

Wojciech STANKOWSKI¹

**NOWE DANE LUMINESCENCYJNE WIEKU IMPAKTÓW W MORASKU ORAZ
KAALI**
THE NEW LUMINESCENCE DATA OF THE MORASKO AND KAALI IMPACTS

Abstract: The identified features of the shells/skins which have developed around the four big Morasko meteorites found in 2006 year, indicate the existence of shock pressure and high temperature in the immediate vicinity of the falling lumps. This was also the moment when zeroing of the luminescence occurred. The results obtained for the dating of the meteorite shells/skins using the TL technique prove the age of luminescence zeroing about 5000 to 6000 years ago. TL dating of meteorite shells/skins was preceded by OSL measurements in the mineral sediments situated in the beds of Morasko hollows A and B, directly below the organic filling sediment. The Morasko crater A mineral bottom is constituted by deformed sediments from the Neogene "Poznań series". In the crater B mineral bottom the glacial sediments exists – not younger than the "Poznań phase" of last Scandinavian glaciation. The theoretical youngest age all of these sediments is 17000-18000 years BP. The OSL results obtained into 101 measured portions of mineral material from the hollows, prove its rejuvenation. There are many indices <5000 years (13%) and in between 5000-10000 years (30%), totally 43%. Data from TL and OSL measurements for the area of the Morasko Meteorite Reserve are an indicator of the luminescence zeroing (both the shells/skins of meteorites and depressions bottom sediments), occurring around 5000 years ago. In Morasko area a local grouped fall of extraterrestrial material as well as craters creation took place. The Estonian Kaali main crater and surrounding small craters were examined too. The TL data from the material of main crater rim, the material from inside slope of crater 1 and the powered Silurian dolomites at the bottom of crater 4, gave a similar results – 5000-6000 years BP. Also older data (up to 11500 years BP) were obtained in the mixture of Quaternary and Silurian dolomite detritus of the inside slope crater 1 and at the rim top of crater 2/8. The OSL data have given the similar results. The comparative study to the Ilumetsa and Tsõõrikmäe relatively small craters were performed. The Devonian sandstones exist there beneath the local features and sediments of Quaternary age. The measurement results of OSL technique do not evidence so clear data as in Kaali site. Only few indicators were young (<4500 year BP). Most of data seems to be under influence of not complete bleaching of old rocks luminescence signal. The attempt of the TL and OSL measurements to impact time establish lead to the following conclusion: a) explosive – "high energetic" events to be effective of full zeroing luminescence and impact time establish, b) the striking – "low energetic" events are less effective in bleaching luminescence and impact time establish.

Keywords: luminescence data, Morasko impact, Kaali impact

Współpraca krajowych i międzynarodowych ośrodków badawczych zaowocowała pozyskaniem nowych danych luminescencyjnych dotyczących upadku meteorytów w Morasku oraz przede wszystkim w Kaali i w skromniejszym zakresie Ilumetsa, a także Tsõõrikmäe. Badania realizowano w ramach: a) Estonian-Polish Research Project [Polish Academy of Sciences and the Estonian Academy of Sciences Agreement], przy kooperacji

¹ Uniwersytet im. A. Mickiewicza. Instytut Geologii. Ul. Maków Polnych 16. 61-606 Poznań.
stawgeo@amu.edu.pl

A. Raukas'a; b) terenowych i laboratoryjnych badań przedstawiciele GeoForschungsZentrum, w osobach J. Negendank'a i M. Schwab'a; c) laboratoryjnych prac realizowanych przez Wydział Chemii UAM (A. Katrusiak), Poznańskie Laboratorium Radiowęglowe (T. Goslar), Instytut Fizyki Śląskiego Uniwersytetu Technologicznego (A. Pazdur, A. Bluszcz), Instytut Geografii Uniwersytetu Gdańskiego (St. Fedorowicz).

Trwająca od dziesięcioleci dyskusja nad pochodzeniem materii magnetycznej w Morasku, wciąż pozostaje otwarta w kwestii zaistnienia lokalnego impaktu (meteoryty mogły być przywleczone przez lodolód z daleka podobnie jak eratyki), a nade wszystko jego skutku w postaci generowania kraterów.

W 2006 roku, dzięki uzyskaniu przez Prof. A. Muszyńskiego zgody na poszukiwania meteorytów w obrębie Rezerwat Meteoryt Morasko (także w bezpośrednim otoczeniu moraskich kociołków) oraz determinacji Pana K. Sochy, odnaleziono kilka dużych brył meteorytów. Wszystkie posiadały trudne do odspojenia skorupy spiekowo-wietrzeniowe (Stankowski i inni 2007). Grubość skorup wahała się od kilku/kilkunastu milimetrów do około 10 centymetrów (w obrębie głębokich nisz ablacyjnych - regmagliptów).

W płytkach cienkich pochodzących ze wspomnianych skorup zaobserwowano zbrekcowane ziarna kwarcu oraz ziarna kwarcu o zmienionej strukturze przypominającej ciśnieniowe lamelki, a także powszechnie występujący druzgot kwarcu i skalenia. Zinterpretowano to jako skutek zaistnienia w bezpośrednim sąsiedztwie upadającej bryły szokowego ciśnienia i podwyższonej temperatury. Zaobserwowane cechy stanu materiału skorup uznano jako istotne przesłanki świadczące o lokalnym upadku meteorytów i to na długo po generowaniu osadów oraz rzeźby Moraskiej Góry. Powyższą supozycję zweryfikowano datowaniami luminescencyjnymi (w technice TL) skorup spiekowo-wietrzeniowych czterech dużych meteorytów. Założono, że uzyska się luminescencyjny wiek upadku meteorytów odzwierciedlający moment zerowania nabytej wcześniej luminescencji.

Tabela 1.

Meteoryt pozyskano z głębokości ppg/masa okazu	70 cm/ 164 kg	55 cm/ 11kg	70 cm/ 10,5 kg	80 cm/ 21 kg
Wiek w ka oraz numer laboratoryjny	5,2±0,9 UG-5941	5,0±0,7 UG-5942	4,7±0,4 UG-5943	6,1±0,7 UG-5944

Wiek TL materiału z otoczek meteorytów.

Moraskie meteoryty odnajdywane są jak dotąd na niewielkiej głębokości – do około 80 cm poniżej powierzchni gruntu. Wolno to traktować jako dodatkowy argument na rzecz niezbyt odległego w czasie oraz lokalnego upadku meteorytów. Nie przeczy temu nawet odnalezienie w 2008 roku kolejnego okazu na głębokości 160 cm. Wciąż trzeba to traktować jako powierzchniową pozycję.

Rezultaty datowań skorup spiekowo-wietrzeniowych w technice TL okazały się zbieżne z wcześniej osiągniętymi wynikami estymacji OSL dla osadów z den dwóch największych bezodpływowych zagłębień na terenie Rezerwatu Meteoryt Morasko (Stankowski 2001, 2007). Ten kierunek badań wynikał z zamierzenia weryfikacji poglądu o impaktowej morfogenezie moraskich kociołków (Hurnik 1976, Tobolski 1976, Stankowski 2001).

W dniu największego moraskiego zagłębienia – A, bezpośrednio pod organicznymi wypełnieniami o wieku ~5000 lat BP, zalegają drobnoziarniste osady neogenu („Serii Poznańskiej”). Natomiast środkowo i młodo holocenijskie torfy wypełniające zagłębienie – B, są podścielone osadami wieku czwartorzędowego, tzw. fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia. Zatem dna zagłębień tworzą skały o wieku od kilku milionów lat do

potencjalnie nie młodszych niż ~18000-17000 lat BP. Degradacja wieloletniej zmarzliny, a więc i wytopienie się brył martwych lodów na analizowanym obszarze nie powinno przekroczyć ~10000 lat wstecz (glacigeniczna cezura potencjalnie najmłodszego zerowania nabytej luminescencji). Luminescencyjne daty winny układać się więc na minimalnym poziomie 10000 lat i wyższym.

Tymczasem wskaźniki wieku luminescencyjnego osadów mineralnych z bezpośredniego podłoża holocenijskich torfów wypełniających moraskie zagłębienia A i B, w wielu przypadkach okazały się młodsze od 10000 lat BP. Dla 101 mierzonych porcji osadów (Stankowski 2007), aż w 43% były to daty młodsze – przy 13% dat poniżej 5000 lat i 30% dat w przedziale 5000-10000 lat. Kolejnych 19% dat to wskaźniki wieku w granicach 10000-15000 lat, tzn. młodsze od czasu generowania osadów lodowcowych i wodnolodowcowych fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia (przyjęto cezurę 15000 lat BP aby wyjść poza zakres błędu metody odnośnie do wieku najmłodszych osadów pochodzenia lodowcowego). Wśród wskaźników luminescencyjnego wieku mierzonych porcji osadów, znalazły się także daty starsze (39%) sięgające >50000 lat, a w jednym przypadku nawet ~200000 lat. Oznacza to, że wśród osadów z granicy torfów wypełniających zagłębienia i ich mineralnego dna znajdują się ziarna o różnym stopniu zerowania – pełnego oraz częściowego.

Tak więc rezultaty pomiarów w technice TL dla skorup spiekowo-wietrzeniowych meteorytów posiadają pozytywną weryfikację danych OSL dla mineralnych osadów den zagłębień. Wolno zatem utrzymywać, że lokalny upadek morskich meteorytów miał miejsce około 5000 lat temu i skutkował wytworzeniem kraterów meteorytowych.

Na terenie Estonii udokumentowano kilka kraterów meteorytowych (Raukas 2002). Są wśród nich klasycznie wykształcone struktury w Kaali oraz Ilumetsa. Zespół kraterów w Kaali, złożony ze struktury głównej i kilku mniejszych form (częściowo wtórnie wypełnionych) znajduje się w obszarze zbudowanym z sylurskich dolomitów przykrytych cienką warstwą osadów czwartorzędowych – pochodzenia glacialnego i prawdopodobnie holocenijskiego środowiska morskiego. Natomiast krater Ilumetsa oraz niezbyt oddalony od nich krater Tsõõrikmäe, wytworzone zostały w SE części Estonii, gdzie pod osadami czwartorzędowymi o zróżnicowanej miąższości, zalegają piaskowce dewonu. Ogromna rozpiętość środowiskowa, a także wieku skał wchodzących w skład impaktowych struktur, powinna umożliwić zdaniem autora, prześledzenie skali oraz czasu zerowania luminescencji podczas generowania kraterów.

W Kaali datowano w technice TL próbki ze szczytowej części wału okólnego głównego krateru, brzeżnej części krateru nr 1, szczytowej części wału krateru 2/8 oraz dna krateru nr 4 (por. tab.2), natomiast pomiarami OSL objęto komplementarne próbki z wału okólnego krateru 2/8 i wtórnego wypełnienia krateru nr 7 (por. tab.3).

Tabela 2.

Szczytowa część wału okólnego krateru głównego (mieszanka osadów czwartorzędowych oraz druzgotu sylurskiego dolomitu)	Próbka a) 5,8±0,6 UG 5913 b) 5,6±0,9 UG 5914
Zbocze krateru nr 1 (mieszanka osadów czwartorzędowych oraz różnoziarnistego druzgotu oraz bloków sylurskiego dolomitu)	Próbka a) 5,8±0,9 UG 5916 b) 11,4±2,6 UG 5917
Szczytowa część wału okólnego krateru nr 2/8 (mieszanka osadów czwartorzędowych oraz druzgotu sylurskiego dolomitu)	9,8±2,3 UG 5918
Dno krateru nr 4; ~20 cm poniżej skalnej powierzchni (słabo zwięzły sylurski dolomit – „mąka dolomitowa”)	5,4±0,6 UG 5915

Kaali, datowania w technice TL.

Tabela 3.

Szczytowa część wału okólnego krateru nr 2/8 (mieszanka osadów czwartorzędowych oraz druzgotu sylurskiego dolomitu)	Próbka a) 8,70±0,78 Gd TL 879 b) 4,25±0,32 Gd TL 878
Osady wtórnego wypełnienia krateru nr 7 (druzgot dolomitu w piaszczystym materiale czwartorzędowym, próbka z głębokości 140 cm), (druzgot dolomitu w gliniastym materiale czwartorzędowym, próbka z głębokości 175 cm), (osad pylasty/ilasto-piaszczysty z nielicznymi okruchami dolomitu. Cienka warstewka na zwięzłym sylurskim dolomicie, próbka z głębokości 210 cm)	7,16±0,41 Gd TL 927 7,09±0,34 Gd TL 928 10,20±0,46 Gd TL 929

Kaali, datowania w technice OSL.

Na stan morfologii obszaru występowania kraterów Kaali wpłynęły procesy deglacjacji ostatniego lądolodu oraz późniejsza morfogenetyczna rola długotrwałego i zmieniającego się środowiska bałtyckiego zbiornika. Lądolód ustąpił z omawianego terenu około 12000 lat BP (Raukas, Stankowski 2005). Pośrednio potwierdza to, pozyskana przez autora data dla wodnolodowcowych osadów z południowej Finlandii, ze strefy Salpausselkä w okolicach Ekenes: $10,43 \pm 0,82$ GdTL 930. Polodowcowa rzeźba uległa przekształceniom w środowisku jeziorno-morskim, jakie utrzymywało się w południowej części wyspy Saarema przynajmniej do około 6000 lat BP (Tavast 2000). Wykonane dla celów tej pracy datowania TL i OSL wskazują na czas impaktu w Kaali między 4000 a 6000 lat BP (por. tab. 2 i 3). Bardziej zaawansowane wiekowo daty, można interpretować jako odpowiadające czasowi generowania osadów, które wprawdzie znajdują się w obrębie kraterów, lecz nie zostały poddane bezpośredniemu wpływowi ciśnienia i temperatury spadającego meteorytu. Najtrudniejsze do interpretacji są daty osadów wypełniających krater nr 7. Wprawdzie wiekowo mieszczą się w przedziale czasowym zjawisk morfo- i lito- genetycznych omawianego obszaru, jednak są zawyżone względem czasu generowania kraterów. Wypada przyjąć, że krater nr 7 został wtórnie wypełniony osadami starszymi, które nie uległy zerowaniu w toku grawitacyjnego przemieszczania.

Kraterzy Ilumetsa i Tsõõrikmäe występują w obrębie rzeźby polodowcowej nie zmienionej wskutek procesów morskich. Powierzchnię terenu budują skały wieku czwartorzędowego o zróżnicowanej miąższości. Podłoże stanowią piaskowce dewonu wykształcone w postaci sypkiej, bądź skalistej. Daty OSL dla sypkich osadów dewonu w wewnętrznych zboczach krateru głównego Ilumetsa - Põrguhaul, okazały się zaawansowane wiekowo ($127,6 \pm 6,4$ GdTL 869; $126,7 \pm 5,3$ GdTL 870). Natomiast te same skały z dna tego krateru (~50 cm poniżej nadległej 80 cm pokrywy osadów organicznych) uzyskały wiek $7,24 \pm 0,75$ GdTL 868. W dnie sąsiedniego krateru Põrguhaul S piaskowce dewońskie (z głębokości 260 cm, przy czym górne ~220 cm to młoda pokrywa denudacyjna) wykazały wiek $106,9 \pm 3,6$ GdTL 871. Przywołane daty trudno jednoznacznie interpretować. W żadnej mierze nie można ich odnosić do wieku powstania tych piaskowców, ale także nie dają one odpowiedzi na czas zaistnienia impaktu. Najbliższa zdarzeniu generującemu krater wydaje się być data ~7000 lat BP z dna głównej formy impaktowej. Wszystkie pozostałe daty uznać trzeba jako ilustrujące częściowe zerowanie materiału. Kolejna datowana próbka pobrana na wale okólnym głównego krateru z głębokości ~140 cm (mieszanka osadów czwartorzędowych i piaskowców dewońskich), uzyskała datę $9,35 \pm 0,46$ GdTL 867. Okazała się być najbliższą wskaźnikowi osiągniętemu

w piaskach dewońskich z dna krateru. Osady czwartorzędowe z niezbyt odległego otoczenia głównego krateru wydatowano na $29,8 \pm 1,6$ GdTL 866.

Równie trudne dla interpretacji są daty uzyskane na stanowisku Tsõõrikmäe. Skały wieku czwartorzędowego z otoczenia tamtejszego krateru oraz podłoża jego wału okólnego wydatowano na: $48,6 \pm 1,9$ GdTL 872; $29,4 \pm 1,7$ GdTL 875; $20,8 \pm 0,8$ GdTL 873. W znacznej mierze są to wskaźniki zbieżne względem wyżej wymienionej daty z otoczenia krateru w Ilumetsa. Natomiast próbki pochodzące z wału okólnego krateru Tsõõrikmäe i jego bezpośredniego przedpola uzyskały daty: $3,21 \pm 0,15$ GdTL 877; $4,44 \pm 0,25$ GdTL 874, a w jednym przypadku $1,29 \pm 0,13$ GdTL 876 (z dystalnego segmentu wału okólnego). Okazały się one znacznie młodsze od estymowanego czasu impaktu w Ilumetsa. Można to interpretować w dwójnasób, jako zapis wtórnego i trudnego do wyjaśnienia zerowania, bądź bardzo młodego upadku innego meteorytu względem zdarzenia w Ilumetsa.

Estońskie kratery, szczególnie z Kaali oraz Ilumetsa są genetycznie dobrze udokumentowane i wręcz klasycznie wykształcone. Oczekiwano zatem jednoznacznych danych luminescencyjnych, wskazujących na czas upadku i związanego z tym zerowania luminescencji. Założenie to zostało w znacznej mierze spełnione w przypadku Kaali. Natomiast rezultaty datowań luminescencyjnych z Ilumetsa, a nade wszystko z Tsõõrikmäe, okazały się dalekie od oczekiwań. Być może wpływ ciśnienia i temperatury spadających tam meteorytów nie był wystarczająco duży dla pełnego zerowania istniejącej luminescencji. Kratery w Tsõõrikmäe oraz Ilumetsa są zatem formami uderzeniowymi, natomiast główny krater w Kaali ma eksplozywną genezę.

Podjęta próba wykorzystania technik luminescencyjnych dla datowania wybranych upadków meteorytów na terenie Polski i Estonii, rozpatrywanych w kontekście generowania skorup spiekowo-wietrzniowych oraz formowania kraterów meteorytowych okazała się udana w przypadku zjawisk wysoko energetycznych, skutkujących tworzeniem form eksplozywnych. Natomiast w przypadku form uderzeniowych („niskoenergetycznych”), techniki datowań luminescencyjnych zawodzą, zapewne wskutek zaistnienia zbyt niskich temperatur.

Podziękowania. Autor wyraża wdzięczność wymienionym na wstępie kooperantom, bez których aktywności i życzliwości nie była by możliwa realizacja niniejszego opracowania. Szczególne podziękowanie kieruję do dr Reet Tiirmaa z Instytutu Geologii Technicznego Uniwersytetu w Tallinie, za pomoc oraz opiekę podczas prac terenowych na terenie Estonii.

LITERATURA

- HURNIK H., (Ed) 1976. Meteorite „Morasko” and the region of the fall of the meteorite. Adam Mickiewicz University (Poznań), *Astronomia* 2. 64.
- RAUKAS A., 2002. Postglacial impact events in Estonia and their influence on people and environment. Geological Society of America, Special Paper 356. 563-569.
- RAUKAS A., STANKOWSKI W., 2005. Influence of sedimentological composition on OSL dating of glacial deposits: example of Estonia. *Geological Quarterly* 49. 463-470.
- STANKOWSKI W., T., J. 2001. The geology and morphology of the natural reserve „Meteorit Morasko”. *Planetary and Space Science*. 49. 749-753.
- STANKOWSKI W., T., J. 2007. Luminescence dating as a diagnostic criterion for the recognition of Quaternary impact craters. *Planetary and Space Science* 55 (2007). 871-875.
- STANKOWSKI W., T., J., RAUKAS A., BLUSZCZ A., FEDOROWICZ St. 2007.

- Luminescence dating of the Morasko (Poland), Kaali, Ilumetsa, Tsõõrikmäe (Estonia) meteorite craters. *Geochronometria* 28. 25-29.
- TAVAST E., 2000. Subfossil mollusc shells of the Baltic Sea and the possibilities of their usage in the stratigraphy and correlation of the Baltic Sea sediments. *Geologos* 5. Continuo 31-40.
- TOBOLSKI K., 1976. Palynological investigations of the bottom sediments in closed depressions Meteorite Morasko and the region of its fall. In: Meteorite „Morasko” and the region of the fall of the meteorite. Adam Mickiewicz University (Poznań). *Astronomia* 2. 21-26.