

Marian SZURGOT¹

Średni ciężar atomowy i gęstość ziaren chondrytu Jezersko (H4)

Mean atomic weight and grain density of Jezersko H4 chondrite

Abstract: Mean atomic weight A_{mean} of Jezersko (H4 S2(3) W2, find in 1992 in Slovenia) ordinary chondrite has been calculated using literature data on chemical composition of the meteorite (Miler et al. 2014) and using relationship between mean atomic weight and Fe/Si atomic ratio (Szurgot 2015c, d, e).

It was shown that Jezersko's $A_{mean} = 24.68$, for composition without water. This value is close to the mean atomic weight of H chondrite finds ($A_{mean} = 24.80$), and is somewhat smaller than A_{mean} values for H4 chondrite falls ($A_{mean} = 25.09$), and for H chondrite falls ($A_{mean} = 25.05$) (Szurgot 2015e). Jezersko's Fe/Si atomic ratio (0.742) leads to $A_{mean} = 24.66 \pm 0.24$, which is close to the value determined by bulk composition. Jezersko's Fe/Si atomic ratio is close to the value for H's mean Fe/Si ratio: 0.762 for finds, and 0.807 for falls (Szurgot 2016a). This confirms that Jezersko belongs to H chondrites, as previously classified (Miler et al. 2014).

Mean atomic number Z_{mean} , and A_{mean}/Z_{mean} ratio of the meteorite have been also calculated. Jezersko's $Z_{mean} = 12.16$, and A_{mean}/Z_{mean} ratio is: 2.029 for composition without water.

Jezersko's silicates shown the values: $A_{mean} = 21.77$, $Z_{mean} = 10.78$, $A_{mean}/Z_{mean} = 2.019$, $Fe/Si = 0.272$, $A_{mean}(Fe/Si) = 21.84 \pm 0.06$, and Jezersko's Fe,Ni metal values: $A_{mean} = 56.12$, $Z_{mean} = 26.19$, and $A_{mean}/Z_{mean} = 2.143$.

Two dependences: i) grain density d_{gr} on A_{mean} (Szurgot 2015a), and ii) grain density d_{grain} on Fe/Si atomic ratio (Szurgot 2017g), were used to predict grain density of Jezersko chondrite. It was established that $d_{gr}(A_{mean})$ leads to the values: 3.65 ± 0.07 g/cm³ for Jezersko chondrite, 3.27 ± 0.07 g/cm³ for silicates, and 7.83 ± 0.07 g/cm³ for Fe,Ni metal of Jezersko meteorite. Dependence $d_{gr}(Fe/Si)$ predicts somewhat higher value grain density for Jezersko chondrite: 3.68 ± 0.07 g/cm³, and 3.32 ± 0.07 g/cm³ for silicates. All the predictions lead to the mean value of grain density for its weathering W2 degree: 3.67 ± 0.03 g/cm³ for the whole rock of meteorite, and 3.29 ± 0.03 g/cm³ for the silicates.

It was established that due to terrestrial weathering, resulting in W2 weathering stage, A_{mean} value of Jezersko chondrite is about 0.45 lower, Fe/Si atomic ratio is about 0.075 lower, and d_{grain} is about 0.06 g/cm³ lower than values for unweathered (W0) meteorite.

Predicted porosity for Jezersko chondrite is: $10,1 \pm 0,7\%$ for W2, and $11,5 \pm 0,5\%$ for W0.

Keywords: Jezersko chondrite, ordinary chondrites, H chondrites, mean atomic weight, mean atomic number, grain density, iron to silicon ratio, weathering effects

¹ Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechniki Łódzkiej, Al. Politechniki 11, 90-924 Łódź; e-mail: mszurgot@p.lodz.pl, maszurgot@gmail.com

Wstęp

Ciężar atomowy określa szereg właściwości fizycznych materiałów i jest ważnym parametrem fizycznym przydatnym do analizy geochemicznej i geologicznej obiektów kosmicznych, wykorzystywanym do analizy budowy wewnętrznej planet, planetoid i Księżyca (Birch 1961, Ringwood 1966, Anderson i Kovach 1967, Anderson i Jordan 1970, Anderson 1989, Maj 1998, Szurgot 2015a–g, 2016a–e, 2017a–g, 2018a–e, Szurgot i in. 2017). Zainteresowanie badaniami tej ważnej wielkości fizycznej wynika nie tylko z potrzeby znajomości ciężaru atomowego do analizy materii minerałów i skał planet, planetoid i komet, ale również określenia wpływu ciężaru atomowego na inne właściwości fizyczne i ujawnienia współzależności między nimi. Właściwości fizyczne meteorytów są nadal przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach naukowych na świecie i dostarczają ważnych informacji o materii pozaziemskiej prezentowanych w najnowszych publikacjach oryginalnych i przeglądowych (Wilkison i Robinson 2000, Petrovic 2001, Britt i Consolmagno 2003, Rochette i in. 2003, 2008, Consolmagno i in. 2008, Kohout i in. 2008, Beech i in. 2009, Macke 2010, Macke i in. 2010, 2011, Kiefer i in. 2012, Opeil i in. 2012, Flynn i in. 2018, Ostrowski i Bryson 2019).

Liczba porządkowa jest również ważną wielkością fizyczną, istotną dla badań materii pozaziemskiej. Wiedza o średniej liczbie porządkowej meteorytów jest potrzebna dla przewidywania i opisu właściwości fizycznych meteoroidów i ich ciał macierzystych oraz dla analizy procesów zachodzących w materii pozaziemskiej na różnych etapach jej ewolucji. Wiedza ta jest ważną dla niektórych współczesnych technik badawczych stosowanych w meteorytyce. Kontrastowość obrazów BSE mikrostruktury meteorytów tworzonych za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej jest uwarunkowana różnicami w średniej liczbie porządkowej minerałów składowych meteorytów, ponieważ ilość elektronów wstecznie rozproszonych, a zatem i kontrast obrazu są zależne, przy danych warunkach pracy mikroskopu elektronowego, od średniej liczby porządkowej badanego materiału.

Stosunek średniego ciężaru atomowego do średniej liczby porządkowej ilustruje współzależność obu tych wielkości i może być wykorzystany do wyznaczenia jednej z nich, przy pomocy wielkości drugiej.

Chondryty należą do grupy meteorytów, które utworzone w początkach formowania Układu Słonecznego, zawierają zapis ewolucji naszego układu planetarnego, a analiza ich pierwiastków i minerałów oraz właściwości fizycznych dostarcza wiedzy o historii, ewolucji i przeobrażeniach materii Wszechświata.

Meteoryt Jezersko należy do najnowszych, od niedawna badanych skał pozaziemskich. Chondryt ten znaleziono w roku 1992 w górach Karawanki w Słowenii (Miler i in. 2014). Na obszar Słowenii spadły dotychczas cztery meteoryty. Dwa z nich to meteoryty kamienne: Jezersko (H4, znalezisko 1992) oraz Jesenice (L6, spadek 2009), a pozostałe dwa to meteoryty żelazne: Avce (IIAB, spadek 1908) oraz Javorje (IIIAB, znalezisko 2009) (Meteoritical Bulletin Database 2018). Meteoryt Jezersko, dopiero po ponad dwudziestu latach przechowywania w domu znalazcy Bozidara Jerneja Malovrha, został poddany szczegółowym badaniom

i sklasyfikowany jako średnio zszokowany S2(3) chondryt zwyczajny H4 o umiarkowanym stopniu zwietrzenia W2 (Miler i in. 2014). Bryłą główną (73,5 g) meteorytu Jezersko znajduje się w Muzeum Historii Naturalnej Słowenii w Lublanie.

Do tej samej grupy chondrytów zwyczajnych H należą wcześniej badane przez autora meteority: chondryty zwyczajne H5: Košice (Szurgot 2018c), Grzempach (Szurgot 2018d), Pułtusk, Allegan, Ashmore, Chela, Ehole, Ipiranga, Itapicuru-Mirim, Lost City, Macau, Pribram, Pulsora, Sitathali, Uberaba, Ucera (Szurgot 2015e), chondryty Dwaleni (H4-6) i Magombedze (H3-5) (Szurgot 2015e), chondryty Escalón (H4) (Szurgot 2016f) i Sharps (H3.4) (Szurgot 2017b), oraz chondryty Sena (H4), Cañellas (H4), Olmedilla de Alarcón (H5), Molina (H5), Cargas de Onis (H5), Guareña (H6), and Nulles (H6) (Szurgot 2018a).

Celem prezentowanych badań było określenie i zanalizowanie średniego ciężaru atomowego A_{mean} i średniej liczby porządkowej Z_{mean} meteorytu Jezersko oraz określenie gęstości ziaren części krzemianowej i metalicznej oraz globalnej gęstości ziaren tego chondrytu w oparciu o odkryte przez autora zależności łączące gęstość ze średnim ciężarem atomowym i stosunkiem atomowym Fe/Si materii pozaziemskiej. Dodatkowym celem badań było określenie wpływu stopnia zwietrzenia tego meteorytu na jego średni ciężar atomowy, stosunek atomowy Fe/Si oraz gęstość ziaren.

Metody badań

Praca ma charakter teoretyczny. Obliczeń średniego ciężaru atomowego dokonano wykorzystując zależności stosowane przez autora w badaniach meteorytów, planet ziemskich i Księżyca (Szurgot 2015a–g, 2016a–e, 2017a–f, 2018a–e, Szurgot i in. 2017).

Literaturowe dane eksperymentalne o średnim składzie pierwiastkowym chondrytu Jezersko (Miler i in. 2014) uzyskane za pomocą współczesnych metod analitycznych: ICP-OES (Optycznej Spektrometrii Emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnej sprzężonej, w dwóch wersjach FUS-ICP-OES oraz TD-ICP-OES), ICP-MS (Spektrometrii Mas sprzężonej z plazmą wzbudzaną indukcyjnie) oraz INAA (Instrumentalnej Neutronowej Analizie Aktywacyjnej), zostały wykorzystane przez autora do określenia średniego ciężaru atomowego i średniej liczby porządkowej tego chondrytu. Do obliczeń A_{mean} oraz Z_{mean} meteorytu Jezersko średni skład pierwiastkowy meteorytu dla niektórych pierwiastków przeliczono na skład tlenkowy i siarczkowy.

Dane zebrane przez Hutchisona (2004) i Jarosewicha (1990) o średniej zawartości pierwiastków i tlenków w chondrytach LL, L, H, L/LL i H/L posłużyły do określenia i analizy średniego ciężaru atomowego poszczególnych grup chondrytów zwyczajnych.

W niniejszej pracy średni ciężar atomowy i średnia masa atomowa są traktowane jako synonimy i są wyrażane jako wielkość bezwymiarowa.

Wyniki

W celu określenia wartości A_{mean} , Z_{mean} i A_{mean}/Z_{mean} wykorzystano następujące zależności opierając się na średnim składzie pierwiastkowym i tlenkowym meteorytu:

$$A_{mean} = \sum w_i / (\sum w_i / A_i) \quad (1)$$

$$Z_{mean} = \sum w_i / (\sum w_i / Z_i), \quad (2)$$

$$A_{mean}/Z_{mean} = (\sum w_i / Z_i) / (\sum w_i / A_i), \quad (3)$$

gdzie w_i (% wagowy) to część wagi meteorytu pochodząca od i -go składnika (tlenku, pierwiastka, minerału) tworzącego chondryt, A_i to ciężar atomowy/masa atomowa i -go składnika, a Z_i to liczba porządkowa i -go składnika. Średni ciężar atomowy tlenków, pierwiastków i troilitu A_i , oraz A_{mean} meteorytów jest wielkością bezwymiarową, podobnie jak względna masa atomowa pierwiastków. Bezwymiarowe są także liczby porządkowe Z_i oraz Z_{mean} .

Badania materii planetarnej i materii Księżyca umożliwiły autorowi odkrycie kilku ważnych zależności pomiędzy średnim ciężarem atomowym (A_{mean} , A) i innymi właściwościami fizycznymi (Szurgot 2015a–e). Umożliwiają określenie średniego ciężaru atomowego A_{mean} meteorytu w sytuacji, gdy nie jest znany średni skład chemiczny meteorytu. Umożliwiają także przewidywanie wartości A_{mean} lub dokonanie weryfikacji wartości A_{mean} .

Pierwszy związek to zależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} oraz stosunkiem atomowym Fe/Si dla chondrytów zwyczajnych: LL, L i H (Szurgot 2015c, d, e). Zależność tą opisuje równanie:

$$A_{mean} = (5,72 \pm 0,52)(Fe/Si)_{at} + (20,25 \pm 0,34), \quad (4)$$

dla którego współczynnik korelacji $R^2 = 0,996$, a średni błąd kwadratowy $RSME = 0,12$.

Wyniki autora dotyczące badań spadków hiszpańskich chondrytów zwyczajnych pokazały, że zależność $A_{mean}(Fe/Si)$ także dobrze opisuje równanie:

$$A_{mean} = (6,25 \pm 0,16)(Fe/Si)_{at} + (20,19 \pm 0,11), \quad (5)$$

dla którego współczynnik korelacji $R^2 = 0,998$, a średni błąd kwadratowy $RSME = 0,05$ (Szurgot 2018a). Oba równania (4) i (5) reprezentują ten sam związek i prowadzą do porównywalnych wartości A_{mean} , ale wartości $A_{mean}(Fe/Si)$ dla meteorytów hiszpańskich nieco precyzyjniej przewiduje równanie (5).

Drugi związek to zależność średniego ciężaru atomowego A_{mean} od gęstości niesprężonej planet $d(g/cm^3)$, który jest wyrażony równaniem:

$$A_{mean} = (7,51 \pm 0,13)d + (-2,74 \pm 0,55), \quad (6)$$

dla którego współczynnik korelacji $R^2 = 0,99$, a średni błąd kwadratowy $RMSE = 0,54$ (Szurgot 2015a, b, c). Dla meteorytów gęstość niesprężona to gęstość ziaren w warunkach normalnych. Równanie (6) pozwala określić A_{mean} znając gęstość ziaren d .

Współzależność A_{mean} i d prowadzi do innego ważnego związku, który jest wyrażony równaniem:

$$d = (0,133 \pm 0,002)A_{mean} + (0,37 \pm 0,07), \quad (7)$$

dla którego średni błąd kwadratowy wynosi $RMSE = 0,07$ (Szurgot 2015a, b, c). Stosując równanie (7) można określić gęstość ziaren d , oznaczoną także jako d_{grain} i d_{gr} w dalszej części pracy, wykorzystując uprzednio określoną wartość A_{mean} .

Trzeci związek odkryty przez autora (Szurgot 2016a, d) to zależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} i logarytmem podatności magnetycznej meteorytu log , który jest wyrażony równaniem:

$$A_{mean} = 1,49log + 16,6, \quad (8)$$

dla którego współczynnik korelacji wynosi $R^2 = 0,95$, a średni błąd kwadratowy wynosi $RMSE = 0,24$. Otrzymane z równania (8) wartości A_{mean} dotyczą składu meteorytów bez H_2O , ponieważ dla nich zależność $A_{mean}(log)$ została wyznaczona. Poprawne wartości A_{mean} będą przewidywane także przy małej zawartości H_2O w składzie skały meteorytu.

Podatność magnetyczna jest ważną wielkością fizyczną, ostatnio często wykorzystywaną do klasyfikacji meteorytów, także chondrytów (Rochette i in. 2003, 2008, 2012, Smith i in. 2006, Keil i in. 2015, Przylibski 2016, Bartoschewitz i in. 2017). Współzależność pomiędzy A_{mean} i log można także wyrazić przez związek, wyrażony równaniem:

$$log = 0,61A_{mean} - 9,7, \quad (9)$$

który umożliwia przewidywanie wartości log w oparciu o znajomość A_{mean} (Szurgot 2016a, d). Średni błąd kwadratowy dla log określonego z równania (9) wynosi $RMSE = 0,16$, a współczynnik korelacji wynosi 0,95.

Tabela 1 prezentuje wartości w_i (% wagowe), wartości A_{mean} , Z_{mean} i A_{mean}/Z_{mean} obliczone dla materii tego chondrytu oraz jego krzemianów i metalu z wykorzystaniem równań (1)–(3), oraz dane eksperymentalne o średnim składzie tlenkowym i pierwiastkowym meteorytu Jezersko (Miler i in. 2014). W tabeli 1 prezentowane są także dane o przewidywanych wartościach gęstości ziaren d_{grain} (równania (7), (15) i (16)) i logarytmie podatności magnetycznej log , oraz obliczone przez autora wartości stosunku atomowego Fe/Si , a także o zawartości troilitu. Dane Milera i in. (2014) o zawartości siarki w tym chondrycie i proste przeliczenie wskazują na zawartość troilitu (FeS) 4,09% wagowych w chondrycie Jezersko.

Ponieważ wartości $A_{mean}(\text{skład chemiczny})$, $A_{mean}(Fe/Si)$, $A_{mean}(d_{grain})$ oraz $A_{mean}(log)$ są bliskie jedna drugiej to:

$$A_{mean}(\text{skład chemiczny}) \approx A_{mean}(Fe/Si) \approx A_{mean}(d_{grain}) \approx A_{mean}(log), \quad (10)$$

a każda z nich jest obciążona pewnym błędem eksperymentalnym, to dla zmniejszenia niepewności w przewidywaniu A_{mean} można użyć średnich arytmetycznych z dwu, lub trzech zależności A_{mean} (właściwość fizyczna).

Dane literaturowe o zawartości pierwiastków w chondrycie Jezersko wykorzystane w tabeli 1 otrzymano stosując trzy techniki doświadczane: i) ICP-OES dla pierwiastków: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn oraz Ni, ii) ICP-MS dla Cr oraz iii) INAA dla dwu pierwiastków: Fe oraz Co (Miler i in. 2014). Zawartość tlenu w tlenkach wprowadzono korzystając z wymagań stechiometrii.

Tabela 1. Średnia zawartość tlenków i pierwiastków w chondrycie H4 Jezersko, wartości A_{mean} , Z_{mean} i A_{mean}/Z_{mean} tego chondrytu, przewidywana gęstość ziaren d_{grain} , oraz przewidywany logarytm podatności magnetycznej log .

Tlenek / pierwiastek / siarczek	Ai	Zi	Jezersko	Krzemiany	Metal
			wi (% wag.)	wi (% wag.)	wi (% wag.)
SiO ₂	20,028	10	36,41	36,41	
TiO ₂	26,362	12,667	0,099	0,099	
Al ₂ O ₃	20,392	10	2,06	2,06	
Cr ₂ O ₃	30,399	14,4	0,484	–	
FeO	35,922	17	11,82	11,82	
MnO	35,472	16,5	0,306	0,306	
MgO	20,152	10	22,92	22,92	
CaO	28,039	14	1,665	1,665	
Na ₂ O	20,66	10	0,795	0,795	
K ₂ O	31,397	15,833	0,12	0,12	
P ₂ O ₅	20,278	10	0,24	–	
Fe _{metal}	55,845	26	13,31	–	13,31
Ni	58,693	28	1,5	–	1,5
Co	58,933	27	0,0727	–	0,0727
FeS	43,954	21	4,09	–	
wi			95,89	76,19	14,88
Fetotal			25,1	9,19	13,31
(wi/Ai)			3,88538023	3,4994476	0,26512857
(wi/Zi)			7,88293729	7,06666283	0,56818710
A _{mean} (skład chemiczny)			24,68	21,77	56,12
Z _{mean}			12,16	10,78	26,19
A _{mean} /Z _{mean}			2,029	2,019	2,143
Fe/Si			0,742	0,272	–
A _{mean} (Fe/Si)*			24,49±0,12	21,80±0,12	–
A _{mean} (Fe/Si)**			24,83±0,05	21,89±0,05	–
A _{mean} (Fe/Si)average			24,66±0,24	21,84±0,06	–
d _{grain} (A)***			3,65±0,07	3,27±0,07	7,83±0,07
d _{grain} (Fe/Si)#			3,68	3,32	–
d _{grain} (Fe/Si)##			3,68	3,29	–
d _{gr} (A,Fe/Si)av			3,67±0,03	3,29±0,03	
Log ****			5,35±0,16	–	–

= suma. Wartości obliczone z równania: *(4), **(5), *(7), *(9), #(15), ##(16).

Tabela 1 pokazuje, że średni ciężar atomowy meteorytu Jezersko określony z jego składu chemicznego wynosi $A_{mean}(\text{skład chemiczny}) = 24,68$, a ze stosunku atomowego Fe/Si : $A_{mean}(Fe/Si) = 24,49$ (z równania (4)) oraz $A_{mean}(Fe/Si) = 24,83$ (z równania (5)), a wartość średnia $A_{mean}(Fe/Si)_{av} = 24,66 \pm 0,24$ jest bardzo bliska wartości A_{mean} wyznaczonej ze składu chemicznego meteorytu.

Tabela 2 zawiera dane określone przez autora (Szurgot 2016a, d) o średnich wartościach A_{mean} dla grup LL, L, H, L/LL i H/L chondrytów zwyczajnych. Dane dotyczą spadków, a w średnim składzie chemicznym grup meteorytów zawarta jest H_2O , zgodnie z danymi chemicznymi Jarosewicha (1990). Tabela 2 zawiera także dane autora (Szurgot 2016a, d) określone w oparciu o dane literaturowe dotyczące średniej wartości stosunku atomowego Fe/Si , gęstości ziaren d_{grain} oraz logarytmu podatności magnetycznej log grup chondrytów zwyczajnych reprezentowanych przez spadki.

Tabela 2. Średni ciężar atomowy A_{mean} , stosunek Fe/Si , $d_{grain}(g/cm^3)$ i log dla spadków różnych grup chondrytów zwyczajnych (Szurgot 2016a, d, 2018e) oraz chondrytu Jezersko.

Meteoryt	LL	L/LL	L	H/L	H	Jezersko (H4, S2(3), W2) [W0]
A_{mean}						
$A_{mean}(\text{skład chemiczny})$	22,90 23,03 [^] 23,36 ^{^ ^}	23,34	23,67	24,32	24,63	24,68* [25,13]
$A_{mean}(Fe/Si)^{\S}$	23,22	23,33	23,65	24,40	24,87	24,49 [24,95]
$A_{mean}(d_{grain})$	23,70	23,62	24,15	24,60	25,12	–
$A_{mean}(log)$	22,72	23,54	23,86	24,06	24,53	–
Fe/Si	0,520	0,538	0,594	0,726	0,807	0,742 [0,817]
$d_{grain}(g/cm^3)_{exper}$	3,52–3,54	3,51	3,56–3,58	3,64	3,71–3,72	n.d.
$d_{grain}(A_{mean})$	3,42–3,48	3,47	3,52	3,60	3,65	3,65 [3,71]
$d_{grain}(Fe/Si)^{\#}$	3,51 ^{###}	3,52	3,56 ^{###}	3,67	3,73 ^{###}	3,68 [3,74]
$d_{grain}(Fe/Si)^{\#\#}$	3,49	3,51	3,55	3,66	3,73	3,68 [3,74]
$d_{gr}(A,Fe/Si)_{av}$	3,48 \pm 0,03	3,50 \pm 0,03	3,54 \pm 0,02	3,64 \pm 0,04	3,70 \pm 0,05	3,67 \pm 0,03 [3,73]
log	4,11	4,66	4,87	5,01	5,32	5,35 ^{**} [5,65]

*Wartość dla składu chemicznego meteorytu Jezersko nie zawierającego H_2O , w stanie zwietrzenia W2. W nawiasach kwadratowych [] podano przewidywane wartości dla W0. **Wartość log przewidywana w oparciu o równanie (9). ###Wartość A_{mean} dla składu chemicznego chondrytów grupy LL: [^] z H_2O , ^{^ ^} bez H_2O , według nowych danych Szurgota (2016b). #Wyznaczone z równania (15), ##z równania (16). ###Określone przez Szurgota (2017g). §Obliczone z równania (4). $d_{grain}(A_{mean})$ wyznaczone z równania (7). Eksperymentalne dane o wartościach $d_{grain}(g/cm^3)$ oraz log dla spadków chondrytów LL, L, H, L/LL oraz H/L wzięto z tabeli 3 z pracy Szurgota (2018e), w której analizę oparto o wyniki Mackego (2010), Consolmagno i in. (2008) oraz Rochette i współpr. (2003). n.d. – dotychczas nie dokonano pomiarów. $d_{gr}(A,Fe/Si)_{av}$ to średnia arytmetyczna dana wyrażeniem: $d_{gr}(A,Fe/Si)_{av} = [d_{grain}(A_{mean}) + d_{grain}(Fe/Si)^{\#} + d_{grain}(Fe/Si)^{\#\#}]/3$.

Zgodnie z analizą autora (Szurgot 2016a,d) dane zawarte w tabeli 2 pokazują, że *Amean*, stosunek *Fe/Si*, *dgrain* oraz *log* spełniają następujące nierówności:

$$AmeanLL < AmeanL/LL < AmeanL < AmeanH/L < AmeanH, \quad (11)$$

$$(Fe/Si)LL < (Fe/Si)L/LL < (Fe/Si)L < (Fe/Si)H/L < (Fe/Si)H, \quad (12)$$

$$dgrainLL \quad dgrainL/LL < dgrainL < dgrainH/L < dgrainH, \quad (13)$$

$$\log LL < \log L/LL < \log L < \log H/L < \log H. \quad (14)$$

Tabela 2 oraz nierówności (11)–(14) pokazują, że średnie wartości *Amean*, *Fe/Si*, *dgrain* i *log* dla chondrytów grupy przejściowej L/LL są pomiędzy wartościami uzyskanymi dla chondrytów L i LL, a dla grupy przejściowej chondrytów H/L są pomiędzy wartościami charakterystycznymi dla chondrytów H i L (Szurgot 2016a, d). Oznacza to, że *Amean* oraz *Fe/Si* są wielkościami użytecznymi dla klasyfikacji chondrytów zwyczajnych. Dane w tabeli 2 ujawniają, że średnie gęstości ziaren chondrytów LL i L/LL są porównywalne, natomiast gęstość ziaren chondrytów grupy H/L pozwala na ich rozróżnienie zarówno od chondrytów L, jak i chondrytów H (Szurgot 2016a, d).

W celu porównania wartości *Amean* i innych wielkości fizycznych chondrytu Jezersko i średnich wartości różnych właściwości fizycznych różnych grup chondrytów zwyczajnych w tabeli 2 zestawiono wspólne dane.

Zależność *Amean(Fe/Si)* (równania (4) i (5)) dają wartości *Amean* = 24,49 oraz 24,83 (*Fe/Si* = 0,742), bliskie wartości *Amean* (skład chem.) = 24,68 otrzymanej ze składu chemicznego chondrytu. Zarówno skład chemiczny jak i stosunek atomowy *Fe/Si* (tab. 2) wskazują, że meteoryt Jezersko jest chondrytem H.

Średni ciężar atomowy zwietrzałego w stopniu W2 Jezerska (24,68), otrzymany dla składu bez wody, jest bliski średniej wartości *Amean* dla złazisk chondrytów grupy H: (*Amean* = 24,80), jest nieco mniejszy niż wartości *Amean* spadków chondrytów grupy H: (*Amean* = 25,05) (Szurgot 2015e) i mniejszy niż *Amean* spadków chondrytów podgrupy H4: (*Amean* = 25,09) (Szurgot 2015e).

Wartość *Amean* Jezerska jest porównywalna z wartościami uzyskanymi dla wielu spadków indywidualnych chondrytów grupy H: Košice H5: 24,98 (Szurgot 2018c), Grzempach H5: 24,81 (Szurgot 2018d), Pułtusk H5: 25,05, Allegan H5: 25,29, Ashmore H5: 25,04, Chela H5: 24,84, Ehole H5: 24,99, Ipiranga H5: 24,99, Itapicuru-Mirim H5: 25,47, Lost City H5: 25,11, Macau H5: 24,97, Pribram H5: 24,86, Pulsora H5: 25,25, Sitathali H5: 25,07, Uberaba H5: 24,74, Ucera H5: 24,88 (Szurgot 2015e), Dwaleni H4-6: 25,17 (Szurgot 2015e), Mago-mbedze H3-5: 24,85 (Szurgot 2015e), Sharps H3.4: 24,7 (Szurgot 2017b), Sena H4: 24,14, Cañellas H4: 24,75, Olmedilla de Alarcón H5: 25,13, Molina H5: 24,47, Cangas de Onis H5: 25,17, Guareña H6: 25,32 i Nulles H6: 24,82 (Szurgot 2018a).

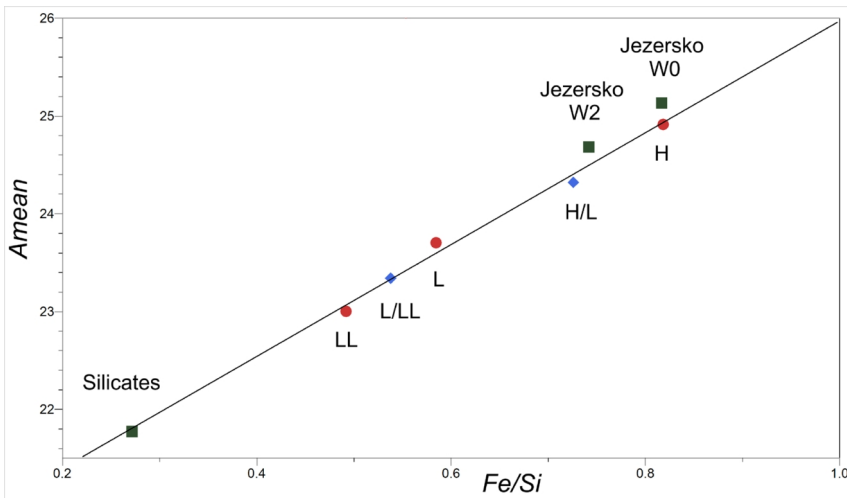
Średnia liczba porządkowa *Zmean* oraz stosunek *Amean/Zmean* dla badanego chondrytu Jezersko zostały również określone (tab. 1). Otrzymano dla Jezerska następujące wartości: *Zmean* = 12,16 oraz *Amean/Zmean* = 2,019. Stosunek *Amean/Zmean* Jezerska jest zbliżony do wartości *Amean/Zmean* uzyskanych dla

chondrytów grupy H4-5: 2,026 dla meteorytu Košice (Szurgot 2016e), oraz 2,030 dla meteorytu Pułtusk (Szurgot 2015f, 2016e). Porównanie zakresu wartości stosunku A_{mean}/Z_{mean} dla trzech grup chondrytów zwyczajnych potwierdza, że jest on zawarty w przedziale 2,015–2,030 (Szurgot 2018e), a chondryty H, w tym także Jezersko, wykazują nieco większy stosunek A_{mean}/Z_{mean} niż grupy L i LL.

Rysunek 1 prezentuje zależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} i stosunkiem atomowym Fe/Si dla grup chondrytów zwyczajnych: LL, L/LL, H/L, H oraz chondrytu Jezersko. Wartości A_{mean} i Fe/Si dla chondrytów LL, L oraz H pochodzą z wcześniejszej pracy autora (Szurgot 2015c), a wartości A_{mean} i Fe/Si z nowszej pracy autora (Szurgot 2016a). Zależność $A_{mean}(Fe/Si)$ opisuje równanie (4). Wartości A_{mean} prezentowane tutaj wynikają ze średniego składu chemicznego chondrytów i zostały wyznaczone z równania (1). Można zauważyć, że zależność $A_{mean}(Fe/Si)$ wyrażona przez równanie (4) dobrze opisuje materię całej skały meteorytów (rys. 1). Prezentowane dane wskazują, że chondryt Jezersko należy do grupy H.

Znajomość gęstości ziaren meteorytów, gęstości chondr w chondrytach, oraz gęstości niesprężonej planet i ich składników: jąder, płaszczy oraz skorup jest konieczna dla badań materii pozaziemskej. Odkryta przez autora współzależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} i gęstością d , a wyrażona przez równania (6) i (7) (Szurgot 2015a, b, c) jest cennym i przydatnym narzędziem badań materii pozaziemskej, narzędziem do analizy zarówno średniego ciężaru atomowego jak i analizy gęstości ziaren meteorytów i gęstości planet.

Stosując równanie (7) można określić gęstość ziaren wykorzystując uprzednio określoną wartość A_{mean} . Dla wyznaczonego ciężaru atomowego meteorytu Jezersko, jego krzemianów oraz części metalicznej (Fe, Ni, Co) meteorytu, tj. dla warto-



Rys. 1. Zależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} oraz stosunkiem atomowym Fe/Si dla chondrytów zwyczajnych LL, L/LL, L, H/L, H oraz chondrytu Jezersko. Dwie wartości A_{mean} dla skały meteorytu Jezersko wskazane przez zielone kwadraty zostały obliczone dla składu bez H_2O , jedna dla stopnia zwietrzenia W2, druga wartość jest przewidywaną dla meteorytu niezwiertzałego (W0).

ści: 24,68, 21,77 oraz 56,12 równanie (7) przewiduje gęstość ziaren chondrytu Jezersko: $3,65 \text{ g/cm}^3$, gęstość krzemianów tego meteorytu: $3,27 \text{ g/cm}^3$, oraz gęstość metalu: $7,83 \text{ g/cm}^3$ (tab. 1). Są to realne wartości gęstości. Dane te oczekują na eksperymentalną weryfikację.

Nie tylko zależność gęstości od średniego ciężaru atomowego $d(A_{mean})$ umożliwia przewidywanie i/lub weryfikację gęstości ziaren meteorytu i gęstości niesprężonej planet. Istnieje odkryty przez autora związek $d(Fe/Si)$ pomiędzy gęstością materii pozaziemskiej i stosunkiem atomowym Fe/Si (Szurgot 2017g, h, i). Związek ten jest wyrażony przez równanie:

$$d \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,765 \text{ Fe/Si} + 3,11, \quad (15)$$

dla którego niepewność w określeniu gęstości jest rzędu 0,04–0,09 g/cm^3 .

Stosując związek $d(Fe/Si)$ (równanie (15)) otrzymano realne wartości dla gęstości niesprężonej Ziemi ($3,95 \text{ g/cm}^3$), Wenus ($3,87 \text{ g/cm}^3$), Marsa ($3,73 \text{ g/cm}^3$) i Księżyca ($3,27 \text{ g/cm}^3$) oraz dla gęstości ziaren grup chondrytów zwyczajnych H ($3,73 \text{ g/cm}^3$), L ($3,56 \text{ g/cm}^3$), LL ($3,51 \text{ g/cm}^3$), także dla indywidualnych chondrytów: chondrytu LL6 Stubenberg ($3,53 \text{ g/cm}^3$) (Szurgot 2017e,f,g) oraz dla chondrytu L6 Sołtmany ($3,56 \text{ g/cm}^3$) (Szurgot 2017i).

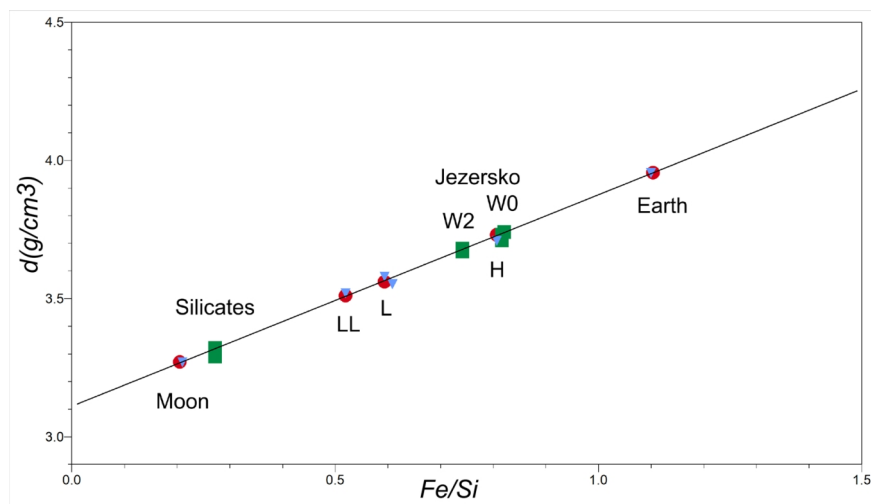
Równanie (15) prowadzi do realnych wartości gęstości indywidualnych chondr w meteorytach (Szurgot 2017h,i). Analiza autora danych eksperymentalnych dotyczących chondr dwu chondrytów węglistych: MET 00426 (CR2) i Kainsaz (CO3.2) oraz jednego chondrytu zwyczajnego MET 00526 (L(LL)3.05), dla których zostały zmierzone gęstości indywidualnych chondr i zawartości pierwiastków Fe oraz Si , a więc i stosunku Fe/Si (Berlin 2009), wykazała zadowalającą zgodność pomiędzy wartościami eksperymentalnymi $d_{exp}(Fe/Si)$ i gęstościami chondr $d(Fe/Si)$ przewidywanymi przez równanie (15). Otrzymano liniową zależność pomiędzy $d_{exp}(Fe/Si)$ i $d(Fe/Si)$ potwierdzoną wysokim współczynnikiem korelacji $R^2 = 0,97$ i stosunkowo niewielkim błędem średnim $RMSE = 0,08$ (Szurgot 2017h, i).

Wyżej prezentowane dane wskazują, że zależność wyrażona przez równanie (15) prowadzi do poprawnych przewidywań gęstości zarówno dla meteorytów, jak i chondr, a także planet: Ziemi, Wenus, Marsa oraz Księżyca. Wykorzystanie wartości stosunku atomowego Fe/Si : 0,742 dla meteorytu Jezersko oraz 0,272 dla krzemianów tego chondrytu (tab. 1) prowadzi do wartości gęstości ziaren $3,65 \text{ g/cm}^3$ dla Jezerska i gęstości jej krzemianów: $3,32 \text{ g/cm}^3$ (tab. 1, rys. 2).

Ponieważ, zgodnie z wynikami autora, hiszpańskie chondryty zwyczajne nieco lepiej opisuje równanie (5) niż równanie (4), to uwzględniając dane dla spadków meteorytów hiszpańskich, zależność $d(Fe/Si)$ została nieco zmodyfikowana. Nowszą wersję zależności $d(Fe/Si)$ otrzymano przez podstawienie $A_{mean}(Fe/Si)$ (równanie (5)) do zależności $d(A_{mean})$ (równanie (7)):

$$d(\text{g/cm}^3) = (0,83 \pm 0,03) \text{ Fe/Si} + (3,06 \pm 0,12), \quad (16)$$

Zastosowanie równania (16) dla meteorytu Jezersko prowadzi do wartości gęstości ziaren: $3,68 \text{ g/cm}^3$, oraz do gęstości ziaren jego krzemianów: $3,29 \text{ g/cm}^3$



Rys. 2. Zależność $d(Fe/Si)$ pomiędzy gęstością ziaren d i stosunkiem atomowym Fe/Si . Zielone kwadraty wskazują przewidywane przez równania (14), (15) i (7) gęstości ziaren Jezerska dla całej skały meteorytu będącej aktualnie w stopniu zwiertzenia W2 i wcześniej w stopniu W0, oraz jego krzemianów. Punkty oznaczone przez czerwone koła wskazują wyniki otrzymane z równania (15) dla Ziemi, Księżyca i chondrytów zwyczajnych LL, L, oraz H (Szurgot 2017f, g). Niebieskie trójkąty wskazują eksperymentalne wartości gęstości ziaren chondrytów zwyczajnych (Macke 2010, Consolmagno i in. 2008) i przewidywane teoretycznie gęstości niesprężone Ziemi i Księżyca (Stacey 2005). Na osi odciętych występują wartości stosunku Fe/Si wyznaczone ze składu chemicznego meteorytu Jezersko, chondrytów LL, L, H, Ziemi oraz Księżyca (Szurgot 2017f, g).

(tab. 1). Są to porównywalne gęstości w stosunku do gęstości Jezerska i jego krzemianów otrzymanych z równania (7). Dla grup chondrytów zwyczajnych LL ($Fe/Si = 0,520$), L ($Fe/Si = 0,594$) oraz H ($Fe/Si = 0,807$, Szurgot 2016a) z równania (16) otrzymuje się następujące wartości średniej gęstości ziaren: dla grupy LL: $3,49 \text{ g/cm}^3$, dla grupy L: $3,55 \text{ g/cm}^3$, oraz dla grupy H: $3,73 \text{ g/cm}^3$, wartości te są zbliżone do tych przewidywanych przez równanie (15). Otrzymana dzięki równaniu (16) gęstość ziaren grupy H jest o $0,02 \text{ g/cm}^3$ niższa, gęstość ziaren grupy L jest o $0,01 \text{ g/cm}^3$ niższa, a gęstość ziaren grupy H jest identyczna jak przewidywana przez równanie (15). Dane te wskazują, że oba równania (15) oraz (16) prowadzą to poprawnych i porównywalnych wartości gęstości ziaren dla chondrytów zwyczajnych.

Podsumowując te wyniki można stwierdzić, że uśrednienie danych otrzymanych z wykorzystaniem zależności $d_{gr}(A_{mean})$ oraz $d_{gr}(Fe/Si)$ przewiduje globalną gęstość ziaren dla meteorytu Jezersko (H4, S2(3), W2): $d_{grain}(A, Fe/Si)_{av} = 3,67 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ ($3,65$ z równania (7) i $3,68 \text{ g/cm}^3$ z równań (15) i (16)) oraz uśrednioną gęstość ziaren dla jego krzemianów: $d_{grain}(A, Fe/Si)_{av} = 3,29 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ ($3,27 \text{ g/cm}^3$ z równania (7), a $3,32$ i $3,29 \text{ g/cm}^3$ z równań (15) i (16)), natomiast zależność $d_{gr}(A_{mean})$ (równanie (7)) przewiduje dla metalu Jezerska gęstość: $d_{gr}(A_{mean})_{metal} = 7,83 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$.

Aby określić wpływ stopnia zwiertzenia tego meteorytu na jego średni ciężar atomowy, stosunek atomowy Fe/Si oraz gęstość ziaren wykorzystano dane

mössbauerowskie dotyczące wpływu stopnia zwietrzenia na przenikalność magnetyczną chondrytów H pochodzących z pustyni Atakama (Rochette i in. 2012), jednego z najbardziej suchych miejsc na Ziemi. Z wykresu prezentowanego na rysunku 4 w cytowanej pracy odczytać można, że wartość logarytmu podatności magnetycznej niezwiertzalych chondrytów grupy H, tj. dla stopnia zwietrzenia W_0 , $\log(W_0)$ wynosi 5,32, a dla stopnia zwietrzenia W_2 jest równa $\log(W_2) = 5,02$.

Dane te wprowadzone do równania (8) prowadzą do zależności:

$$A_{mean} = A_{mean}(W_0) - A_{mean}(W_2) = 1,49[\log(W_0) - \log(W_2)], \quad (17)$$

$$\begin{aligned} A_{mean}(W_0) &= A_{mean}(W_2) + A_{mean} = \\ &= A_{mean}(W_2) + 1,49[\log(W_0) - \log(W_2)]. \end{aligned} \quad (18)$$

Z równań (17) i (18) wynika, że przyjmując dla meteorytu Jezersko taki sam przyrost logarytmu podatności magnetycznej przy przejściu od W_2 do W_0 jak średnio w meteorytach grupy H:

$$\log = [\log(W_0) - \log(W_2)] = 5,32 - 5,02 = 0,30, \quad (19)$$

otrzymujemy dla chondrytu Jezersko przyrost średniego ciężaru atomowego $A_{mean} = 0,45$, a przewidywana wartość średniego ciężaru atomowego niezwiertzalonego chondrytu Jezersko powinna być równa:

$$A_{mean}(W_0) = A_{mean}(W_2) + A_{mean} = 24,68 + 0,45 = 25,13. \quad (20)$$

Dla określenia wpływu stopnia zwietrzenia tego meteorytu na jego gęstość ziaren można wykorzystać równanie (7) oraz równania (17)–(20). Na określenie przyrostu gęstości ziaren otrzymujemy wyrażenia:

$$\begin{aligned} d(\text{g/cm}^3) &= d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 0,133[A_{mean}(W_0) - A_{mean}(W_2)] = \\ &= 0,133 A_{mean}, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} d(\text{g/cm}^3) &= d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 1,49 \cdot 0,133[\log(W_0) - \log(W_2)] = \\ &= 0,20 \log. \end{aligned} \quad (22)$$

Podstawienie wartości liczbowych: $A_{mean} = 0,45$ do równania (21) prowadzi do wartości $d = d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 0,06 \text{ g/cm}^3$, a podstawienie $\log = 0,30$ do równania (22) prowadzi do wartości $d = d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 0,045 \text{ g/cm}^3$ dla Jezerska.

Dla określenia wpływu stopnia zwietrzenia tego meteorytu na jego gęstość ziaren można także wykorzystać równania (15) oraz (16). Z równania (15) otrzymujemy związek:

$$\begin{aligned} d(\text{g/cm}^3) &= d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 0,765[Fe/Si(W_0) - Fe/Si(W_2)] = \\ &= 0,765 (Fe/Si) \end{aligned} \quad (23)$$

a z równania (16) wyrażenie:

$$\begin{aligned} d(\text{g/cm}^3) &= d_{grain}(W_0) - d_{grain}(W_2) = 0,83[Fe/Si(W_0) - Fe/Si(W_2)] = \\ &= 0,83 (Fe/Si). \end{aligned} \quad (24)$$

Oba równania (23) oraz (24) do wyznaczenia d wymagają znajomości przyrostu stosunku atomowego $(Fe/Si) = Fe/Si(W0) - Fe/Si(W2)$, a ten z kolei można określić w oparciu o równania (4), (5), (17) i (19).

Łącząc równania (4), (17) i (19) otrzymujemy:

$$(Fe/Si) = Fe/Si(W0) - Fe/Si(W2) = (1,49/5,72) \log = 0,26 \log, \quad (25)$$

a połączenie równań (5), (17) i (19) daje:

$$(Fe/Si) = Fe/Si(W0) - Fe/Si(W2) = (1,49/6,25) \log = 0,24 \log. \quad (26)$$

Równanie (25) dla meteorytu Jezersko prowadzi do wartości $(Fe/Si) = 0,078$, a równanie (26) do wartości $(Fe/Si) = 0,072$. Te dane prowadzą do wartości $d = 0,06 \text{ g/cm}^3$ z równania (23) i do tej samej wartości $d = 0,06 \text{ g/cm}^3$ z równania (24).

Równania (25) i (26) prowadzą do zależności stosunku atomowego Fe/Si niezwiertzałego meteorytu Jezersko $Fe/Si(W0)$, od jego wartości $Fe/Si(W2)$ w stopniu zwiertzenia $W2$:

$$Fe/Si(W0) = Fe/Si(W2) + (Fe/Si) = Fe/Si(W2) + 0,26 \log, \quad (27)$$

$$Fe/Si(W0) = Fe/Si(W2) + (Fe/Si) = Fe/Si(W2) + 0,24 \log. \quad (28)$$

Równanie (27) dla meteorytu Jezersko prowadzi do wartości $Fe/Si(W0) = 0,821$, a równanie (28) do wartości $Fe/Si(W0) = 0,814$, co daje średnią wartość $Fe/Si(W0) = 0,817 \pm 0,005$ (tab. 2). Taki stosunek atomowy Fe/Si potwierdza klasyfikację meteorytu Jezersko jako chondrytu H.

Podstawienie równania (25) do równania (23) daje:

$$d(\text{g/cm}^3) = d_{\text{grain}}(W0) - d_{\text{grain}}(W2) = (0,765 \cdot 1,49/5,72) \log = 0,20 \log, \quad (29)$$

a podstawienie równania (26) do równania (24)

$$d(\text{g/cm}^3) = d_{\text{grain}}(W0) - d_{\text{grain}}(W2) = (0,83 \cdot 1,49/6,25) \log = 0,20 \log, \quad (30)$$

które dla wartości $\log = 0,30$ przewidują $d = 0,06 \text{ g/cm}^3$ dla Jezerska.

Równania (21)–(24), (29) i (30) prowadzą do zależności:

$$d_{\text{grain}}(W0)(\text{g/cm}^3) = d_{\text{grain}}(W2) + 0,133 A_{\text{mean}}, \quad (31)$$

$$d_{\text{grain}}(W0)(\text{g/cm}^3) = d_{\text{grain}}(W2) + 0,20 \log. \quad (32)$$

Podstawienie wartości liczbowych $d_{\text{grain}}(W2) = 3,65 \text{ g/cm}^3$ oraz $A_{\text{mean}} = 0,45$ do równania (31) daje $d_{\text{grain}}(W0) = 3,71 \text{ g/cm}^3$, a podstawienie $d_{\text{grain}}(W2) = 3,68 \text{ g/cm}^3$ oraz $A_{\text{mean}} = 0,45$ do równania (31) daje $d_{\text{grain}}(W0) = 3,74 \text{ g/cm}^3$. Natomiast podstawienie wartości $d_{\text{grain}}(W2) = 3,68 \text{ g/cm}^3$ oraz $\log = 0,30$ do równania (32) daje $d_{\text{grain}}(W0) = 3,74 \text{ g/cm}^3$. Obie wartości gęstości ziaren przewidywane dla niezwiertzałego meteorytu Jezersko $3,71 \text{ g/cm}^3$ oraz dwukrotnie wartość $3,74 \text{ g/cm}^3$, a także ich średnia arytmetyczna: $3,73 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ dowodzą, że Jezersko to chondryt H.

Określenie globalnej gęstości ziaren ($3,67 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$) dla meteorytu Jezersko, będącego aktualnie w stopniu zwiertzenia $W2$, w połączeniu z wartością jego

gęstości objętościowej ($3,3 \text{ g/cm}^3$) zmierzonej przez Milera i współpracowników (2014) pozwala na przewidywanie porowatości Jezerska, która dla stopnia zwierzenia W2 powinna wynosić: $10,1 \pm 0,7\%$, a dla niezwiertżonego meteorytu Jezersko wykorzystanie wartości $d_{\text{grain}}(W0) = 3,73 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ prowadzi do nieco wyższej porowatości: $11,5 \pm 0,5\%$.

Oddziaływanie meteorytów ze środowiskiem ziemskim i kosmicznym prowadzi do ich wietrzenia. W 2003 roku Wlotzka wprowadził skalę wietrzenia, według której dla stopni wietrzenia W1 i W2 następuje utlenianie fazy metalicznej (kamacytu i taenitu), a dla stopnia W2 utlenieniu ulega już 20–60% metalu (Wlotzka 2003), przy czym na tym etapie ziemskiego wietrzenia krzemiany nie ulegają utlenieniu.

Spektroskopia mössbauerowska jest ważnym źródłem informacji, także o ziemskim wietrzeniu meteorytów. W jednej z najnowszych publikacji grupy warszawskiej powstanie uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza trójwartościowego w trzech zwiertżonych chondrytach grupy H: Carancas (H4-5, W0/1), Juacheng (H5, W1) oraz Gao-Guenie (H5, W2) zostało zaobserwowane (Jakubowska i in. 2017). Dla chondrytu Gao-Guenie, będącego w tym samym co Jezersko stopniu zwierzenia W2 zawartość ^{57}Fe wynosiła: kamacyt: 10,6%, tlenek żelaza Fe^{3+} : 20,3% oraz wodorotlenek żelaza: 11,7% (Jakubowska i in. 2017). Dane te wskazują, że początkowa zawartość Fe^0 w kamacycie Gao-Guenie wynosiła 42,6% atomów żelaza w meteorycie, a obecnie dla stanu W2 wynosi tylko jedną czwartą wartości początkowej.

Zakładam, że w przypadku Jezerska taka sama jak w Gao-Guenie część atomów żelaza (75%) przeszła z kamacytu do tlenków żelaza: hematytu Fe_2O_3 , magnetytu Fe_3O_4 , czy do uwodnionego tlenku żelaza lub wodorotlenku żelaza (goethytu $-\text{FeO}(\text{OH})$) w proporcji: 50% do tlenku żelaza, 25% do wodorotlenku żelaza. To przejście doprowadziło do wyraźnego zmniejszenia A_{mean} dla stanu W2, względem stanu W0. To zmniejszenie, które jak wskazuje przenikalność magnetyczna grupy H stopnia W2 i wcześniejsza analiza tego wpływu (równania (17) i (19)) powinno być rzędu $A_{\text{mean}} = A_{\text{mean}}(W0) - A_{\text{mean}}(W2) = 0,45$. Dla porównania, wartość A_{mean} metalu zastępowanego w wyniku wietrzenia utlenionymi minerałami żelaza, w którym dominuje kamacyt wynosi: 56,13, a wartość A_{mean} powstałych z kamacytu tlenków i wodorotlenków żelaza jest znacznie mniejsza i wynosi: A_{mean} hematytu: 31,94, magnetytu: 33,08, goethytu: 22,21.

Weryfikację typu petrograficznego chondrytu Jezersko oparto w niniejszej pracy na dwóch wielkościach: wartości A_{mean} oraz na zawartości fajalitu (Fa) w oliwinie.

W 2016 roku autor ujawnił dla spadków chondrytów zwyczajnych wpływ typu petrograficznego na wartość średniego ciężaru atomowego A_{mean} chondrytu (Szurgot 2016b). Pokazał, że względnie mało zmetamorfizowane cieplnie chondryty zwyczajne, tj. chondryty typu 3, wykazują mniejsze wartości A_{mean} niż chondryty poddane metamorfizmowi cieplnemu, tj. chondryty należące do typów 4, 5 oraz 6, a największy wpływ widać dla grupy H. Stwierdził, że zależność jest silniejsza, gdy uwzględniona zostanie zawartość wody. Stwierdził, że w grupie H wartości A_{mean} dla składu meteorytu bez wody dla typów petrograficznych 4–6 są prawie jednako-

we i zawarte w wąskim przedziale: 25,06–25,09, a ich średnia to: $25,07 \pm 0,02$, natomiast wartość A_{mean} dla typu 3 jest nieco mniejsza (24,84) niż w typach 4–6 (Szurgot 2016b).

Dane literaturowe składu chemicznego meteorytu Jezersko (Miler i in. 2014) użyte w obliczeniach A_{mean} (skład chemiczny) nie uwzględniają zawartości wody, więc weryfikacja typu petrograficznego chondrytu Jezersko jest możliwa tylko przez porównanie danych dla wartości A_{mean} określonych dla składu bez wody.

Ponieważ wartość A_{mean} (skład chemiczny) zwietrzałego w stopniu W2 meteorytu Jezersko jest zaniżona, to weryfikacja typu petrograficznego wymaga przejścia do stopnia zwietrzenia W0. Przewidywana przez równanie (20) wartość $A_{mean}(W0) = 25,13$ jest bliska wartości średniej $A_{mean} = 25,07$ dla spadków chondrytów H4–H6 i jest większa niż ta dla typu 3. Oznacza to, że Jezersko należy do grupy chondrytów poddanych metamorfizmowi cieplnemu, tj. należących do typów 4, 5, 6.

W 1990 roku Rubin analizując dane własne i literaturowe stwierdził, że zakres zawartości fajalitu (Fa) w oliwinie zrównoważonych chondrytów zwyczajnych (OC's) wynosi: 17,3–32,4, a zakres zawartości fajalitu, wyrażony w % molowych Fa, w indywidualnych grupach jest dużo węższy: grupa H4-6: 17,3–20,2 (średnia 18,8), grupa L4-6: 23,0–25,8 (średnia 24,7), a grupa LL4-6: 26,6–32,4 (średnia 29,4) (Rubin 1990). Nowsze dane prezentowane przez Grossmana i Rubina (2006) wskazują nieco szersze zakresy dla zawartości fajalitu w oliwinie zrównoważonych chondrytów zwyczajnych, dla grupy H: 16,5–20,8, grupy L: 22,0–26,6, oraz dla grupy LL: 25,8–33,0 (Grossman i Rubin 2006). Zgodnie z pomiarami Milera i in. (2014) zawartość fajalitu w oliwinie Jezerska mieści się w wąskim zakresie, przy czym średnia zawartość Fa w oliwinie wynosi: $Fa_{19,4 \pm 0,4}$. Potwierdza to, że zgodnie z tymi danymi, chondryt Jezersko należy do jednej z grup H4-6, a jego typ petrograficzny jest prawdopodobnie 5.

Wnioski

Niniejsza praca prezentuje wyniki badań średniego ciężaru atomowego A_{mean} , średniej liczby porządkowej Z_{mean} , stosunku A_{mean}/Z_{mean} oraz gęstości ziaren meteorytu Jezersko sklasyfikowanego w oparciu o dane petrologiczno-mineralogiczne jako chondryt zwyczajny H4, S2(3), W2.

1. W oparciu o dane literaturowe o składzie chemicznym meteorytu i związku wyprowadzone przez autora otrzymano dla chondrytu Jezersko zwietrzałego w stopniu W2 następujące wartości A_{mean} , Z_{mean} oraz A_{mean}/Z_{mean} :

$$A_{mean} = 24,68, Z_{mean} = 12,16, A_{mean}/Z_{mean} = 2,029.$$

2. Średni ciężar atomowy Jezerska: 24,68 wyznaczony dla składu chemicznego nie zawierającego wody jest bliski średniej wartości A_{mean} dla znalezisk chondrytów grupy H: ($A_{mean} = 24,80$), jest nieco mniejszy niż wartości A_{mean} spadków chondrytów grupy H: ($A_{mean} = 25,05$) (Szurgot 2015e) i spadków chondrytów H4: ($A_{mean} = 25,09$) (Szurgot 2015e) oraz względnie bliski war-

- tościom A_{mean} wyznaczonym przez autora dla spadków wielu indywidualnych chondrytów grupy H, zwłaszcza dla meteorytów: Košice H5: 24,98 (Szurgot 2018c), Grzempach H5: 24,81 (Szurgot 2018d), Pułtusk H5: 25,05, Chela H5: 24,84, Pribram H5: 24,86, Uberaba H5: 24,74, Ucera H5: 24,88 (Szurgot 2015e), Magombedze H3-5: 24,85 (Szurgot 2015e), Sharps H3.4: 24,7 (Szurgot 2017b), Cañellas H4: 24,75, Molina H5: 24,47 oraz Nulles H6: 24,82 (Szurgot 2018a).
3. Na podstawie obliczonych wartości A_{mean} ustalono, że chondryt Jezersko należy do grupy H, o wysokim typie petrograficznym, prawdopodobnie piątym, a nie czwartym, jak wcześniej ustalono (Miller i in. 2014).
 4. Potwierdzono, że odkryta w roku 2017 przez autora zależność: $A_{mean}(Fe/Si)$ (równanie (4)) jest użyteczna do przewidywania i weryfikacji wartości A_{mean} i może być wykorzystywana do klasyfikacji względnie mało zwietrzałych chondrytów zwyczajnych.
 5. Nowa zależność $A_{mean}(Fe/Si)$ wprowadzona przez autora w roku 2018 dla przewidywania wartości A_{mean} dla spadków chondrytów (równanie (5)) została zweryfikowana dla nowego znaleziska. Zbliżoną wartość A_{mean} do tej wskazanej przez skład chemiczny uzyskuje się z obu równań: (4) i (5). Równanie (5) przewiduje $A_{mean}(Fe/Si) = 24,83$ dla chondrytu Jezersko, a rok wcześniej odkryte przez autora równanie (4) wartość $A_{mean}(Fe/Si) = 24,49$. Oznacza to, że dla meteorytu Jezersko nowsza wersja zależności $A_{mean}(Fe/Si)$ (równanie (5)) jest wartościowa i prowadzi do porównywalnego wyniku, natomiast ich średnia arytmetyczna: $24,66 \pm 0,24$ jest już bardzo bliska wartości A_{mean} wyznaczonej ze składu chemicznego chondrytu Jezersko.
 6. Ustalono, że stosunek atomowy Fe/Si dla chondrytu Jezersko wynosi 0,742. Wartość stosunku Fe/Si dla meteorytu Jezersko jest bliska średniej dla chondrytów grupy H, wynoszącej 0,762 dla znalezisk, oraz 0,807 dla spadków chondrytów H (Szurgot 2015e). Jest to kolejny dowód na przynależność meteorytu Jezersko do chondrytów H.
 7. Określono gęstość ziaren meteorytu Jezersko, jego krzemianów oraz metalu (Fe, Ni, Co) wykorzystując zależność $dgr(A_{mean})$ (równanie (7)) oraz zależność $dgr(Fe/Si)$ (równania (15) i (16)). Uśrednienie danych otrzymanych z wykorzystaniem zależności $dgr(A_{mean})$ oraz $dgr(Fe/Si)$ przewiduje globalną gęstość ziaren dla meteorytu Jezersko (H4, S2(3), W2): $dgrain(A, Fe/Si)_{av} = 3,67 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ (3,65 (z równania (7)) i 3,68 g/cm^3 (z równań (15) i (16)) oraz uśrednioną gęstość ziaren dla jego krzemianów: $dgrain(A, Fe/Si)_{av} = 3,29 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ (3,27 g/cm^3 z równania (7), a 3,32 i 3,29 g/cm^3 z równań (15) i (16)), natomiast zależność $dgr(A_{mean})$ (równanie (7)) przewiduje dla metalu Jezerska gęstość: $dgr(A_{mean})_{metal} = 7,83 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$.
 8. Określono wpływ stopnia zwietrzenia tego meteorytu na jego średni ciężar atomowy, stosunek Fe/Si oraz gęstość ziaren. Wprowadzono nowe zależności analityczne do określenia tego wpływu (równania (17)–(32)). Stwierdzono, że wskutek zwietrzenia w stopniu W2 (wg. skali Wlotzki (2003)) średni ciężar atomowy Jezerska jest mniejszy o wartość 0,45 niż miał w chwili spadku, gdy

- był niezwiertzały, a jego stopień zwiertzenia wynosił W0, jego stosunek atomowy Fe/Si jest o 0,075 niższy, a jego gęstość ziaren o 0,06 g/cm³ mniejsza niż w chwili spadku. Oznacza to wartości: $A_{mean}(W0) = 25,13$, $Fe/Si(W0) = 0,817 \pm 0,005$ oraz $d_{grain}(W0) = 3,73 \pm 0,02$ g/cm³.
9. Wykorzystując dane Milera i współpracowników (2014) dotyczące zawartości siarki określono zawartość troilitu w meteorycie Jezersko: $FeS = 4,09\%$ wagowych.
 10. Wykorzystując zależność pomiędzy średnim ciężarem atomowym A_{mean} i logarytmem podatności magnetycznej meteorytu log (równanie (9)) określono logarytm podatności magnetycznej Jezerska: $log = 5,35 \pm 0,16$.
 11. Określenie globalnej gęstości ziaren meteorytu, w połączeniu z wartością gęstości objętościowej zmierzonej przez Milera i współpracowników (2014) pozwoliło na przewidywanie porowatości Jezerska, która powinna być równa $10,1 \pm 0,7\%$ dla stopnia zwiertzenia W2, oraz $11,5 \pm 0,5\%$ dla stopnia zwiertzenia W0.

PODZIĘKOWANIA: Autor serdecznie dziękuje żonie mgr farm. Jadwidze Szurgot za jej wsparcie, okazaną pomoc i konsultacje podczas badań. Wyrażam głęboką wdzięczność profesorowi Tadeuszowi Przylibskiemu za zachętę do prowadzenia badań właściwości fizycznych meteorytów i za cenne sugestie dotyczące prezentacji wyników badań.

Literatura

- Anderson D.L., 1989, *Theory of the Earth*, Blackwell Scientific Publications, London.
- Anderson D.L., Kovach R.L., 1967, *The composition of the terrestrial planets*, Earth and Planetary Science Letters, 3, s. 19–24.
- Anderson D.L., Jordan T., 1970, *The composition of lower mantle*, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 3, s. 23–35.
- Bartoschewitz R., Appel P., Barrat J.-A., Bischoff A., Caffee M.W., Franchi, I.A. Gabelica Z., Greenwood R.C., Harir M., Harries D., Hochleitner R., Hopp J., Laubenstein M., Mader B., Marques R., Morlok A., Nolze G., Prudêncio M.I., Rochette P., Ruf A., Schmitt-Koppelin P., Seemann E., Szurgot M., Tagle R., Wach R.A., Welten K.C., Weyrauch M., Wimmer K. (The Braunschweig Meteorite Consortium), 2017, *The Braunschweig meteorite – a recent L6 chondrite fall in Germany*, Chemie der Erde/Geochemistry, 77, s. 207–224.
- Beech M., Coulson I.M., Nie W., McCausland P., 2009, *The thermal and physical characteristics of the Gao-Guennie (H5) meteorite*, Planetary and Space Science, 57, s. 764–770.
- Berlin J., 2009, *Mineralogy and bulk chemistry of chondrules and matrix in petrologic type 3 chondrules and matrix in petrologic type 3 chondrites: implications for early Solar System processes*, PhD Thesis, Univ. New Mexico, Albuquerque.
- Birch F., 1961, *Composition of the Earth's Mantle*, Geophysical Journal International, 4, s. 295–311.
- Britt D.T., Consolmagno G.J., 2003, *Stony meteorite porosities and densities: a review of the data through 2001*, Meteoritics & Planetary Science, 38, s. 1161–1180.
- Consolmagno G.J., Macke R.J., Rochette P., Britt D.T., Gattacceca J., 2006, *Density, magnetic susceptibility, and the characterization of ordinary chondrite falls and showers*, Meteoritics & Planetary Science, 41, s. 331–342.

- Consolmagno G.J., Britt D.T., Macke R.J., 2008, *The significance of meteorite density and porosity*, *Chemie der Erde – Geochemistry*, 68, s. 1–29.
- Flynn G.J., Consolmagno G.J., Britt D. T., Brown P., Macke R.J., 2018, *Physical properties of the stone meteorites: Implications for the properties of their parent bodies*, *Chemie der Erde*, 78, s. 269–298.
- Grossman J., Rubin A., 2006, *White paper report for the Nomenclature Committee on the composition of olivine and pyroxene in equilibrated ordinary chondrites*, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/docs/whitepaper.pdf>.
- Hutchison R., 2004, *Meteorites – A petrologic, chemical and isotopic synthesis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jakubowska M., Rzepecka P., Duda P., Woźniak M., Gałązka-Friedman J., 2017, *Badania mössbauerowskie chondrytów zwyczajnych typu H potwierdzają stopień ich zwiertzenia określony za pomocą skali W*, *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum*, 8, s. 63–72.
- Jarosewich E., 1990, *Chemical analyses of meteorites: A compilation of stony and iron meteorite analyses*, *Meteoritics*, 25, s. 323–337.
- Keil K., Zucolotto M.E., Krot A.N., Doyle P.M., Telus M., Krot T.V., Greenwood R.C., Franchi I.A., Wasson J.T., Welten K.C., Caffè M.W., Sears D.W.G., Riebe M., Wieler R., dos Santos E., Scorzelli R.B., Gattacceca J., Lagroix F., Laubenstein M., Mendes J. C., Schmitt-Kopplin P., Harir M., Moutinho A.L.R., 2015, *The Vicência meteorite fall: A new unshocked (S1) weakly metamorphosed (3.2) LL chondrite*, *Meteoritics & Planetary Science*, 50, s. 1089–1111.
- Kiefer W.S., Macke R.J., Britt D.T., Irving A.J., Consolmagno G.J., 2012, *The density and porosity of lunar rocks*, *Geophysical Research Letters*, 39, L07201.
- Kohout T., Kletetschka G., Elbre T., Adachi T., Mikula V., Pesonen L.J., Schnabl P., Slechta S., 2008, *Physical properties of meteorites – applications in space missions to asteroids*, *Meteoritics & Planetary Science*, 43, s. 1009–1020.
- Macke R.J., 2010, *Survey of meteorite physical properties: density, porosity and magnetic susceptibility*, Ph.D. Thesis, University of Central Florida, Orlando.
- Macke R.J., Consolmagno G.J., Britt D.T., Hutson M.L., 2010, *Enstatite chondrite density, magnetic susceptibility, and porosity*, *Meteoritics & Planetary Science*, 45, s. 1513–1526.
- Macke R.J., Britt D.T., Consolmagno G.J., 2011, *Density, porosity, and magnetic susceptibility of achondritic meteorites*, *Meteoritics & Planetary Science*, 46, s. 311–326.
- Maj S., 1998, *Phonon thermal conductivity of geomaterials: Relationship to the density and mean atomic weight*, *Acta Geophysica Polonica*, 46, s. 415–425.
- Meteoritical Bulletin Database, 2018, <https://www.lpi.usra.edu/meteor/>.
- Miler M., Ambrožič B., Mitrič B., Gosar M., Šturm S., Dolenc M., Jeršek M., 2014, *Mineral and chemical composition of the Jezersko meteorite – a new chondrite from Slovenia*, *Meteoritics & Planetary Science*, 49, s. 1875–1887.
- Opeil C.P., Consolmagno G.J., Safarik D.J., Britt D.T., 2012, *Stony meteorite thermal properties and their relationship to meteorite chemical and physical states*, *Meteoritics & Planetary Science*, 47, s. 319–329.
- Ostrowski D., Bryson K., 2019, *The physical properties of meteorites*, *Planetary and Space Science*, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2018.11.003>.
- Petrovic J.J., 2001, *Review mechanical properties of meteorites and their constituents*, *Journal of Materials Science*, 36, s. 1579–1583.
- Przylibski T.A., 2016, *Chondryt Sołtmany*, *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum*, 7, s. 93–122.

- Ringwood A.E., 1966, *Chemical evolution of the terrestrial planets*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30, s. 41–104.
- Rochette P., Sagnotti L., Bourot-Denise M., Consolmagno G.J., Folco L., Gattacceca J., Osete L.M., Pesonen L., 2003, *Magnetic classification of stony meteorites: 1. Ordinary chondrites*, *Meteoritics & Planetary Science*, 38, s. 251–268.
- Rochette P., Gattacceca J., Bonal L., Bourot-Denise M., Chevrier V., Clerc J.P., Consolmagno G.J., Folco L., Gounelle M., Kohout T., Pesonen L., Quirico E., Sagnotti L., Skripnik A., 2008, *Magnetic classification of stony meteorites: 2. Non-ordinary chondrites*, *Meteoritics & Planetary Science*, 43, s. 959–980.
- Rochette P., Gattacceca J., Lewandowski M., 2012, *Magnetic classification of meteorites and application to the Soltmany fall*, *Meteorites*, 2, s. 67–71.
- Rubin A. E., 1990, *Kamacite and olivine in ordinary chondrites, intergroup and intragroup relationships*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, s. 1217–1232.
- Smith D.L., Ernst R.E., Samson C., Herd R., 2006, *Stony meteorite characterization by non-destructive measurement of magnetic properties*, *Meteoritics & Planetary Science*, 41, s. 355–373.
- Stacey F.D., 2005, *High pressure equations of state and planetary interiors*, *Reports on Progress in Physics*, 68, s. 341–383.
- Szurgot M., 2015a, *Mean atomic weight of Earth, Moon, Venus, Mercury and Mars. Effect of mass of cores and density of planets*, Lunar and Planetary Science Conference XXXXVI, #1536.pdf
- Szurgot M., 2015b, *Core mass fraction and mean atomic weight of terrestrial planets, moon, and protoplanet Vesta*, Comparative Tectonics and Geodynamics of Venus, Earth, and Rocky Exoplanets Workshop. #5001.pdf
- Szurgot M., 2015c, *Średni ciężar atomowy chondrytu Soltmany, chondrytów L6 i minerałów pozaziemskich*, *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum*, 6, s. 107–128.
- Szurgot M., 2015d, *Mean atomic weight of Chelyabinsk and Olivenza LL5 chondrites*, *Meteoritics & Planetary Science*, 50 (S1), #5008.pdf
- Szurgot M., 2015e, *Mean atomic weight of Pultusk meteorite and H chondrites*, *Meteoritics & Planetary Science*, 50 (S1), #5013.pdf
- Szurgot M., 2015f, *Mean atomic number of Chelyabinsk, Soltmany and Pultusk meteorites*, 57 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 172–173.
- Szurgot M., 2015g, *Średni ciężar atomowy minerałów pozaziemskich*, 57 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 174–175.
- Szurgot M., 2016a, *Mean atomic weight of L/LL and H/L intermediate ordinary chondrites*, Lunar and Planetary Science Conference 47th, Abstract #2180.
- Szurgot M., 2016b, *Mean atomic weight of ordinary chondrites. Effect of petrologic type*, *Meteoritics & Planetary Science*, 51(S1), #6021.pdf
- Szurgot M., 2016c, *Mean atomic weight of Białystok eucrite, Łowicz mesosiderite, and Baszkówka chondrite*, *Meteoritics & Planetary Science*, 51 (S1), #6005.pdf
- Szurgot M., 2016d, *Średni ciężar atomowy chondrytów LL5: Siena, Hautes Fagnes i NWA 7915*, *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum*, 7, s. 133–143.
- Szurgot M., 2016e, *Mean atomic weight and mean atomic number of Košice and Pultusk H4-5 chondrites*, 58 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 173–174.
- Szurgot M., 2016f, *Metamorphic temperature of Escalón H4 chondrite determined by olivine-chromite geothermometer*, 58 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 177–178.
- Szurgot M., 2017a, *Mean atomic weight of Earth and enstatite chondrites*, Lunar and Planetary Science Conference 48th, Abstract #1130.

- Szurgot M., 2017b, *Mean atomic weight of chondrules and matrices in Semarkona, Allende and Sharps meteorites*, LPI Contrib. No. 1963, Workshop on Chondrules and Protoplanetary Disk, Abstract #2002.
- Szurgot M., 2017c, *Mean atomic weight of Kakangari meteorite, its chondrules and matrix*, 59 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 143–144.
- Szurgot M., 2017d, *Średni ciężar atomowy chondrytu Ensisheim (LL6)*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 8, s. 110–122.
- Szurgot M., 2017e, *Mean atomic weight of Stutenberg meteorite*, LPI Contrib. No. 2021, Workshop on Modern Analytical Methods Applied to Earth, Planetary, and Material Sciences II 2017, Abstract #6005
- Szurgot M., 2017f, *Uncompressed density of the Moon, lunar mantle and core*, LPI Contrib. No. 2021, Workshop on Modern Analytical Methods Applied to Earth, Planetary, and Material Sciences II 2017, Abstract #6007
- Szurgot M., 2017g, *Relationship between density of planetary materials and iron to silicon ratio. Grain density for ordinary chondrites, and uncompressed density for Moon, Earth, Venus, and Mars*, Meteoritics & Planetary Science, 52 (S1), #6008.pdf.
- Szurgot M., 2017h, *Dependence of density on iron to silicon ratio for extraterrestrial matter*, 59 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 145–146.
- Szurgot M., 2017i, *Relationship between density of chondrules and Fe/Si ratio*, 59 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 147–148.
- Szurgot M., Wach R.A., Bartoschewitz R., 2017, *Mean atomic weight of Braunschweig meteorite*, Meteoritics & Planetary Science, 52 (S1), #6002.pdf.
- Szurgot M., 2018a, *Mean atomic weight of ordinary chondrites from Spanish falls*, LPI Contrib. No. 2083, Lunar and Planetary Science Conference 49th, Abstract #1039.
- Szurgot M., 2018b, *Mean atomic weight of L'Aigle chondrite*, LPI Contrib. No. 2067, Meteoritics & Planetary Science, 53 (S3), #6001.pdf.
- Szurgot M., 2018c, *Mean atomic weight and grain density of Košice chondrite*, LPI Contrib. No. 2067, Meteoritics & Planetary Science, 53 (S1), #6002.pdf.
- Szurgot M. A., 2018d, *Mean atomic weight, grain density and thermophysical properties of Grzempach H5 chondrite*, 60 Konwersatorium Krystalograficzne, Wrocław, Streszczenia komunikatów, s. 288–289.
- Szurgot M., 2018e, *Średni ciężar atomowy chondrytu Vicência (LL3.2)*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 9, s. 126–144.
- Wilkison S.L., Robinson M.S., 2000, *Bulk density of ordinary chondrite meteorites and Implications for asteroidal internal structure*. Meteoritics & Planetary Science, 35, s. 1203–1213.
- Wlotzka F., 2003, *A weathering scale for the ordinary chondrites*, Meteoritics, 28, s. 460–460.