági problémát okoznak az embereknek és állatoknak egyaránt, mivel nőstényeik betegségek kórokozóit terjesztik, miközben a gerincesek vérét szívják. Azt is bizonyítjuk, hogy a bögölyök a vérszívásra alkalmas gazdaállatot részben az annak testfelületéről visszavert poláros fény segítségével találják meg. A bögölyök főként fekete és barna szőrű lovakhoz való vonzódása a pozitív polarotaxisukkal, vagyis az erősen és vízszintesen poláros fényhez való vonzódásukkal magyarázható. Mivel a gazdaállat színe meghatározza a bögölyökre kifejtett vonzerejét is, ezáltal kihat a gazdaállat kórokozók általi megfertőződésére is. Habár kizárólag a bögölyök és lovak közti vizuális kölcsönhatást vizsgáltuk, a jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeink érvényesek lehetnek a polarotaktikus bögölyök más gazdaállataira is.

A természetes kiválasztódás és a hímek versengése a nőstényekért sok esetben vezetett a kültakaró (tollazat, szőrzet) látványos mintázataihoz, amelyek a hímekben hordozott „jó gének” és a paraziták elleni nagy ellenálló képesség vizuális jelzőinek számítanak [1–3]. A tesztoszteron szabályozza a szőrzet növekedését [4] és a melaninképződést [5], valamint befolyásolja a hímek agresszióját [6], amely jellemzők a hímek dominanciájával és megnövekedett párosodási lehetőségével állnak szoros kapcsolatban. Ugyanakkor a magasabb tesztoszteronszint nagyobb parazitaterheléssel és a paraziták miatti nagyobb halálozási aránnyal jár együtt [7, 8]. A feltűnőségük miatti nagy sebezhetőségük következtében a természetben csak igen ritkán fordulnak elő fehér (világos szürke vagy albínó) lovak és más patás állatok. Az ilyen fehér állatok sokkal kevésbé védettek a napsugárzás ultraibolya összetevőjével szemben, ami megnöveli a bőrrák kialakulásának esélyét, továbbá a látórendszer betegségeihez vezethet [9]. Egy fehér patást a ragadozók könnyen észrevesznek, ezért a fehér egyedek az evolúció során kiszelektálódtak a vadonélő populációkból. Másrészt viszont – éppen a természetbeli ritkaságuk miatt – az emberek kitenyésztették a fehér (lovas szaknyelven szürke) lovak különféle fajtáit. A fehér ló az emberi kultúrában idővel a ritkaság, a méltóság és a gazdagság státusz-szimbólumává vált [10]. Gondoljunk csak például Árpád vezérünk vagy

Miért csíkos a zebra?

A poláros fényszennyezés csökkentésének trükkje

[3, 4] látott még napvilágot arra vonatkozóan, hogy milyen funkciói és esetleges evolúciós előnyei lehetnek a zebrák fekete-fehér csíkos mintázatának:

– *Látszólagos méretnövekedés.* A csíkok, egy vizuális illúzió révén, nagyobbnak láttathatják a zebrát a valóságos méreténél, ami előnyt jelenthet a ragadozóikkal szembeni védekezés során.

– *Láthatóság csökkenése gyér fényviszonyoknál.* Gyengébb megvilágítási körülmények között (alkonyatkor, hajnalban, holdfényben) a csíkok megnehezíthetik, hogy a zebrákat a ragadozók fölismerjék.

– *A mozgó csíkok látványa elkápráztathatja a ragadozókat.* A csordában menekülő zebrák ide-oda mozgó csíkjai megnehezíthetik a ragadozók számára a zebraegyedek elkülönítését.

– *Rejtőzködés.* A csíkos kültakaró lehetővé teheti a zebráknak, hogy észrevétlenek maradjanak természetes környezetükben a test határvonalának nehezebb fölismerhetősége miatt. Az egyébként nem csíkos mintázatú patás fajok többségénél a sebezhetőbb fiatal és a kifejlett nőstény egyedeknél is megfigyelhető a hatékonyabb álcázást biztosító csíkos testmintázat.

– *Szociális előnyök.* Mivel a csíkos kültakaró egyedi jellegzetességeket mutat, mint az emberi ujjlenyomat, a zebrák esetleg azonosítani tudják egymást a testmintázatuk alapján. E képesség különösen fontos lehet az anyaállat és csikójának kapcsolattartásában, vagy udvarláskor a hímek és nőstények közti kommunikációban.

– *A fizikai állapot jelzése.* A sebesülések, sérülések vagy valamilyen kóros elváltozás miatt kialakuló szabálytalanságok a csíkos mintázatban vizuálisan jelezhetik az egyed leromlottabb fizikai állapotát (fitneszét), ami hatással lehet a párválasztásra.

– *Hőszabályozás.* A bőr alatti zsírszövet és a fekete csíkok elhelyezkedése összhangban áll egymással, miáltal e zsírszövetcsíkok egyfajta hőtároló szervként működhetnek, ami szerepet játszhat a test hőszabályzásában. Másrészt, a fekete és a fehér csíkok eltérő mértékű fölmelegedése miatt a kültakaró fölött apró föl- és leszálló légáramok alakulhatnak ki, melyek fokozhatják a hőleadást.

– *Védelem a cecelegyek ellen.* Egyes megfigyelések szerint a zebrákat kevésbé támadják a vérszívó cecelegyek, mint más egyszínű patás állatokat. A cecelegyek vérszívásukkal súlyos betegségek, többek között az afrikai álomkór kórokozóit terjesztik.

Ruxton [3] és *Caro* [4] arra a következtetésre jutottak, hogy e hipotézisek többségét semmiféle kísérleti adat nem támasztja alá, miáltal még ma sem tudjuk, hogy miért alakult ki a zebrák csíkos mintázata. Mindazonáltal, a legelfogadottabb magyarázat szerint a csíkok védhetnek a cecelegyek ellen [5].

Bögölyök és lovak

A nőstény bögölyöknek petéik érleléséhez emlősök vérére van szükségük. Vérszívásukkal (**2. ábra**) számos veszélyes kórokozó hordozói és terjesztői, emellett vérveszteséget okoznak, fájdalmas csípésükkel pedig zaklatják a legelő lovakat és szarvasmarhákat, ami jelentős gazdasági kárral (lassabb testtömeg-gyarapodással, csökkent tejtermeléssel) jár. Attól függően, hogy a különböző bögölyfajoknak milyen a földrajzi eloszlása Afrika-szerte, e vérszívó legyek súlyos állategészségügyi problémákat jelenthetnek a zebráknak is.

2. ábra. Barna ló vérét szívó nőstény bögöly (b) és a kibuggyanó vérből lakmározó más legyek (ℓ).

A bögölyfajok vizek közelében rakják le petecsomóikat, lárváik vízben vagy nedves talajban fejlődnek. Emiatt a kifejlett nőstények és hímek vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez, mert a vízről visszaverődő ilyen fény alapján találják meg a vizet [6]. A bögölyök pozitív polarotaxisának öt fontos funkciója van. (i) A nőstények számára kijelöli a jó peterakó helyet, ahol a lárvák a vízbe juthatnak. (ii) Nagyobb eséllyel találnak a nőstények gazdaállatot, hiszen a társas növényevők gyakran megtalálhatók az édesvizek mellett, ahol isznak, vagy fürdenek. (iii) Útmutató a nőstények és a hímek számára a vízlelőhelyek felé, ahol ihatnak és hűthetik magukat. (iv) Mindkét nemet olyan helyre irányítja, ahol nagy valószínűséggel egymásra találnak és párosodhatnak. (v) A bögölyök kevésbé vonzódnak a fehér, mint a sötét (fekete, barna) szőrű emlősökhöz, továbbá a szőrzetről visszaverődő fény polarizációja is segíti őket a gazdaállat megtalálásában [7].

A zebracsíkos kültakaró átmenet az egyszínű fekete és fehér között, ezért azt vártuk, hogy a zebrák bögölyvonzó-képessége a fehér és fekete lovaké közé esik. Ezt több terepkísérletben tanulmányoztuk.

Terepkísérletek zebracsíkos mintázatok bögölyvonzásának vizsgálatára

Az *1. kísérletben* egy szokolyai lovas tanya közelében három, étolajjal töltött, fehér peremű fekete tálcát helyeztünk a földre, melyekből több héten keresztül, naponta begyűjtöttük a csapdázott bögölyöket. Az egyik tálca teljesen fekete volt, a másikon és harmadikon 2, illetve 6 fehér csík egymásra merőlegesen (**3. ábra**, **1. sor**). A tálcák sorrendjét naponta véletlenszerűen változtattuk. Mivel a különböző számú fehér csíkokkal ellátott tálcák fekete összfelülete kissé eltérő volt, ezért a bögölyökre kifejtett vonzóképesség vizsgálatakor a csapdázott bögölyöknek az egységnyi fekete (a fényt erősen és vízszintesen polarizáló) csapdafelületre eső számát hasonlítottuk össze.

A *2. kísérletben* egy gödi lovas tanyán két hónapon át öt, étolajjal teli tálcát hagytunk a földön, néhány naponta változó sorrendben (**3. ábra, 2. sor**): egy fekete és egy fehér tálca, valamint három másik, kétszer akkora felületű tálca 1–1, 3–3, illetve 6–6 darab fekete-fehér párhuzamos csíkkal, azonos nagyságú fehér és fekete összfelülettel. Itt is rendszeres időközönként begyűjtöttük a csapdázott bögölyöket.

A *3. kísérletben* az említett szokolyai lovas tanya mellett egy hónapig volt a földön naponta véletlenszerűen változó sorrendben három azonos nagyságú, fekete-fehér csíkos tesztfelület, melyeket átlátszó, színtelen, szagtalan, eső- és napfényálló ragaccsal kentünk be. Az 50–

A foltos kültakaró előnye

A szarvasmarhák kültakarójának mintázata változatos. Az állattenyésztők elsődleges célja a marhafajták gazdaságilag fontos tulajdonságainak, mint a tej- és húshozam vagy a parazitákkal, vagy időjárással szembeni ellenálló-képesség maximalizálása, miáltal a szőrzet színe és mintázata csak másodlagos szempont. Vérszívás közben a nőstény böglyök súlyos betegségek kórokozóit vihetik át a gazdaállataikba, továbbá annyira zaklathatják azokat, hogy nem tudnak legelni, így a tej- és hústermelésük drasztikusan csökken. Egy megfelelő színű és mintázatú kültakaró azonban minimalizálhatja a böglyök támadásait, s ezáltal a gazdaállatot bizonyos előnyhöz juttathatja. Terepkísérletekben a foltok méretének s nagyságának és böglyökre gyakorolt vonzóképességének a kapcsolatát vizsgáltuk. Kimutattuk, hogy minél kisebbek a foltok és minél több van belőlük, annál kevésbé vonzó a foltos gazdaállat a böglyök számára, s mindebben nagy szerepet játszik a kültakaróról visszaverődő fény polarizációja is. Ez lehet az egyik oka annak, hogy a kültakaró foltos és csíkos mintázatai az emlősök körében meglehetősen elterjedtek, különösen a patásoknál, melyek többsége a böglyök gazdaállatai közé tartozik.

A szarvasmarhák kültakarójának mintázata változatos, kezdve a homogén fekete vagy barna színűtől a barna-fehér, illetve fekete-fehér foltoson át az egységesen fehér vagy szürke színűig (**1. ábra**). Ezen adott fajra/fajtára jellemző kültakaró-mintázatok az állattenyésztés eredményei. A különböző mintázatoknak van néhány jól ismert előnye és hátránya. A kültakaró sötétsége például befolyásolja az állat hőháztartását [1]: a fekete vagy barna több fényt nyel el, mint a szürke vagy a fehér. Az állat láthatósága erősen függ a testszín világosságától és a háttértől; ha a színe hasonló a háttéréhez, akkor nehéz észrevenni. Egy adott optikai háttér előtt a mintázat szintén befolyásolja a láthatóságot: egy foltos állat feltűnő lesz a homogén háttér előtt, de a strukturált háttérbe beleolvad. A tenyésztés során a szarvasmarhák kültakarójának világossága, színe és foltossága háttérbe szorult és csak melléktermékei a keresztezésnek, aminek fő célja, hogy gazdaságosság szempontjából maximalizálja az állatok más, fontosabb tulajdonságait, mint például a tej- vagy hústermelést, az időjárással szembeni ellenálló-képességet, a formát vagy a méretet.

Nemrég derült ki [2, 3], hogy a fehér lovak kevesebb vérszívó böglyöt vonzanak, mint a feketék vagy barnák. E jelenség részben a lovak szőrének fénypolarizáló-képességével és a böglyök pozitív polarotaxisával magyarázható. A böglyök vízparti növényekre vagy víz melletti nedves helyekre rakják petéiket, éppen ezért vizet kell találniuk a petézésükkor. Mint a szaporodásukban vízhez kötődő rovarok általában [4, 5], a böglyök is a vízfelszínről visszavert vízszintesen poláros fény alapján találják meg a lárváik kifejlődéséhez szükséges víztesteket [6, 7]. Minél nagyobb a vízszintesen poláros visszavert fény polarizációfoka, annál több böglyöt vonz [8].

A nőstény böglyök petéik érleléséhez az emlősök vérét szívják. Eközben súlyos betegségek kórokozóit is terjeszthetik [9]. A szarvasmarhákat erősen zavarhatják a böglyök támadásai, aminek eredményeként kevesebbet legelnek a nap folyamán, ezért a testtömegük és tejtermelésük erősen lecsökken [10]. A lovak hasonlóképpen szenvednek a böglyök zaklatásaitól, minek következtében lefogynak, illetve a folytonos zavarások miatt nem lehet őket meglovagolni. A kültakaró megfelelő világossággal, színnel és mintázattal minimalizálhatja a bögölyvonzó-képességet, ami előnyös a böglyök gazdaállatai számára.

A böglyök gazdaállathoz való vonzódása nemcsak a világos (szürke vagy fehér) kültakaróval csökkenthető [2, 3], hanem a kültakaró megfelelő mintázatával is. Kiderült, hogy például a zebrák fekete-fehér csíkos mintázata hatékony védelmet nyújt a böglyök támadásai ellen, mert a bögölyvonzó-képesség drasztikusan csökken a csíkszélesség csökkenésével [11, 12]. A csíkok szélessége olyan határok között változik a zebráknál, hogy bögölyvonzásuk minimális. A csíkos mintázat előnyös a böglyök más gazdaállatai számára is, és talán ez az egyik oka a csíkos kültakaró széles körben való elterjedésének az emlősök, különösen a patások körében.

1. ábra. A szarvasmarhák kültakarójának mintázata sokféle, kezdve a homogén fekete (A) vagy barna színűtől (B), a barna-fehér (C), illetve fekete-fehér foltoson (D, E) át, az egységesen fehér vagy szürke színűig (F). Foltos kültakarójú emlősök. (G) Amerikai foltos ló *(Equus caballus)*. **(H) Magyar foltos ló** *(Equus caballus)*. **(I) Pöttyös őz** *(Axis axis)*. **(J) Zsiráf** *(Giraffa camelopardalis)*. **(K) Mexikói földimókus** *(Spermophilus mexicanus)*. **(L) Tigris quoll** *(Dasyurus maculates)*. **(M) Közönséges petymeg** *(Genetta genetta)*. **(N) Foltos hiéna** *(Crocuta crocuta)*. **(O) Gepárd** *(Acinonyx jubatus)*

nature Vol 463|18 February 2010

RESEARCH HIGHLIGHTS

Why horses wear white

Proc. R. Soc. B doi:10.1098/rspb.2009.2202 (2010)

White horses are more susceptible to skin cancer and predation than their darker kin, but their coats seem to protect them from another danger: pathogen-bearing horseflies.

Gábor Horváth at Eötvös University in Budapest and his colleagues tracked the landing frequency of horseflies on horses of different colours. The flies preferred black and brown horses. When the team covered horse models in transparent glue, more than 15 times as many horseflies stuck to dark models as to white ones.

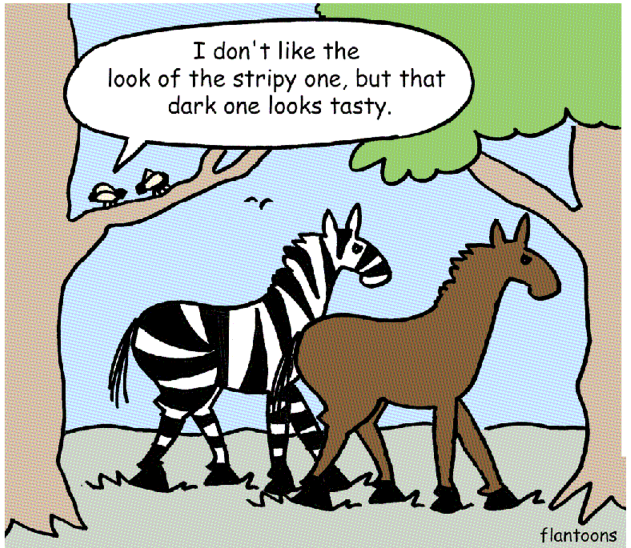
The authors found that, unlike white horses, dark-coloured horses reflect polarized light, which horseflies can detect. A brown matt cloth attracted horseflies only if it was covered by a transparent, light-polarizing sheet, demonstrating that polarized light, not dark colour, draws the flies.

MCMATIUK & EASTCOTT/CORBIS/PHOTOLIBRARY

*Science*Shots

Bug repellent. White horses have a tough time in the wild. They're prone to skin cancer, and they stick out to predators. But they do have one advantage: They attract far fewer blood-sucking horseflies than do brown or black horses. The reason has to do with physics, researchers report online 3 February in the *Proceedings of the Royal Society B*. The flies home in on polarized light--light whose electric field vibrates in a single direction--which a horse's glossy coat reflects in abundance. But a white horse's pale hide and hair also reflect large amounts of non-polarized light, scrambling the signal that otherwise says "I'm tasty" to hungry horseflies. *(Photo: Photos. com)*

HOW THE ZEBRA GOT ITS STRIPES



If there was a 'Just So' story for how the zebra got its stripes, I'm sure that Rudyard Kipling would have come up with an amusing and entertaining camouflage explanation. But would he have come up with the explanation that Gábor Horváth and colleagues from Hungary and Sweden have: that zebra's stripes stave off blood-sucking insects (p. 736)?

Horseflies (tabanids) deliver nasty bites, carry disease and distract grazing animals from feeding. According to Horváth, these insects are attracted to horizontally polarized light because reflections from water are horizontally polarized and aquatic insects use this phenomenon to identify stretches of water where they can mate and lay eggs. However, blood-sucking female tabanids are also guided to victims by linearly polarized light reflected from their hides. Explaining that horseflies are more attracted to dark horses than to white horses, the team also points out that developing zebra embryos start out with a dark skin, but go on to develop white stripes before birth. The team wondered whether the zebra's stripy hide might have evolved to disrupt their attractive dark skins and make them less appealing to voracious bloodsuckers, such as tabanids.

Travelling to a horsefly-infested horse farm near Budapest, the team tested how attractive these blood-sucking insects found black and white striped patterns by varying the width, density and angle of the stripes and the direction of polarization of the light that they reflected. Trapping attracted insects with oil and glue, the team found that the patterns attracted fewer flies as the stripes became narrower, with the narrowest stripes attracting the fewest tabanids.

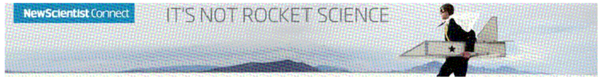
The team then tested the attractiveness of white, dark and striped horse models. Suspecting that the striped horse would attract an intermediate number of flies between the white and dark models, the team was surprised to find that the striped model was the least attractive of all. Finally, when the team measured the stripe widths and polarization patterns of light reflected from real zebra hides, they found that the zebra's pattern correlated well with the patterns that were least attractive to horseflies.

'We conclude that zebras have evolved a coat pattern in which the stripes are narrow enough to ensure minimum attractiveness to tabanid flies', says the team and they add, 'The selection pressure for striped coat patterns as a response to blood-sucking dipteran parasites is probably high in this region [Africa]'.

10.1242/jeb.070680

Egri, Á., Blahó, M., Kriska, G., Farkas, R., Gyurkovszky, M., Åkesson, S. and Horváth, G. (2012). Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *J. Exp. Biol.* **215**, 736-745.

Kathryn Knight
kathryn@biologists.com



Zoologger: Don't bite – how the zebra got its stripes

12:56 09 February 2012 by Wendy Zukerman
For similar stories, visit the Zoologger Topic Guide

Zoologger is our weekly column highlighting extraordinary animals – and occasionally other organisms – from around the world

Don't bite me (*Image: Design Pics Inc/Rex Features*)

Species: *Equus burchelli, E. grevyi, E. zebra*

Habitat: Open grassland areas and woodlands

Zebras are quite the communists. They graze together, groom each other and stay in packs to protect themselves from predators. And while some herds reportedly contain harems, a recent study observed peaceful and equal interactions amongst the sexes.

But it's not their egalitarian habits that define them, it's their distinctive black and white stripes, which for centuries have puzzled biologists. Now Adam Egri at Eötvös University in Budapest, Hungary, and colleagues have an answer: they believe zebras evolved stripes to protect themselves from blood-sucking insects.

The zebra is completely black as an early embryo, and white stripes only appear in a later embryonic stage, when the production of dark pigmentation is blocked. Each zebra has subtly different stripes, acting like nature's own barcode.

Charles Darwin wondered what purpose they served. A popular theory, both in the 19th century and today, is that zebras evolved striped coats as camouflage in tall grass. But, as Darwin noted, the "stripes cannot afford any protection in the open plains of South Africa".

Social stripes

More recently, biologists have observed that zebras don't attempt to conceal themselves by freezing in response to predators. Zoologist Desmond Morris wrote in his *Animal watching: A field guide to animal behaviour* that "compared to many hoofed animals on the plains of Africa, they are remarkably mobile and noisy and never attempt to hide in cover".

Darwin suggested that zebras developed their unique stripes to recognise each other, which could be particularly important for male and female courtship. "A female zebra would not admit the addresses of a male ass until he was painted so as to resemble a zebra," Darwin wrote.

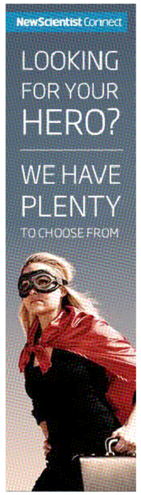
Martin How at the University of Queensland, Australia, agrees that the stripes have an obvious social function. "But it's possible they appeared for another reason and the social benefits came later."

How says he has unpublished evidence suggesting that the stripes evolved to confuse predators, giving zebras crucial time to escape. He analysed videos of zebras with a motion detection program that mimics how movement is encoded in the animal brain. Their stripe pattern generated a range of optical illusions which would baffle a predator, he says. This effect was particularly strong when the animals moved together as a herd.

Dark horse

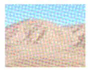
Another suggestion is that the stripes create a visual illusion, which makes the zebra look bigger that it is. Or perhaps the stripes assist with thermoregulation. But there is little evidence to support these claims, so the evolutionary explanation for the zebras' stripes has remained murky.

Egri's team picked up on a theory first proposed in 1930 and backed up in 1981, when it was demonstrated that biting tsetse flies were least attracted to striped animal models, when compared to black or white models.



More Latest news

Underground oasis found below Earth's driest desert



00:25 18 February 2012
A thriving community of microbes flourishes two metres below the surface of Chile's parched Atacama desert – the news bodes well for the chances of Mars life

Parasite-plagued flies self-medicate on booze

17:29 17 February 2012
The problems of fruit flies infested by parasitic wasps disappear when they have booze-soaked meals

'Immortal' Tasmanian devil brings vaccine hope

15:12 17 February 2012
Genome scans show that fatal facial cancers evolved from a single Tasmanian devil alive around 16 years ago, and reveal possible vaccine targets

National Geographic Daily News

Zebra Stripes Evolved to Repel Bloodsuckers?

To scientists' surprise, pattern optimally scrambl vision.

Thin stripes—especially repellent to horseflies—protect zebras' delicate facial skin (file pic

Photograph by Chris Gray, My Shot

Rachel Kaufman
for National Geographic News

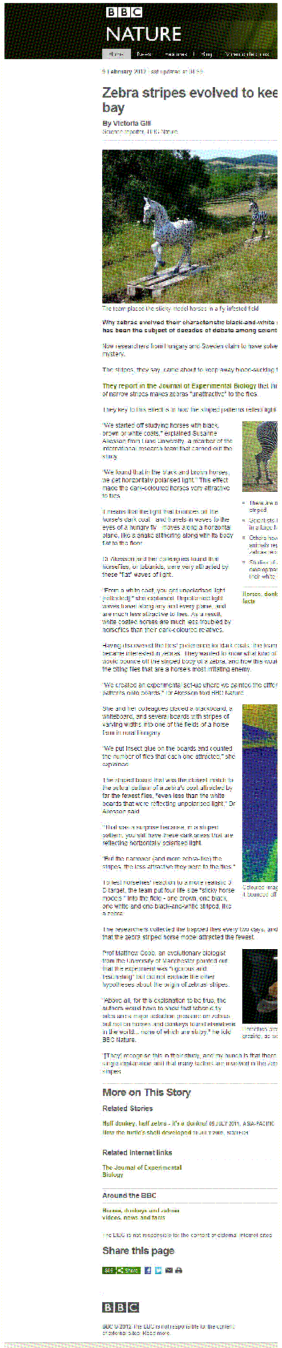
Published February 9, 2012

Conventional wisdom says a zebra's black-and-white stripe the animal in tall grass—the better to evade the colorblind new study says the pattern scrambles the vision of a tinier bloodsucking horsefly.

Horseflies, the females of which feed on blood, are attracted to polarized light—l oriented in a particular direction and that we experience as glare. This glare lures likely because it resembles light reflected off water, where they lay their eggs.

On horses, black fur reflects polarized light better than brown or white, as evoluti Susanne Åkesson and colleagues found in a previous study.

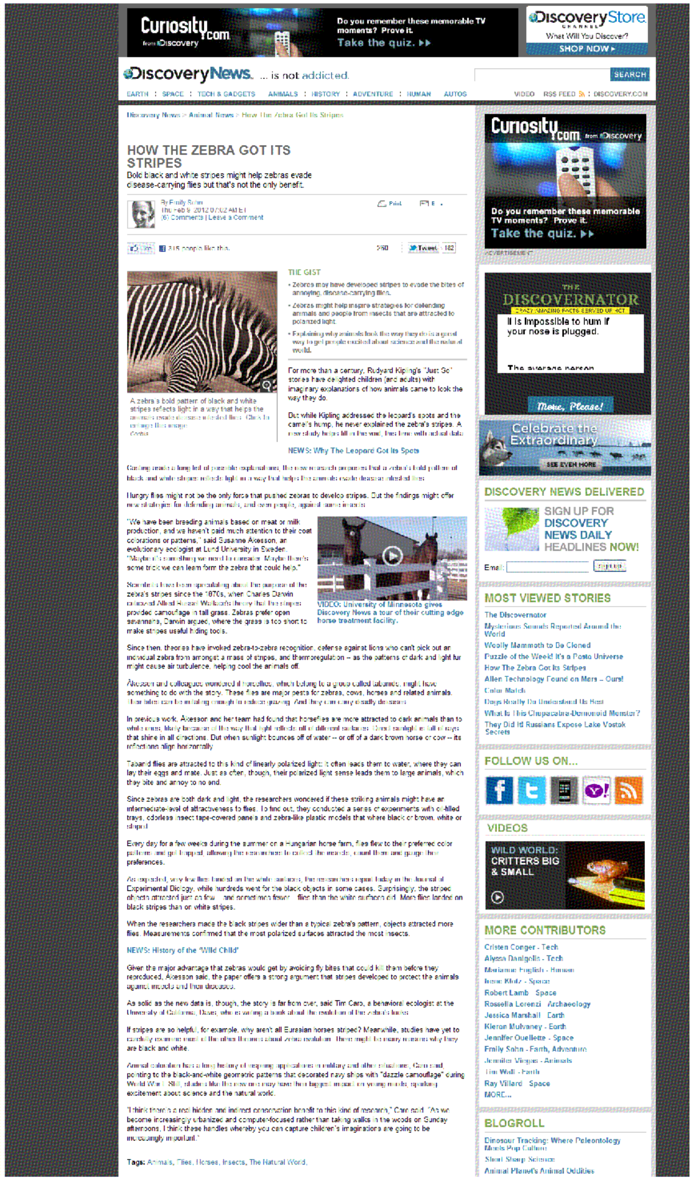
The researchers therefore assumed that zebra coats, with their mixtures of light a



BBC NATURE

Zebra stripes evolved to kee bay

By Victoria Gill



HOW THE ZEBRA GOT ITS STRIPES

Bold black and white stripes might help zebras evade disease-carrying flies but that's not the only benefit.

Sir David Attenborough (2012): Natural Curiosities

Humble Bee Films – Bristol Television

http://www.humblebeefilms.com


Környezetoptika Laboratórium:
http://arago.elte.hu
Köszönöm a figyelmet!