

OTKA K-105054

entitled

Full-Sky Imaging Polarimetry to Detect Clouds and to Study the Meteorological Conditions Favourable for Polarimetric Viking Navigation

FINAL REPORT

1 September 2012 – 31 December 2016

by

Gábor Horváth

Environmental Optics Laboratory,
Department of Biological Physics,
Physical Institute, Faculty of Natural Sciences,
Eötvös University, Budapest

Achievements and Results

Summary: Between 1 September 2012 and 31 December 2016, in the subject of the grant OTKA K-105054 (Full-Sky Imaging Polarimetry to Detect Clouds and to Study the Meteorological Conditions Favourable for Polarimetric Viking Navigation) 2 monographs, 3 book chapters, 14 English papers, 15 Hungarian papers, 1 poster, 29 lectures, 4 diploma works and 2 scientific assays have been produced. In the acknowledgements of these publications it has been always mentioned that the research was supported by the grant OTKA K-105054.

(1) In 2012-2013 we built two polarization cloud detectors. After their test and calibration, the first instrument was installed on the roof of the Astronomical Observatory in Baja in cooperation with the director, Dr. Tibor Hegedüs (hege@electra.bajaobs.hu). The second equipment was installed on the roof of the Gothard Astronomical Observatory of the Eötvös University in Szombathely in cooperation with the director, Prof. István Jankovics (ijankovi@gothard.hu). In both sites the instruments have measured the sky polarization patterns almost continuously until the summer of 2016. We used these patterns in several publications dealing with sky polarization and sky-polarimetric Viking navigation (see List of Publications). In the summer of 2015 we installed our third polarization cloud imager in the observatory of the Hungarian Weather Service in Szeged. In a campaign we performed full-sky polarimetric cloud detection parallel with numerous other meteorological data collecting and registering measurements.

(2) We developed an alternative interpretation of the Uunartoq (Greenland) Viking artefact. We showed that this artefact could also have been an instrument to determine latitude and local noon [E1].

(3) In a field experiment we studied and demonstrated the possibility of orientation with a Viking sun-compass, a shadow-stick and two calcite sunstones under various weather conditions [E2].

(4) We studied a previously unconceived method of navigation based on the Viking artefact found in Uunartoq functioning as a twilight board, which is a new combination of a horizon board and a

sun compass optimized by us for use when the sun is close to the horizon. We deduced an appropriate solar navigation procedure using a twilight board, a shadow-stick and birefringent calcite crystals providing a true skylight compass function. By this we gave a new interpretation of the Uunartoq (Greenland) artefact fragment [E3].

(5) In Budapest, in the Environmental Optics Laboratory (Department of Biological Physics, Eötvös University), we built psychophysical equipments with which we measured on several test persons the error functions of the first, second and third steps of sky-polarimetric Viking navigation in our laboratory and the planetarium of Eötvös University [E4, E10, E11]. In these psychophysical laboratory experiments we used dichroic cordierite and tourmaline as well as birefringent calcite crystals as Viking sunstones.

(6) In the Gothard Astronomical Observatory of the Eötvös University in Szombathely we conducted sky-polarimetric measurements with our cloud detector. We investigated the polarization transition between sunlit and moonlit skies with possible implications for animal orientation and Viking navigation [E5].

(7) In our two papers [E6, E7] entitled '*The effect of weather variables on the flight activity of horseflies (Diptera: Tabanidae) in the continental climate of Hungary*' and '*Seasonality and daily activity of male and female tabanid flies monitored in a Hungarian hill-country pasture by new polarization traps and traditional canopy traps*', we used successfully one of our polarization cloud detectors in a 3-month Hungarian field experiment studying the influence of weather variables on the seasonality and daily flight activity of tabanid flies. During this field work we registered the cloud coverage as a function of time by our cloud detector.

(8) About the results of our sky-polarimetric measurements performed in Lund (Sweden) we wrote a paper [E8] entitled '*Testing avian compass calibration: comparative experiments with diurnal and nocturnal passerine migrants in South Sweden*'. Although this measurement campaign happened in 2008, the software with which the polarization pictures of the sky were evaluated was developed in 2013, within the project supported by the grant OTKA K-105054.

(9) During a measurement campaign in October-November 2010, we tested a polarization cloud imager aboard research vessel Polarstern on the Atlantic Ocean. Using the measured sky polarization patterns, we compared numerous colour-based and polarimetric cloud detection algorithms [E9]. Although the polarization measurements happened in 2010, their evaluation as well as the development and test of 13 cloud-detection algorithms were performed in 2013-2015.

(10) Using the polarization patterns of the sky measured by imaging polarimetry for 1080 different meteorological conditions (differing in solar elevation angle and percent cloudiness), we determined the sky-polarization prerequisites of Viking navigation with Haidinger's brushes. We calculated the portion of the sky with degrees of polarization higher than the perception threshold of Haidinger's brushes versus sky conditions [E12].

(11) We determined the accuracy of sky-polarimetric Viking navigation with the use of the earlier measured error functions of the three navigational steps for calcite, cordierite and tourmaline sunstone crystals for 1080 different sky situations characterized by solar elevation θ and cloudiness ρ , the sky polarization patterns of which were measured by full-sky imaging polarimetry [E13]. As a result, we revealed the meteorological conditions under which Vikings could have used this hypothetical navigation method. We determined the solar elevations at which the navigation errors are minimal at summer solstice and spring equinox for all three sunstone types. On average, calcite sunstone ensures a more accurate sky-polarimetric Viking navigation than tourmaline and cordierite. However, in some special cases (generally at $35^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$, $0 \text{ okta} \leq \rho \leq 5 \text{ oktas}$ for

summer solstice, and at $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$, $0 \text{ okta} \leq \rho \leq 2 \text{ oktas}$ for spring equinox) the use of tourmaline and cordierite results in smaller navigation errors than the use of calcite. Generally, at clear or less cloudy skies, the sky-polarimetric Viking navigation is more accurate, but at low solar elevations, the navigation can be still possible even at high cloudiness. As a general tendency, the navigation error increases with increasing θ and ρ . The most advantageous sky situations for this navigation method are at summer solstice when the solar elevation and cloudiness are $35^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ and $2 \text{ oktas} \leq \rho \leq 3 \text{ oktas}$.

(12) Using the navigation errors of sky-polarimetric Viking navigation calculated for 1080 different sky conditions at summer solstice and spring equinox for calcite, tourmaline and cordierite sunstone crystals, we determined the chance (%) of successful Viking navigation between Bergen (Norway) and Greenland along the 61° latitude, which was the main sailing route of Vikings [E14].

(13) Gábor Horváth wrote and edited a scientific monograph [B1] entitled *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences* published in September 2014 by Springer Verlag (Heidelberg). Chapters 18, 24 and 25 of this book [C1, C2, C3] deal with sky polarization, imaging polarimetric cloud detection, and sky-polarimetric Viking navigation, respectively. This book was partly written and edited by G. Horváth at the Department of Zoology of the University of Regensburg, Germany with a 3-month Humboldt Fellowship. The grant OTKA K-105054 partly supported the accomodation fee of G. H. in Regensburg.

(14) Gábor Horváth, Alexandra Farkas and György Kriska have written a Hungarian book [B2] entitled *A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai* published in September 2016 by ELTE Eötvös Kiadó (Budapest). Chapters 1 and 5 of this monograph deal with sky polarization, imaging polarimetric cloud detection, and sky-polarimetric Viking navigation.

(15) We have published a series of popular papers [H5, H6, H7, H8, H9, H10, H13, H14, H15] in *Élet és Tudomány* about viking navigation. We wrote some further Hungarian papers [H4, H11, H12], about (i) the polarization transition between sunlit and moonlit skies, (ii) our cloud detection algorithms and (iii) sky-polarimetric Viking navigation.

(16) Some of our papers about Viking navigation raised a great and positive international and Hungarian media echo, a selection of which can be downloaded from the website:

<http://arago.elte.hu / Media Echo / Polarimetric Viking navigation>

(17) In April 2013 the Environmental Optics Laboratory of the Eötvös University won the Millennium Award 2013 from the Hungarian Intellectual Property Office for the protection of activities and the achievements by technical creators and artists who excel in contributing to social development and progress at a worldwide scale. In the awarded achievements the polarization cloud detector partly supported by the grant OTKA K-105054 played an essential role. On the occasion of this award and the patented polarization cloud detector, three interviews [H1, H2, H3] with the laboratory leader, G. Horváth were published. About this award one can read in the following websites, for example:

https://arago.elte.hu/sites/default/files/FenysarkitasZebracsik-interju_TV.pdf
https://arago.elte.hu/sites/default/files/A-het-kutatoja-HG_ET.pdf

(18) We presented a poster [P1] about the possibility of sky-polarimetric Viking navigation on an international conference.

(19) We gave 29 scientific and popular lectures and talks [L1-L29] in the subject of polarization cloud detection and sky-polarimetric Viking navigation.

(20) Gábor Horváth supervised four diploma works [D1, D2, D3, D4] in the topic of sky-polarimetric Viking navigation.

(21) In 2012 and 2014, Ph. D. students Alexandra Farkas and Dénes Száz (supervised by Gábor Horváth) won I. prize with their scientific essays [A1, A2] dealing with sky-polarimetric Viking navigation.

List of Publications

In the acknowledgements of all publications listed here, it is mentioned that the research was supported by the grant OTKA K-105054.

Green: 1 September 2015 – 31 December 2016

Black: 1 September 2012 – 31 August 2015

Books

[B2] Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György (2016) *A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest (ISBN 978 963 312 253 2) 485 oldal

https://arago.elte.hu/sites/default/files/reklamanyag_PolKonyv-ELTE-EotvosKiado-2016.pdf

[B1] Gábor Horváth (editor) (2014) *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences* (2nd edition) Springer Series in Vision Research, volume 2 (series editors: S. P. Collin, J. N. Marshall) Springer: Heidelberg, Berlin, Dordrecht, London, New York (print-ISBN: 978-3-642-54717-1, e-ISBN: 978-3-642-54718-8, doi: 10.1007/978-3-642-54718-8) p. 649

https://arago.elte.hu/sites/default/files/Extended-Front-Matter-with-Chapter-Abstracts_Springer-PolBook-2014.pdf

Book Chapters

[C3] Gábor Horváth, Alexandra Farkas, Balázs Bernáth (2014) Chapter 25. Sky-polarimetric Viking navigation. pp. 603-635 (doi: 10.1007/978-3-642-54718-8_25) In: G. Horváth (editor) (2014) *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*. Springer: Heidelberg, Berlin, Dordrecht, London, New York

[C2] András Barta, Bence Suhai, Gábor Horváth (2014) Chapter 24. Polarization cloud detection with imaging polarimetry. pp. 585-602 (doi: 10.1007/978-3-642-54718-8_24) In: G. Horváth (editor) (2014) *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*. Springer: Heidelberg, Berlin, Dordrecht, London, New York

[C1] Gábor Horváth, András Barta, Ramón Hegedüs (2014) Chapter 18. Polarization of the sky. pp. 367-406 (doi: 10.1007/978-3-642-54718-8_18) In: G. Horváth (editor) (2014) *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*. Springer: Heidelberg, Berlin, Dordrecht, London, New York

Papers in Peer-Reviewed International Journals

[E14] Gábor Horváth, Dénes Száz, Balázs Bernáth (2016) Revealing the chance of successful Viking navigation in bad weather: Navigation error of sky-polarimetric Viking navigation between Bergen (Hvarf) and Greenland along the 61° latitude. ?????? (under preparation)

[E13] Dénes Száz, Alexandra Farkas, András Barta, Balázs Kretzer, Miklós Blahó, Ádám Egri, Gyula Szabó, Gábor Horváth (2016) Accuracy of sky-polarimetric Viking navigation versus sky conditions: revealing the meteorological conditions favourable for navigation. *Proceedings of the Royal Society A* (submitted)

[E12] Gábor Horváth, Péter Takács, Balázs Kretzer, Szilvia Szilasi, Dénes Száz, Alexandra Farkas, András Barta (2016) Sky-polarization prerequisite of Viking navigation with Haidinger's brushes: Portion of the sky with degrees of polarization higher than the perception threshold of Haidinger's brushes versus celestial conditions. *Royal Society Open Science* (submitted)

[E11] Dénes Száz, Alexandra Farkas, András Barta, Balázs Kretzer, Ádám Egri, Gábor Horváth (2016) North error estimation based on solar elevation errors in the third step of sky-polarimetric Viking navigation. *Proceedings of the Royal Society A* 472: 20160171 (pp. 1-15, doi: 10.1098/rspa.2016.0171)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/Viking3rdStep_ProcA.pdf

https://arago.elte.hu/sites/default/files/Viking3rdStep_ProcA-supplement.doc

[E10] Dénes Száz, Alexandra Farkas, Miklós Blahó, András Barta, Ádám Egri, Balázs Kretzer, Tibor Hegedüs, Zoltán Jäger, Gábor Horváth (2016) Adjustment errors of sunstones in the first step of sky-polarimetric Viking navigation: Studies with dichroic cordierite/tourmaline and birefringent calcite crystals. *Royal Society Open Science* 3: 150406 (21 pages) (doi: 10.1098/rsos.150406) + electronic supplement

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingCordieriteTourmalineCalcite_RSOS.pdf

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingCordieriteTourmalineCalcite_RSOS-supplement.doc

[E9] András Barta, Gábor Horváth, Ákos Horváth, Ádám Egri, Miklós Blahó, Pál Barta, Karl Bumke, Andreas Macke (2015) Testing a polarimetric cloud imager aboard research vessel *Polarstern*: Comparison of color-based and polarimetric cloud detection algorithms. *Applied Optics* 54 (5): 1065-1077 + cover picture (doi: 10.1364/AO.54.001065)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/PolarsternCloudPol_AO.pdf

https://arago.elte.hu/sites/default/files/cover_AO-2015-PolarsternCloudPol_0.gif

[E8] Susanne Akesson, Catharina Odin, Ramón Hegedüs, Mihaela Ilieva, Christoffer Sjöholm, Alexandra Farkas, Gábor Horváth (2015) Testing avian compass calibration: comparative experiments with diurnal and nocturnal passerine migrants in South Sweden. *Biology Open* 4 (1): 35-47 (doi: 10.1242/bio.20149837)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/CompassCalibration_BiologyOpen.pdf

[E7] Tamás Herczeg, Dénes Száz, Miklós Blahó, András Barta, Mónika Gyurkovszky, Róbert Farkas, Gábor Horváth (2015) The effect of weather variables on the flight activity of horseflies (Diptera: Tabanidae) in the continental climate of Hungary. *Parasitology Research* 114 (3): 1087-1097 (doi: 10.1007/s00436-014-4280-3)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/TabanidWeather_ParRes.pdf
https://arago.elte.hu/sites/default/files/TabanidWeather_ParRes-supplement.doc

[E6] Tamás Herczeg, Miklós Blahó, Dénes Száz, György Kriska, Mónika Gyurkovszky, Róbert Farkas, Gábor Horváth (2014) Seasonality and daily activity of male and female tabanid flies monitored in a Hungarian hill-country pasture by new polarization traps and traditional canopy traps. *Parasitology Research* 113 (11): 4251-4260 (doi: 10.1007/s00436-014-4103-6)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/TabanidSeasonalActivity_ParRes.pdf

[E5] András Barta, Alexandra Farkas, Dénes Száz, Ádám Egri, Pál Barta, József Kovács, Balázs Csák, István Jankovics, Gyula Szabó, Gábor Horváth (2014) Polarization transition between sunlit and moonlit skies with possible implications for animal orientation and Viking navigation: anomalous celestial twilight polarization at partial moon. *Applied Optics* 53 (23): 5193-5204 + cover picture + 9 supplementary video clips (doi: 10.1364/AO.53.005193)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/MoonTwilightSkyPolTransition_AO.pdf

[E4] Alexandra Farkas, Dénes Száz, Ádám Egri, Miklós Blahó, András Barta, Dóra Nehéz, Balázs Bernáth, Gábor Horváth (2014) Accuracy of sun localization in the second step of sky-polarimetric Viking navigation for north determination: a planetarium experiment. *Journal of the Optical Society of America A* 31 (7): 1645-1656 (doi: 10.1364/JOSAA.31.001645)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingPlanetarium_JOSAA.pdf

[E3] Balázs Bernáth, Alexandra Farkas, Dénes Száz, Miklós Blahó, Ádám Egri, András Barta, Susanne Akesson, Gábor Horváth (2014) How the Viking sun-compass could be used with sunstones before and after sunset? Twilight board as a new interpretation of the Uunartoq artefact fragment. *Proceedings of the Royal Society A* 470 (2166): 20130787 (pp. 1-18, doi: 10.1098/rspa.2013.0787)

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingTwilightBoard_ProcA.pdf
https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingTwilightBoard_ProcA-supplement.doc

[E2] Balázs Bernáth, Miklós Blahó, Ádám Egri, András Barta, György Kriska, Gábor Horváth (2013) Orientation with a Viking sun-compass, a shadow-stick, and two calcite sunstones under various weather conditions. *Applied Optics* 52: 6185-6194

http://arago.elte.hu/sites/default/files/Viking-shadowstick_AO.pdf

[E1] Balázs Bernáth, Miklós Blahó, Ádám Egri, András Barta, Gábor Horváth (2013) An alternative interpretation of the Viking sundial artefact: An instrument to determine latitude and local noon. *Proceedings of the Royal Society A* vol. 469, issue no. 2154, article no. 20130021, doi:10.1098/rspa.2013.0021

http://arago.elte.hu/sites/default/files/Viking-compass-construction_ProcA.pdf

Papers in Hungarian Journals

[H15] Száz Dénes, Farkas Alexandra, Horváth Gábor (2016) Navigáció égre néző vikingekkel 9. rész: Napmagasságbecslés. *Élet és Tudomány* 71 (39): 1235-1237

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-9_ET.pdf

[H14] Száz Dénes, Farkas Alexandra, Blahó Miklós, Kretzer Balázs, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 8. rész: Kristályrejtély. *Élet és Tudomány* 70 (50): 1577-1579

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-8_ET.pdf

[H13] Farkas Alexandra, Nehéz Dóra, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 7. rész: Napkeresés a planetáriumban. *Élet és Tudomány* 70 (44): 1385-1387

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-7_ET.pdf

[H12] Horváth Gábor (2015) A fénysarkítás dicsérete: Látás poláros fénnel. *Természet Világa* 2015 / II. különszám (Fény éve): 64-71

https://arago.elte.hu/sites/default/files/A-fenysarkitas-dicserete_TV-Feny-kulonszam-2015.pdf

[H11] Horváth Gábor, Egri Ádám, Blahó Miklós, Barta András, Barta Pál, Horváth Ákos, Karl Bumke, Andreas Macke (2015) Felhőzöttségmérés, optikai felhőfelismerő algoritmusok összehasonlítása. I. + II. rész. *Fizikai Szemle* 65 (7-8): 227-232 + 65 (9): 294-297 + címlap + belső színes borító

https://arago.elte.hu/sites/default/files/Polarstern-I_FSz.pdf

https://arago.elte.hu/sites/default/files/Polarstern-II_FSz.pdf

[H10] Hegedüs Ramón, Farkas Alexandra, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 6. rész: A napköhasználat légköroptikai feltételei. *Élet és Tudomány* 70 (36): 1142-1144

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-6_ET.pdf

[H9] Horváth Gábor, Egri Ádám, Barta András, Farkas Alexandra (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 5. rész: Napkövel három lépésben. *Élet és Tudomány* 70 (32): 1008-1010

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-5_ET.pdf

[H8] Barta András, Farkas Alexandra, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 4. rész: Útmutató fénytűnemények. *Élet és Tudomány* 70 (25): 790-792

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-4_ET.pdf

[H7] Bernáth Balázs, Farkas Alexandra, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 3. rész: Hol vagyok? Merre tartok? *Élet és Tudomány* 70 (20): 623-625

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-3_ET.pdf

[H6] Farkas Alexandra, Kriska György, Herczeg Tamás, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 2. rész: Jég és föld között. *Élet és Tudomány* 70 (15): 464-466

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-2_ET.pdf

[H5] Bernáth Balázs, Farkas Alexandra, Horváth Gábor (2015) Navigáció égre néző vikingekkel 1. rész: Alkonyfény-iránytű. *Élet és Tudomány* 70 (10): 307-309

https://arago.elte.hu/sites/default/files/VikingNavigacio-1_ET.pdf

[H4] Horváth Gábor, Száz Dénes, Egri Ádám, Farkas Alexandra, Barta András, Barta Pál, Kovács József, Csák Balázs, Jankovics István, Szabó Gyula (2015) A Hold és Nap által megvilágított égbolt polarizációátmenete biológiai vonatkozásokkal: a szürkületi ég rendellenes polarizációja részleges holdfázis idején. *Fizikai Szemle* 65 (3): 74-82 + színes belső borító

https://arago.elte.hu/sites/default/files/HoldasSzurkuletiEgPol_FSz.pdf

[H3] Kapitány Katalin, Horváth Gábor (2013) Fénysarkítástól a zebracsíkokig – Beszélgetés Horváth Gáborral. *Természet Világa* 144: 247-250

https://arago.elte.hu/sites/default/files/FenysarkitasZebracsik-interju_TV.pdf

[H2] Trupka Zoltán, Horváth Gábor (2013) A polarizált fénytől a bögölycsapdáig – Interjú Horváth Gáborral. *Élet és Tudomány* 68: 620-621

http://arago.elte.hu/sites/default/files/A-het-kutatoja-HG_ET.pdf

[H1] Silberer Vera, Horváth Gábor (2012) Viking navigáció – Beszélgetés Horváth Gáborral. *Magyar Kémikusok Lapja* 67 (12): 379-381

http://arago.elte.hu/sites/default/files/Viking-navigacio-interju_MKL.pdf

Poster

[P1] Dénes Száz, Miklós Blahó, Alexandra Farkas, Gábor Horváth (2014) Experimental study of the possibility of sky-polarimetric Viking navigation. (Poster) New Challenges in Astro- and Environmental Informatics in the Big Data Era. 14-16 May 2014, Szombathely, International conference organized by the Gothard Astronomical Observatory of the Eötvös University, Szombathely, Abstract Book p. 23

Lectures

[L29] Horváth Gábor (2016) Milyen meteorológiai viszonyok között és milyen pontossággal működhetett az égbolt-polarimetrikus viking navigáció? (Előadás) 2016. november 30., 12:00-13:00, ELTE Gothard Csillagászati Obszervatóriuma, Szombathely

[L28] Horváth Gábor (2016) Biooptikai kutatások a Környezetoptika Laboratóriumban: szkarabeuszok, zebrák, vikingek, bögölyök és IgNobel-díj. (Előadás) ELTE Biológiai Fizika Tanszék és Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék közös szemináriuma. 2016. november 24., 13:30-15:00, ELTE TTK Budapest

[L27] Horváth Gábor (2016) Navigáció égre néző vikingekkel. (Meghívott előadás) 2016. május 11., 19:00-20:00, *"Egy kis esti fizika"* előadássorozat keretében, Zsolnay Negyed, E78 Panorámaterem, Pécs, Major u. 14.

[L26] Horváth Gábor (2016) Az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában folyó kutatásokról, különös tekintettel a vikingek égbolt-polarizációs navigációjára. (Előadás) 2016. április 22., 12:00-13:30, a kiskunhalasi Bibó István Gimnázium és Szilády Áron Református Gimnázium tehetséggondozott diákjainak tartott kutatásismertető előadás, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest

[L25] Horváth Gábor (2016) Az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában folyó kutatásokról, különös tekintettel a vikingek égbolt-polarizációs navigációjára. (Előadás) 2016. április 19., 11:30-13:00, a Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola tehetséggondozott diákjainak tartott kutatásismertető előadás, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest

[L24] Horváth Gábor (2015) Égre néző vikingek az Élet és Tudományban és az ELTE Környezetoptika Laboratóriumában. (Meghívott előadás) 2015. november 20., 10:35-10:50. A Tudományos Ismeretterjesztő Társulat és az Élet és Tudomány konferenciája. Ismeretterjesztő lapok közösségeinek negyedszázada a TIT-ben – A tudomány ünnepe - A tudomány evolúciója: A valós és a virtuális világok. 2015. november 20., 10:00-13:00, TIT Uránia Csillagvizsgáló, Budapest

[L23] Horváth Gábor (2015) Az égbolt-polarizáció légköroptikai és biológiai alkalmazásainak áttekintése. (Meghívott előadás) Magyar Tudományos Akadémia Léggörfizikai és Levegőkémiai Albizottság ülése, 2015. október 21., 11:10-11:45, ELTE Meteorológia Tanszék, Budapest

[L22] Horváth Gábor (2015) Fény a fizika és biológia határmezsgyéjén: biooptika és környezetoptika. (Meghívott előadás). 20. Jubileumi ELTE Kárpát-Medencei Magyar Nyári Egyetem: Egységben a tudomány, Természettudományi Szekció: A fény nemzetközi éve. 2015. július 7-11., Budapest, július 8., 9:00-10:30, ELTE TTK északi épülettömb, É-062. Gróh terem

[L21] Horváth Gábor (2014) A Környezetoptika Laboratórium fotobiológiai kutatásai. (Előadás) Magyar Biofizikai Társaság Fotobiológiai Szekciójának miniszimpóziuma, 2014. december 15., 10:00-10:30, ELTE TTK, Békésy György terem

[L20] Farkas Alexandra, Száz Dénes (2014) Tévelygő vikingek, avagy az égbolt-polarizációs viking-navigáció lépéseinek pszichofizikai vizsgálata. Magyar Biofizikai Társaság Fotobiológiai Szekciójának miniszimpóziuma, 2014. december 15., 10:30-11:10, ELTE TTK, Békésy György terem

[L19] Horváth Gábor (2014) Az égbolt-polarizációs viking-navigáció kutatásának legújabb eredményei. (Előadás) ELTE Gothard Csillagászati Obszervatóriuma, 2014. december 5., 13:00-14:00, Szombathely

[L18] Farkas Alexandra, Száz Dénes, Egri Ádám, Blahó Miklós, Barta András, Nehéz Dóra, Bernáth Balázs, Horváth Gábor (2014) Az égbolt-polarimetria viking navigáció tesztje az ELTE Planetáriumában. (Előadás) Konferencia: Planetáriumok és bemutató csillagvizsgálók szerepe az oktatásban III., 2014. november 17., 14:45-15:00, Zsolnay Kulturális Negyed, Pécs

- [L17] Farkas Alexandra (2014) Égi rejtélyek vagy egyszerű optika? Különös történetek a viking kortól napjainkig. Hajmási József előadássorozat, Székesfehérvár, TIT, Művészetek Háza, 2014. október 28.
- [L16] Horváth Gábor (2014) Új eredmények a fénypolarizáció érzékelésének kutatásában. (Meghívott előadás) 2014. október 9., 15:00-16:00, Ortway Kollokvium, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fizikai Intézet, Budapest
- [L15] Farkas Alexandra (2014) Napkövel Grönlandra? A viking kor megoldatlan rejtélyei. Kutatók Éjszakája, Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Tudományos Ismeretterjesztő Társaság, Szolnok, 2014. szeptember 27.
- [L14] Horváth Gábor (2014) A fénypolarizáció légköroptikai, meteorológiai és biológiai alkalmazásaiban rejlő kutatási lehetőségek. (Meghívott előadás) az ELTE, BME és MTA Természettudományi Kutatóközpont közös rendezvény programja, a Kutatók Éjszakája nappali része, Budapest, 2014. szeptember 26., 10:00-10:45, MTA TTK konferenciaterme (1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.)
- [L13] Száz Dénes (2014) Poláros iránytű: tájékozódás a fénypolarizáció segítségével. (Meghívott előadás) Eötvös Szakkollégium, 2014. július 22., Budapest
- [L12] Száz Dénes (2014) A vikingek navigációja. (Meghívott előadás) Múzeumok Éjszakája, 2014. június 21., TIT, Szolnok
- [L11] Gábor Horváth, András Barta, Pál Barta (2014) Automatic measurement of skylight polarization (Invited talk) pp. 41-46, In: *New Challenges in Astro- and Environmental Informatics in the Big Data Era*. Proceedings of the workshop, Szombathely, Hungary, 14-16 May 2014. Editors: József Kovács, Gyula M. Szabó. Published by Gothard Astrophysical Observatory of Eötvös Loránd University in conjunction with Vas County Scientific Educational Association (ISBN 978-615-5288-07-4) Abstract Book p. 8
- [L10] Farkas Alexandra (2014) Égi látványosságok a csillagokon túl: (Idő)utazás a légköroptika csodáinak világában. (Meghívott előadás) 2014. május 9., Csillagászat Napja, Uránia Csillagvizsgáló, Budapest
- [L9] Száz Dénes (2014) A rovarok és a vikingek "iránytűje": hogyan lehet tájékozódni az égbolt polarizációja alapján? (Meghívott előadás) Mechatronikai Szakközépiskola, 2014. március 28., Budapest
- [L8] Száz Dénes (2014) Vitorlát fel! A nyílt tengeri viking-navigáció rejtélye. (Előadás) XIX. Bolyai Konferencia, 2014. március 23., Budapest
- [L7] Száz Dénes, Farkas Alexandra (2014) (El)tévedni emberi dolog - Az égbolt-polarizációs viking navigáció első és második lépésének pszichofizikai vizsgálata. (Előadás) Tavaszi Szél Doktorandusz Konferencia, 2014. március 21., Debrecen
- [L6] Horváth Gábor (2014) Az égbolt polarizációja, avagy miért tévedhetnek el a méhek napfogyatkozásakor és hogyan navigáltak a viking hajósok felhős időben? (Meghívott előadás) 2014. február 20., 18:00-19:00, Vas-megyei Tudományos Ismeretterjesztő Társulat szombathelyi előadóterme, Szombathely

[L5] Horváth Gábor (2013) Napfényes és holdfényes égboltok közti polarizáció-átmenet esetleges navigációs következményekkel: a holdas szürkületi ég négy rendellenes neutrális pontja. (Előadás) ELTE Gothard Csillagászati Obszervatóriuma, 2013. december 11., 14:00-15:00, Szombathely

[L4] Száz Dénes (2013) A poláros fény utat mutat: a vikingek rejtélyes navigációja. (Előadás) Kömal Ankét, 2013. október 28., Budapest (11:30-12:00)

[L3] Száz Dénes (2013) Poláros fénnel a rejtélyes viking navigáció nyomában. (Előadás) Kutatók Éjszakája, 2013. szeptember 27., 17:00-18:00 + 20:00-21:00, Budapest

[L2] Horváth Gábor (2013) A vikingek szoláris és föltételezett égbolt-polarizációs navigációja. (Meghívott előadás) IX. Napórás Találkozó, Magyar Csillagászati Egyesület Napóra Szakcsoport, Szeged, Szent-Györgyi Albert Agóra, 2013. szeptember 21., 12:00-12:45

[L1] Herczeg Tamás (2013) A qumrani lelet. Vajon mi lehet? (Meghívott előadás) IX. Napórás Találkozó, Magyar Csillagászati Egyesület Napóra Szakcsoport, Szeged, Szent-Györgyi Albert Agóra, 2013. szeptember 21., 11:30-12:00

Diploma Works

[D4] Takács Péter (2016) A Haidinger-pamacsokkal történő égbolt-polarizációs viking navigáció meteorológiai feltételeinek vizsgálata. B.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 36 o. (témavezető: [Horváth Gábor](#))

[D3] Kretzer Balázs (2016) A viking navigációs vizsgálatok alapjául szolgáló égboltpolarizációs adatbázis létrehozása. B.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 40 o. (témavezető: [Horváth Gábor](#))

[D2] Száz Dénes (2013) Az égbolt-polarizáción alapuló viking-navigáció pszichofizikai vizsgálata. M.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 85 o. (témavezető: [Horváth Gábor](#))

[D1] Farkas Alexandra (2012) A vikingek égbolt-polarimetriai navigációjának földrajzi és légköroptikai vonatkozásai. M.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 102 o. (témavezető: [Horváth Gábor](#))

Scientific Assays

[A2] Farkas Alexandra, Száz Dénes (2014) (El)tévedni emberi dolog: Az égbolt-polarizációs viking navigáció első és második lépésének pszichofizikai vizsgálata. Tavasz Szél Konferencia, Földtudományi Szekció, Debreceni Egyetem, 2014. március 21-23. (témavezető: [Horváth Gábor](#)) **I. díj**

[A1] Farkas Alexandra (2012) A viking kaland és a középkori éghajlat-ingadozások összefüggései, avagy miért tűntek el nyomtalanul a vikingek Grönlandról? Tudományos Ismeretterjesztő Társulat és Doktoranduszok Országos Szövetsége 2012. évi doktorandusz cikkpályázata, Természet Világa kategória, **I. díj** (témavezető: [Horváth Gábor](#))