

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Vladimír Vand

O původu tektitů a vltavínů

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 54 (2009), No. 1, 23--32

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141883>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2009

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# O původu tektitů a vltavínů

*Jestliže platí domněnka, že tektity  
vznikají při srážce komety se Zemí,  
budou nicméně všichni souhlasit s názorem,  
že jakákoliv praktická ukázka procesu,  
jak vznikají tektity, by přišla tak draho,  
že by se to nedalo zdůvodnit  
vědeckým přínosem experimentu.*

HAROLD C. UREY  
Nositel Nobelovy ceny

Vladimír Vand<sup>†</sup>, State College

## 1. Úvod

Tektity<sup>1)</sup> jsou sklovitá tělesa o rozměru řádově několika cm a hmotnosti několika g. Hmotnost přes 100 g je vzácná. Dnes je na celé zeměkouli známo přes deset nalezišť tektitů (viz obr. 1). Každé naleziště je úzce ohraničeno. Tak například vltavíny<sup>2)</sup> (moldavity) se nacházejí jen v pásu táhnoucím se od Prachatic až skoro k Brnu, okolo 150 km dlouhém a 50 km širokém [17]. Nejrozsáhlejší naleziště tektitů jsou v Austrálii, kde se australity nalézají po celé jižní půlce Austrálie a v Tasmánii, území 5000 km dlouhém a 4000 km širokém [3]. V každé oblasti výskytu se tektity sobě velmi podobají a mají tudíž společný původ a stáří, zatímco tektity z různých oblastí se od sebe liší. Vltavíny jsou dnes poměrně vzácné, sběratel jich najde jen několik denně [18]. Indočinity v Jižním Vietnamu jsou naopak velmi četné [13] a v jednom místě se jich někdy nalezne i několik na čtverečním metru.

---

<sup>1)</sup> Slovo *tektos* znamená v řečtině „tavený“. Samotný název *tektit* zavedl vídeňský geolog F. E. Suess kolem roku 1900.

<sup>2)</sup> Již v roce 1787 popsal vltavíny jako „lahvový kámen“ od Týna nad Vltavou (Moldau Tein) Josef Mayer, jeden ze zakladatelů České společnosti nauk a profesor přírodovědy na pražské univerzitě. Vltavíny se tak staly nejdříve známými světovými tektity. Žádná jiná česká přírodnina nesoustředila na sebe tak velkou zahraniční pozornost.

---

VLADIMÍR VAND (1911–1968), Professor of Crystallography, College of Mineral Industries, Pennsylvania State University, University Park, State College, Pennsylvania, USA.

Přepsáno z dosud nepublikovaného rukopisu z roku 1962. Pro PMFA upravil a poznámkami pod čarou doplnil RNDr. Milan Křížek, CSc.

V monografii [26] z roku 1965 Vand rozpracoval hypotézu A. J. Cohena [5], že vltavíny mají původ v kráteru Ries, viz též články [9], [10], [24], [25], [27]. V roce 2008 Mezinárodní astronomická unie pojmenovala planetku č. 129 595 *Vand*.



Obr. 1. Světová naleziště tektitů podle [14].

## 2. Vlastnosti tektitů

Tektity jsou obvykle průsvitné proti světlu a mají barvu žlutohnědou, tmavší až černou. Vltavíny jsou mezi tektity výjimečně průsvitné, většinou zelené, některé, zvláště z moravských nalezišť,<sup>3)</sup> hnědé, neboť obsahují méně železa než tektity jiného původu.

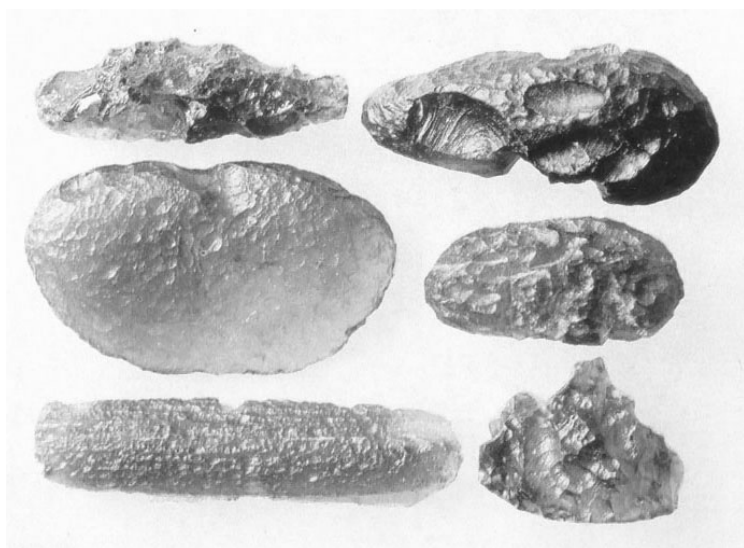
Tvary tektitů naznačují, že jsou to kusy materiálu, který byl podroben tavení a solidifikaci bez kontaktu s pevným prostředím. Většinou jsou kulové, diskové, kapkové a vejčité (viz obr. 2), jiné tvary – válečky, pentlice, činky a hvězdice jsou vzácnější. Dosvědčují, že solidifikace proběhla za nepříliš velké rotace. Složitější tvary australitů lze vysvětlit dvěma periodami tavení. „Knoflíky“ a disky zřetelně ukazují na ablaci<sup>4)</sup> a tvoření přetavené obruby (krusty), jaká může vzniknout jen supersonickým (tj. nadzvukovým) letem atmosférou o rychlosti nejméně 4–6 km/s. Pozoruhodná je absence rychlé rotace. Chapman [8] analyzoval aerodynamické zaoblení různých tvarů australitů a došel k názoru, že australity vnikly do ovzduší (druhé tavení) pod nízkým úhlem cca 10°–15° nad obzorem rychlostí okolo 10 km/s. Jiné tektity na druhé tavení neukazují. Byly-li tektity vyvrženy z povrchu Země, pak větší rychlost australitů je ve shodě s jejich větším rozšířením než u jiných tektitů.

Původní povrch tektitů je nyní víceméně vrásnitě rozrušen leptáním kyselin z půdy (viz obr. 2), což ukazuje na jejich velké stáří. Leptání se obvykle liší v různých částech nalezišť a některé tektity vykazují i obroušení transportem. Čerstvé zlomy jsou konchoidální a sklovité. Stáří tektitů lze odhadnout ze stratigrafie (tj. ukládání vrstev) jejich nalezišť. Pro větší stáří je možno použít kalium-argonovou metodu, která využívá radioaktivity draslíku 40 a stanovuje poměr draslík 40 : argon 40 za předpokladu, že během tavení všechen argon unikl. Stáří je prehistorické: australity jsou nejmladší –

<sup>3)</sup> Někdy nazývané moravity.

<sup>4)</sup> Ablace je vypařování meteorického tělíska a strhávání drobných kapiček z jeho roztaveného povrchu.

cca 700 000 let (pleistocén), filipinity, indočinity a javanity mají stáří kolem 800 000 let, kazašské irgizity asi milion let, přes milion let mají ivority z Pobřeží slonoviny, vltaviny mají téměř 15 milionů let (miocén) a nejstarší jsou bediasity z Texasu staré 34 milionů let (eocén). Zkamenělé tektity nebyly ve starších vrstvách nalezeny. To lze vysvětlit částečnou rozpustností jejich skla v půdě. Vodní roztok může být nasycen vzhledem k přítomnému křemenu, ale nedosycen vzhledem ke sklu. Je možné, že se tektity rozpustí dříve, než se usazeniny zkonsolidují v kámen.



Obr. 2. Vltaviny jsou jedny z nejkrásnějších tektitů díky své průhlednosti a barvě. V důsledku jejich vysokého stáří 15 000 000 let se leptáním půdních kyselin vytvořila zajímavá skulptace (struktura) jejich povrchu.

Tektity lze nalézt nejčastěji na polích v čerstvě zorané půdě, zvláště po dešti, kdy se od oblázků poznají lesklým povrchem [18]. Nalézají se též ve výkopech, cihelnách a pískovnách.

Chemické složení tektitů<sup>5)</sup> je pozoruhodné tím, že odpovídá průměrnému složení zemských vrstev obohacených křemenem. To se týká nejen hlavních složek tektitů, ale i některých vzácných prvků a většiny izotopů. Složení vůbec nesouhlasí se složením meteoritů (chondritů – viz tab. 1), takže nelze předpokládat, že tektity jsou pouze chondrity přetavené průchodem v blízkosti Slunce anebo průletem ovzduším. Povrch Země má specifické složení odvozené z dlouhé historie diferenciací a frakcionací gravitační a hydrotermální. Je tvořen většinou z nejlehčích a vodou nerozpustných sloučenin. Nejcitlivějším indikátorem je poměr železa a niklu. Nikl tvoří rozpustné komplexy a z povrchu Země je rychle odplaven, zatímco v chondritech se za nepřítomnosti vody nikl nalézá v původním poměru k železu okolo 5 %. Tektity obsahují mnohem méně niklu, například pro vltaviny je poměr  $Ni/Fe = 0.1$  %, což je poměr

<sup>5)</sup> V článku [15] z r. 2008 byla zveřejněna detailní chemická analýza vltavinů.

obvyklý pro zemské horniny. Zastoupení izotopů poukazuje též na to, že tektity nebyly vystaveny kosmickému záření mezihvězdného prostoru [30]. To vše vede k závěru, že materiál tektitů je odvozen z povrchu Země.

chem. značka	chondrity	tektity	zemská kůra
Ba	8	665	1000
Co	800	16	20
Cr	2200	52	100
Cs	0.13	2.7	5
Cu	90	7	55
Ga	5.3	8.6	19
Li	2.7	42	32
Mn	1900	800	1000
Ni	13400	30	35
Rb	3.7	84	115
Sc	9.4	12	20
Sr	10	195	450
Ti	790	4280	4400
V	39	75	110
Zr	33	470	156

Tab. 1. Porovnání chemické analýzy chondritů, tektitů (australitů) a zemské kůry podle [19]. Údaje jsou v p.p.m., tj. tisícinách promile.<sup>6)</sup>

Průřezy tektitem pozorované pod polarizačním mikroskopem [3] naznačují, že tektity jsou složeny ze skla, které je ve stavu napětí, nikoli komprese, což poukazuje na rychlé chlazení skla, kdy povrch ztuhl dříve než vnitřek. Občas nalezneme uvnitř bublinky,<sup>7)</sup> ale nikdy kousky neroztavených nerostů. Nepřítomnost krystalů zirkonu, který je naopak poměrně obecně rozšířen v horninách, a jeho magnetické vlastnosti [7] svědčí o tom, že tektity byly vystaveny teplotám přesahujícím bod tání zirkonu (cca 2500° C). Sklo tektitů však není příliš homogenní a ukazuje na smíšení skel různé hustoty a indexu lomu. Utváření tektitů tudíž neprobíhalo dlouho a vysoké teploty netrvaly řádově déle než minutu. Některá rýhování (striace) jsou ze skoro čistého taveného křemene. Tavení meteoritů slunečním zářem v blízkosti Slunce tuto strukturu nemůže vysvětlit, neboť za těchto podmínek by skla měla naopak dost času na difúzi a chlazení by bylo pomalé. Pozemské sklo – obsidián – též nemá výše uvedenou strukturu. Zmíněná rýhování jsou ve vltavínech pozorovaných proti světlu viditelná pouhým okem (bez jakéhokoliv broušení), ponoříme-li je do roztoku o stejném indexu lomu, jako mají vltaviny. Jejich index lomu je okolo 1.492.

Je zajímavé, že skoro všechno železo v tektitech se vyskytuje jako FeO a ne jako Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tato skutečnost dokazuje, že během tavení tektitů byl parciální tlak kyslíku mnohem nižší než atmosférický tlak [7]. E. C. T. Chao našel v tektitech mikroskopické kuličky meteorického železa s vysokým obsahem niklu, což naznačuje, že tektity se

<sup>6)</sup> Parts per million.

<sup>7)</sup> Tlak uvnitř bublinek vltavínů je 19–25krát nižší než u hladiny moře, což dosvědčuje, že se zformovaly vysoko nad zemí.

tvorily v blízkosti meteorického dopadu. Hypotéza, že tektity jsou roztavený pozemský materiál vyvržený explozí velkých meteoritů, je tudíž jediná a shoduje se se všemi pozorovanými fakty. Po dlouhou dobu se však o ní vážně neuvažovalo, protože neexistovala žádná evidence<sup>8)</sup> velkých dopadových kráterů. Na četnost velkých meteorických dopadů na Zemi však upozornili Kelly a Dachille [11].

### 3. Teorie o původu tektitů

Teorii o původu tektitů je velké množství. Některé popisuje dr. Radim Šimon [17].<sup>9)</sup> Lidé se například domnívali, že tektity jsou umělá skla z prehistorických skláren, přírodní skla (např. obsidián), že byla údajně vyvržena sopkami, vznikla působením blesku (fulgurity), nebo byla považována za meteority.

Roku 1917 známý sběratel vltavínů ing. František Hanuš vyslovil hypotézu, že vltavíny jsou produkty odtávání čelní strany velkého meteoritu, který prolétl tangenciálně ovzduším Země. Výzkum pomocí umělých družic Země ukázal, že tangenciální meteority nemusí být tak vzácné, jak se dříve předpokládalo. Teprve podrobné analýzy chemického složení vltavínů ukázaly, že tato hypotéza je neudržitelná.

Roku 1897 R. D. M. Verbeek vyslovil domněnku, že tektity jsou vyvrženinami měsíčních sopek (viz [28], [29]). Tuto myšlenku modifikoval v roce 1940 H. H. Nininger tak, že tektity jsou vyvrženinami z dopadových kráterů [12]. Sopečná činnost na Měsíci nebyla v té době zcela vyloučena, protože Kozyrev pozoroval v roce 1958 ucházející plyn z kráteru Alphonsus. Jednoduchý výpočet však ukáže, že žádná sopka nemůže vyvinout dostatečný tlak na vyvržení částic z gravitačního pole Měsíce, neboť maximální tlaky v sopkách nemohou přesahovat stovky atmosfér. Navíc, kdyby vltavíny pocházely z Měsíce, nebylo by možné vysvětlit jejich velice omezený rozptyl. Jedinými dostatečně rozptýlenými tektity jsou australity.

Whipple upozornil na to, že jakékoliv teorie předpokládající, že tektity dospěly k Zemi jako roj samostatných malých meteoritů obíhajících kolem Slunce, je neudržitelná z dynamických důvodů. Diferenciální působení sil na takový roj ve sluneční soustavě by jej značně rozptýlil. Dalším faktem je, že pád tektitů nebyl dosud nikým autenticky pozorován, zatímco pozorování pádu kamenných meteoritů jsou poměrně častá.

### 4. Souvislost tektitů s dopadovými krátery

Přijmeme-li hypotézu, že tektity jsou materiál vyvržený z pozemských<sup>10)</sup> dopadových kráterů, pak první podmínkou je nalezení souvislosti mezi nalezišti tektitů a známými

---

<sup>8)</sup> Dnes je na povrchu zeměkoule známo přes 170 impaktních kráterů. Jejich seznam je např. na <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/images/ries.htm>. Lze je odhalit družicovým měřením změn gravitačního potenciálu a následným geologickým průzkumem.

<sup>9)</sup> Rieský kráter ale Šimon v [17] ani [18] nezmiňuje.

<sup>10)</sup> Není vyloučeno, že tektity jsou i na Venuši, Marsu, Titanu apod., neboť tato tělesa mají pevný povrch a atmosféru.

dopadovými krátery. Do roku 1962 byly objeveny jen dvě takové souvislosti.<sup>11)</sup> První je mezi vltavíny a kráterem Ries (něm. Riess Kessel) o průměru 24 km v jižním Německu.<sup>12)</sup> Druhou souvislost lze nalézt mezi ivority a velkým Ašantským kráterem (viz obr. 1) o průměru 10 km, v jehož vnitřku je jezero Bosumtwi, poblíž města Kumasi v Ghaně. H. C. Urey [20] vysvětluje nedostatek kráterů tak, že tektity vznikly dopadem komety a ne kompaktního meteoritu. Kometa obvykle po dopadu na Zemi nezanechává kráter. Tento předpoklad však není nutný, poněvadž krátery na zemském povrchu jsou rychle zničeny erozí a „přežijí“ po delší dobu jen v oblastech kontinentálního štítu. Hádankou však zůstává původ australitů, neboť příslušný meteoritový kráter by musel mít přes 50 km v průměru. Dopad se musel odehrát na souši a ne na moři, protože jinak by několik kilometrů vysoká vlna zahubila veškeré klokany i další zvířata v celé Austrálii. Barnes [3] se domnívá, že odpovídající kráter bude nalezen v Antarktidě.

O kráteru Ries, který se nachází asi 100 km severozápadně od Mnichova, se kdysi vědci domnívali, že je sopečného původu [6, s. 51]. Nedaleko od něj (čtyřicet km jihozápadně) je menší kráter Steinheim o průměru cca 3 km a téhož stáří.<sup>13)</sup> V obou kráterech byla kdysi teplá jezera, která díky sedimentům zanikla. Dna bývalých jezer představují dnes velmi úrodnou rovinu. Uvnitř kráteru Ries je město Nördlingen. Kráter je téhož stáří jako vltavíny (střední miocén) a ještě dnes vykazuje abnormální teplotní gradient. Meteorický původ byl ověřen objevem vysokotlaké<sup>14)</sup> modifikace křemene, coesitu, v Riesu.

chem. sloučenina	suevit	vltavín	granit
SiO <sub>2</sub>	64.77	79.60	74.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.55	11.02	13.12
K <sub>2</sub> O	3.94	3.00	6.09
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.53	2.39	1.60
CaO	2.91	1.92	1.26
MgO	1.29	1.30	0.35
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.40	0.29
Na <sub>2</sub> O	3.91	0.51	2.57

Tab. 2. Chemická analýza vltavínu a suevitu z Riesu v porovnání s průměrným granitem. Analýza suevitu podle [1] (průměr čtyř měření), vltavínu podle [2] a granitu podle [4]. Analýzy jednotlivých vzorků měly podstatný rozptyl.

Detailní chemická analýza ukazuje, že horniny suevitu<sup>15)</sup> z Riesu se podobají impaktní brekcii z jiných dopadových kráterů a obsahují většinou tavené sklo. Obsah

<sup>11)</sup> Dnes je známa řada dalších impaktních kráterů, které odpovídají určitému druhu tektitů. Např. irgizity byly vyvrženy z kráteru Zamašin v Kazachstánu.

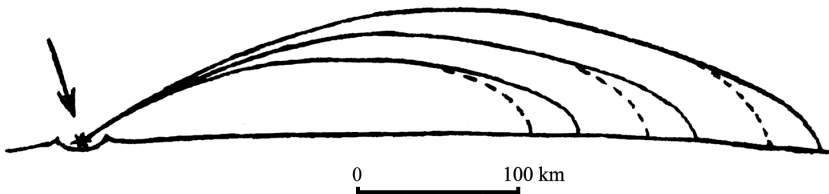
<sup>12)</sup> Ries je také oblast mezi městy Norimberk – Stuttgart – Mnichov.

<sup>13)</sup> Další kruhová struktura o průměru 8 km u Stopenheimu 15 km severovýchodně od Riesu má patrně také impaktní původ – viz [16].

<sup>14)</sup> Při dopadu vznikl krátkodobě tlak 10–150 GPa a teplota přesahující 5000° C. Vltavíny pravděpodobně odletěly velice těsně před samotným dopadem, protože neobsahují příměsi meteoritů.

<sup>15)</sup> Suevit je úlomkovitá brekciovitá hornina nacházející se v západním Bavorsku kolem meteoritového kráteru Ries.

niklu byl stanoven fluorescenční analýzou pomocí paprsků X, což je velice citlivá metoda. Analýzy vltavínů se dobře shodují s analýzami již publikovanými (viz tab. 2). Zanedbáme-li velký nadbytek  $\text{SiO}_2$  ve vltavínech, pak se jejich analýzy v podstatě shodují se suevitem. Z chemického hlediska je suevit hornina nejpodobnější tektitům. Suevit byl vystaven obrovské síle dopadu, ne však tak vysokým teplotám jako tektity. Nadbytek křemene v analýze tektitů lze tudíž vysvětlit procesy frakcionace. Podloží kráteru Ries je z granitu. Exploze roztrhává granit na prášek a zde může už nastat frakcionace: křemen je pevnější než biotit a živec a přežije náraz jako větší zrna. Další diferenciální ohřátí jednotlivých zrn plyny může vypařit temná zrnka, biotit a amfibol, a zanechat přednostně průhledná zrnka, jako je křemen. Kapky, které přežijí tento bleskový ohřev (angl. flash heating), mají jen několik sekund času na frakcionovanou destilaci mezi plynem a kapkami. Děšť kapek křemene a jiných minerálů, které přežily vysokou teplotu, je pak podroben dalšímu procesu koalescence<sup>16)</sup> v kuličky o několika cm v průměru. Koalescence vysvětluje pomalou rotaci tektitů. Tektity jsou pak nesené vyvinutými plyny vzhůru v trajektoriích výbuchového kužele nad zemskou atmosférou (viz obr. 3). Přenos vltavínů z Riesu do Čech a Moravy<sup>17)</sup> vyžaduje počáteční rychlost<sup>18)</sup> 3–4 km/s. To je řádově přibližně správná rychlost, protože Chatres a Summers získali v laboratoři rychlosti okolo 30 % dopadové rychlosti meteoritu pro vyvrženiny ze supersonických dopadových kráterů. Přitom většina meteoritů dopadá na Zemi rychlostmi okolo 15–20 km/s.



Obr. 3. Přibližné trajektorie tektitů vyvržených z kráteru Ries. Jakmile se přiblíží 50 km k povrchu Země, nastane frakcionace podle velikosti tektitů vlivem odporu vzduchu (čárkované trajektorie).

Studie paprsků okolo měsíčních kráterů (dobře viditelných za úplňku) podávají též cenné informace. Autor studoval (viz [21], [22], [23]) tyto paprsky a došel k závěru, že jsou složeny z materiálu vyvrženého pod malými úhly a rychlostmi cca 1.5 km/s pro systém kráteru Koperníka a o něco více pro systém kráteru Tycho. Počáteční trysky jsou kužele s vrcholovým úhlem pouze několika stupňů.

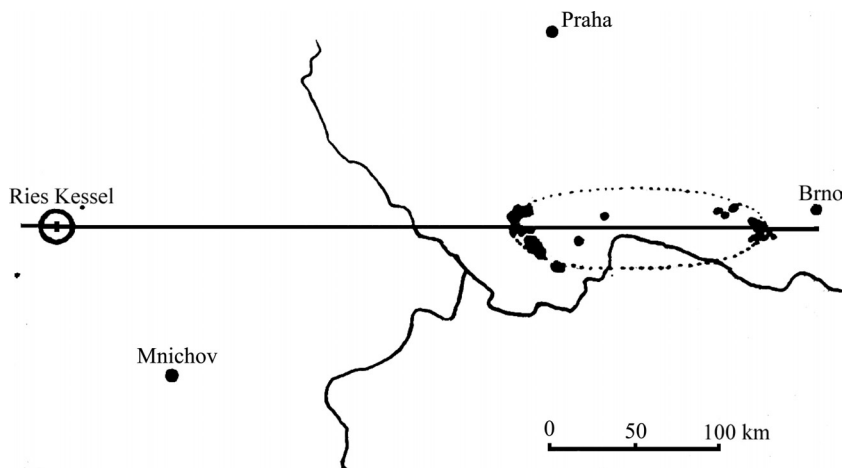
<sup>16)</sup> Koalescence je splývání částic při jejich vzájemných srážkách ve větší celky.

<sup>17)</sup> Pokud moravské tektity měly větší počáteční i sestupnou rychlost než české, měly by mít větší stopy ablace, což potvrzuje Šimon [18, s. 193]: *moravské tektity bývají větší a mají méně členitý povrch než české.*

<sup>18)</sup> Pro výchozí úhel trajektorie vltavínů  $\alpha = 20^\circ$ ,  $g \doteq 9.81 \text{ m/s}^2$  a vzdálenost od Riesu na Moravu  $d = v^2 g^{-1} \sin 2\alpha = 400 \text{ km}$  vychází počáteční rychlost ve vakuu  $v = 2.47 \text{ km/s}$ . Odpovídající doba letu je pak  $t = 2vg^{-1} \sin \alpha = 172 \text{ sekund}$  a maximální výška  $h = 0.5d \sin \alpha = 128 \text{ km}$ . Při sestupu do postupně hustších vrstev atmosféry rychlost patrně klesla pod 1 km/s.



Aplikujeme-li tyto skutečnosti na kráter Ries, vidíme dobrý souhlas. Čtenář se však může ptát, proč jenom jeden paprsek byl vyvrhnut z Riesu, kdežto měsíční krátery jsou většinou obklopeny paprsky všemi směry. Odpověď k tomu může být, že jen vltaviny přežily zalednění, které smetlo povrch jak severně, tak jižně od Riesu až k Alpám. Na Měsíci jsou však známy i krátery, od nichž vede jen jeden či dva výmetné paprsky. Pozoruhodné je však, že oblast naleziště<sup>19)</sup> vltavinů tvoří zhruba protáhlou elipsu, jejíž hlavní osa směřuje ke kráteru Ries (viz obr. 4 a 5).



Obr. 4. Poloha kráteru Ries, nalezišť vltavinů a dopadové elipsy. Velká osa elipsy směřuje ke kráteru a je 150 km dlouhá. Malá osa měří 50 km. Vzdálenost elipsy od Riesu je přibližně 350 km.

## 5. Další možnosti výzkumu

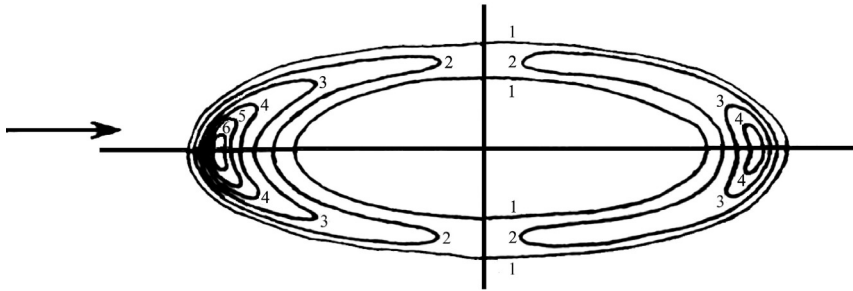
Mnohé detaily zůstávají nedořešeny a budou vyžadovat další výzkum. Zmíňme se o několika takových problémech.

Bylo by žádoucí prozkoumat jiné směry od kráteru Ries a najít další naleziště tektitů. Tím by se ověřilo, zda posun ledovce tektity rozptýlil. To znamená, že je třeba prozkoumat všechny lokality, kde je střední miocén odkryt. Pád meteoritu o velikosti přibližně jednoho kilometru v průměru, který vytvořil kráter Ries, musel způsobit i jiné jevy. Musel být například doprovázen velkým žářem, který způsobil opálení půdy a rozsáhlé požáry vegetace. Hledání tektitů by tedy mělo být spojeno s hledáním horizontu středního miocénu ukazujícím opálení hlíny a jiné znaky katastrofy. Opálené uhlíky zanesené větrem by se měly nalézat na dně jezer a zachované jako horizont.

Dále je důležité zjistit přímo v terénu, kterým směrem vltaviny přilétaly. Jedna možnost by byla, že vltaviny na konci své dráhy musely být podrobeny frakcionaci podle velikosti. Bylo by proto vhodné připravit mapu ukazující rozložení tektitů podle

<sup>19)</sup> Poměrně novou lokalitou výskytu vltavinů je chebská pánev (viz [15]).

velikosti. Přilétly-li tektity z kráteru Ries, lze předpovědět, že budou nalezeny mikro-tektity na západ od Českých Budějovic v oblasti k Železné Rudě. Hledání mikrotektitů lze usnadnit separací podle specifické hmotnosti. Tektity jsou lehčí než křemen (např. vltavíny mají hustotu  $2.36 \text{ g/cm}^3$  a křemen  $2.66 \text{ g/cm}^3$ ), a tudíž ve vhodné směsi tetrabrometanu o hustotě  $2.964 \text{ g/cm}^3$  a benzenu (nebo carbon tetrachloridu) je lze snadno oddělit. Tetrabrometan je jednou z nejlacinějších těžkých kapalin a lze jej používat opakovaně.



Obr. 5. Rozložení hustoty částic v teoretické dopadové elipse způsobené výbuchovým kuželem vymrštěným pod úhlem  $20^\circ$  nad obzor a o vrcholovém úhlu  $8^\circ$  (srov. obr. 3). Pozoruhodné je, že část elipsy nejbližší zdroji obdrží 6 částic na jednotku plochy, zatímco nejdálší část elipsy jen 4 částice na jednotku plochy. Porovnání s obrázkem 4 ukazuje dobrou shodu.

Některé vrcholky hor mohly čnít nad zaledněným povrchem, a proto na nich mohou být tektity a mikrotektity zachovány. Vrcholky jsou však často zasahovány blesky, takže je třeba dát pozor, abychom odlišili mikrotektity od fulguritů.

Tektity s inkluzemi jiných hornin by se měly ve sbírkách hledat nějakým rychlým procesem (např. prosvětlením v kapalině s týmž indexem lomu). Analýza inkluzí nám totiž může podat důležitou informaci o podmínkách při jejich utváření.

Nezapomeňme však, že zničíme-li tektit při analýze, je tento exemplář pro vědu navždy ztracen. Užívejme proto raději nedestruktivních metod, a když se rozhodneme pro destruktivní metodu, plánujme užití naprosto všech prostředků průzkumu.

## L i t e r a t u r a

- [1] ACKERMANN, W.: *Geologisch-petrographische Untersuchungen im Ries*. Geol. Jb. 75 (1958), 135–182.
- [2] BARNES, V. E.: *North American tektites*. Univ. Texas Publ. No. 3945 (1940), 477–582.
- [3] BARNES, V. E.: *Tektites*. Scientific American 205 (1961), No. 5, 58–65.
- [4] CLARKE, F. W.: *Data of Geochemistry*, Bull. 770, U. S. Geol. Surv. 1924, 26.
- [5] COHEN, A. J.: *A semi-quantitative hypothesis of tektite origin by asteroid impact*. J. Geophys. Res. 66 (1961), 2521.
- [6] DIETZ, R. S.: *Astroblemes*. Scientific American 205 (1961), August, 50–58.
- [7] FRIEDMAN, I., THORPE, A., SENFTLE, F. E.: *Comparison of the chemical composition and magnetic properties of tektites and glasses formed by fusion of terrestrial rocks*. Nature 189 (1960), 1089–1092.

- [8] CHAPMAN, D. R.: *Recent re-entry research and the cosmic origin of tektites*. *Nature* 188 (1960), 353–355.
- [9] JOHNSON, G. G., VAND, V.: *Application of a Fourier data smoothing technique to the meteoritic crater Ries Kessel*. *J. Geophys. Res.* 72 (1967), 1741–1750.
- [10] JOHNSON, G. G., VAND, V., DACHILLE, F.: *Additional rims around the Ries Kessel meteorite crater*. *Nature* 201 (1964), 592–593.
- [11] KELLY, A. O., DACHILLE, F.: *Target Earth*. Pensacola Engraving Co., Florida 1953.
- [12] NININGER, H. H.: *The Moon as a source of tektites*. *Bull. Soc. Geol. Amer.* 51 (1940), 12.
- [13] NININGER, H. H.: *J. Arizona Acad. Sci.* 1 (1961), 123.
- [14] ROST, R.: *Vltavíny a tektity*. Academia, Praha 1972.
- [15] ŘANDA, Z., MIZERA, J., FRÁNA, J., KUČERA, J.: *Geochemical characterization of mol-davites from a new locality, the Cheb basin, Czech Republic*. *Meteoritics and Planetary Science* 43 (2008), 461–477.
- [16] STORZER, D., GENTNER, W., STEINBRUNN, F.: *Stopfenheim Kupper, Ries Kessel and Steinheim Basin: A triplet cratering event*. *Earth and Planetary Science Letters* 13 (1971), 76–78.
- [17] ŠIMON, R.: *Příspěvek k otázce původu vltavínů*. *Říše hvězd* 36 (1955), 121–124.
- [18] ŠIMON, R.: *Moravské vltavíny*. *Říše hvězd* 38 (1957), 193–195.
- [19] TAYLOR, S. R., SACHS, M.: *Trace elements in Australites*. *Nature* 188 (1960), 387–388.
- [20] UREY, H. C.: *Origin of tektites*. *Nature* 187 (1960), 855–857.
- [21] VAND, V.: *J. British Astronom. Assoc.* 55 (1945), 47.
- [22] VAND, V.: *J. British Astronom. Assoc.* 55 (1945), 127.
- [23] VAND, V.: *Theorie vývoje povrchových jevů na Měsíci*. *Říše hvězd* 26 (1945), 157–165.
- [24] VAND, V.: *Study of meteoritic craters, Ries Kessel, Steinheim Basin, and their relations to tektites*. *Mineral Industries Bull.* 32 (1962), No. 2, 1–23.
- [25] VAND, V.: *Kosmické katastrofy*. *Říše hvězd* 43 (1962), 145–148.
- [26] VAND, V.: *Astrogeology. Terrestrial meteoritic craters and the origin of tektites*. *Advances in Geophysics*, Vol. II, Acad. Press, New York, London 1965.
- [27] VAND, V., DACHILLE, F., SIMONS, P. Y.: *Qualitative dating of glasses-applied to tektite-like objects from the Ries Kessel meteoritic crater*. *Nature* 201 (1964), 597–598.
- [28] VERBEEK, R. D. M.: *Over Glaskögels van Billiton*. *Kon. Akad. Wettensch. Proc.*, no. 5, Amsterdam 1897.
- [29] VERBEEK, R. D. M.: *Glaskögels van Billiton*. *Jaarb. Mijnwezen Ned. Oost-Indie*, Jahrb. 36, Amsterdam 1897, 235–272.
- [30] VISTE, E., ANDERS, E.: *Cosmic-ray exposure history of tektites*. *J. Geophys. Res.* 67 (1962), 2913–2919.