

Sféroidné pieskovcové konkrécie v malcovskom súvrství v Hruštíne na Orave

Spheroidal sandstone concretions in the Malcov Formation in Hruštín in Orava region

FRANTIŠEK TEŤÁK

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava; frantisek.tetak@geology.sk

© Autori 2024. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
<https://doi.org/10.56623/gps.140.1>

Abstrakt. V priebehu podrobného geologického mapovania a výskumu regiónu Oravskej Magury sa v Hruštíne a jeho okolí zistili primárne aj sekundárne výskyty väčších pieskovcových sféroidných konkrécií (gúľ), ktoré sa dosiaľ nespomínajú v odbornej ani populárnej literatúre. Bolo evidovaných 58 „gúľ“ alebo ich častí s priemerom od 30 do 220 cm. Menšie sú zvyčajne pravidelne guľaté. Pri väčších prevláda sploštený guľovitý až vajcovitý tvar. Cieľom bolo zistiť čo najviac výskytov, zameranie ich presnej GPS lokalizácie, fotodokumentácia a stručný opis tvaru a umiestnenia. Primárne výskyty „gúľ“ sa viažu na špecifický litotyp prevažne strednozrnných, viac kemitých drobových pieskovcov v staršej, starooligocénej časti malcovského súvrstvia. Geneticky ide o pieskovcové konkrécie, ktoré vznikli preferenčnou cementáciou po sedimentácii hlbokomorských piesčitých gravitačných prúdov počas úvodnej fázy diagenézy sedimentu, ale ešte pred jeho úplnou litifikáciou. V závere sú stručne diskutované podmienky vzniku konkrécií, porovnanie s podobnými výskytmi konkrécií na Slovensku, v okolitých krajinách a na viac než 60 svetových lokalitách, ale aj potenciál na geoturistiku a nutnosť ochrany lokality.

KLúčové slová: pieskovcové konkrécie, diagenéza, magurský príkrov, flyšové pásma, geoturistika

Abstract. Primary and secondary occurrences of larger sandstone spheroidal concretions (balls), which are not yet mentioned in professional or popular literature, were found in Hruštín village (Slovakia) and its surroundings during of detailed geological mapping and research of the Oravská Magura region. 58 spheres, or parts of them, with diameters ranging from 30 to 220 cm were recorded. The smaller ones are usually regularly round. The flattened spheroidal to ovoid shape prevailed in the larger ones. The aim was to locate as many occurrences as possible, specify their exact GPS location, photo-documentation, and a brief description of their shape and location. The primary occurrences of the spheres are related to a specific lithotype of predominantly medium-grained quartz-greywacky sandstones in the early Oligocene part of the Malcov Formation. Originally, spheres are sandstone concretions that were formed by preferential cementation after sedimentation of deep-sea sandy gravity currents during the initial phase of sediment diagenesis, but prior to its complete lithification. The conditions of concretion formation, comparison with similar occurrences of spheres in Slovakia, neighbouring countries, as well

as more than 60 world locations and the potential for geotourism and the need for discovery sites protection are briefly discussed in the conclusion.

Key words: sandstone concretions, diagenesis, Magura Nappe, Flysch Belt, geotourism

Úvod

Z viacerých lokalít na Slovensku sú známe výskyty sférických pieskovcových konkrécií, no len vo výnimočných prípadoch sú o nich zmienky aj v odbornej literatúre. Počas geologického mapovania regiónu Biela Orava (Teťák et al., 2016a) bol v Hruštíne na Orave pozorovaný výskyt sféroidných útvarov, no nebola im venovaná ďalšia pozornosť. Pieskovcové „gule“ z Hruštína spomínajú Potfaj et al. (1981) len vo fotografickej prílohe jedinou fotografiou (obr. 1). Potfaj (1983) a Potfaj et al. (1991) ich výskyt v regióne neuvádzajú. M. Potfaj však už v minulosti upozornil na ich výskyt v oblasti Hruštína. Počas terénnych prác pri geologickom mapovaní regiónu Oravská Magura v rokoch 2021 a 2022 boli okrem sekundárnych výskytov v intraviláne Hruštína overené viaceré primárne výskyty guľovitého zvetrávania pieskovcov malcovského súvrstvia krynickej jednotky, čo viedlo k podrobnejšiemu spracovaniu tohto fenoménu.

Popularizácia geológie a edukácia verejnosti často viazne na rozdielnosti objektov záujmu verejnosti a geológov. Dobrým príkladom sú výskyty sférických pieskovcových útvarov. V prípade pokusov o odborné vysvetlenie ich vzniku laickou verejnosťou dochádza v lepšom prípade len k zamieňaniu si pojmov ako konkrécie, septáriové konkrécie, hľuzy, obrnené závalky, sféroidné zvetrávanie, vulkanické bomby, dinosaurie vajcia, antropogénny pôvod a podobne. Príležitosťou na spracovanie témy výskytu a foriém väčších sférických pieskovcových konkrécií bolo geologické mapovanie Oravskej Magury.

Zámerom práce bolo vyhľadanie a dokumentácia pokiaľ možno všetkých pieskovcových „gúľ“ z okolia Hruštína so zaznamenaním ich rozmerov, charakteru výskytu (primárny vs. sekundárny), pozície (pevná čiže spojená s mater-skou horninou alebo voľná), opis tvaru, fotodokumentácia

a lokalizácia výskytu (súradnice WGS84). Ďalším cieľom je zmapovanie výskytov väčších sférických konkrécií na Slovensku aj celosvetovo so zreteľom na ich lokalizáciu a genézu.

Podľa Krista a Krivého (1985) konkrécie sú zaoblené sekundárne útvary, ktoré vznikajú vnútri sedimentu ukladaním minerálnych látok, v našom prípade uhličitanu vápenatého, okolo určitého centra/jadra. Konkrécie sa tvoria sekundárne po sedimentácii počas diagenézy, ale ešte pred úplnou litifikáciou. Ich vznik je väčšinou podporovaný redukčným prostredím. Na rast konkrécií vplyva intenzita a priebeh chemických reakcií a prísun látok tvoriacich konkrécie. Litifikácia sa môže šíriť homogénne v celej hornine, alebo môže byť sústredená v lokálnych častiach.

Počas diagenézy sa v sedimente vplyvom zvyškovej vody rozpúšťajú vápnité zložky sedimentu a nastáva migrácia roztoku obohateného vápnikom do okolia. Konkrécie sú najčastejšie výsledkom vyzrážania uhličitanov, prevažne kalcitu, menej dolomitu a sideritu, hoci ich môžu tvoriť aj iné minerály vrátane pyritu, fosfátov, sadrovca, apatitu, oxidov železa a oxidu kremičitého. Recentne vznikajú aj synsedimentárne manganové konkrécie (Stow, 2010).

Konkrécie rastú vyzrážaním minerálnych látok medzi zrnami v hostiteľskej hornine od centra do okolia, ale sú prípady, keď cementácia postupuje od povrchu konkrécie smerom dovnútra. Konkrécie sa zvyčajne tvoria už na začiatku diagenetickej premeny horniny, často už po prekrytí niekoľkými metrami sedimentu. Tak sa môžu zachovať jej primárne sedimentárne štruktúry a textúry, ako sú laminácia, bioturbácia a mäkké časti fosílie, ktoré nie je možné vidieť v okolitej hornine (Saleh et al., 2023). Dochádza k tomu preto, lebo konkrécie sa zvyčajne začínajú vytvárať pomerne skoro, ešte predtým, ako zhutnenie sedimentu a ďalšie procesy narušia jeho pôvodné štruktúry (Middleton et al., 2003; Bridge a Demicco, 2008; Stow, 2010).

Kukal (1986) k definícii pridáva podmienku, že konkrécia má odlišné zloženie ako jej okolie, pričom však nemôžeme presne určiť, aký musí byť tento rozdiel. Isté je len to, že hranica musí byť ostrá. Mnohé konkrécie sú v čerstvom sedimente nerozoznateľné. Prejavia sa až pri zvetrávaní. Na povrchu môžu byť odlúčené od okolitého sedimentu škárou, ale nie je to podmienka.

Na vznik konkrécie v sedimente je nevyhnutná prítomnosť primárnej nehomogenity/mikroprostredia, ktoré sa môže líšiť obsahom kyslíka, oxidu uhličitého, pH či Eh. Táto inhomogenita sa nazýva jadro. Môže ju tvoriť bioklast, mäkká časť organizmu, činnosť mikroorganizmov či mikrokonkrécia (Yoshida et al., 2018, 2020). Častejšie sú konkrécie bez pozorovateľného jadra. Tvorja sa pozdĺž určitých horizontov alebo v konkrétnych vrstvách, čo poukazuje na miesto, v ktorom bolo dosiahnuté presýtenie roztokov v póroch. Predĺžené konkrécie môžu reprezentovať inhomogenitu v smere pohybu roztokov v sedimente (Tucker, 2001).

Pri vzniku konkrécií je rozhodujúca difúzia iónov v okolí „jadra“. Pri konkréciách stmelených CaCO_3 bola preukázaná takmer konštantná koncentrácia Ca naprieč konkréciou. Výrazný pokles obsahu Ca sa však ukazuje na okraji konkrécie. Táto ostrá hranica sa vytvorila v tenkej

vrstve v čelnej časti difúznej reakcie. CaCO_3 sa vyzráža v dôsledku reakcie medzi aniónmi HCO_3^- , kde uhlík pochádza z rozkladu organickej hmoty v „jadre“, a kationmi Ca^{2+} , pôvodom z morskej vody a sedimentu. Podľa tohto modelu sa tvorba konkrécie začína krátko po pochovaní „jadra“ tesne pod morským dnom. Postupným uvoľňovaním HCO_3^- z organickej hmoty v „jadre“ sa okolo neho vytvára redukčné prostredie. Reakciou HCO_3^- s iónmi Ca^{2+} dochádza k vyzrážaniu CaCO_3 medzi zrnami sedimentu a konkrécia rastie smerom von. Proces rastu pokračuje, až kým v konkrécii nezostane takmer žiadny uhlík organického pôvodu. Tvorba konkrécie sa potom zastaví. Skúmaním difúzneho transportu rozpustených látok v sedimentoch bol určený čas potrebný na rast aj veľkých konkrécií na niekoľko mesiacov, respektíve niekoľko rokov. Preukázalo sa, že ostrá reakčná hranica sa vyvinie iba vtedy, keď dôjde k difúzii v kombinácii s veľmi rýchlym zrážaním uhličitanových minerálov v krátkom časovom rozsahu už počas veľmi skorej diagenézy (Yoshida et al., 2018, 2020).

Často sa opakuje otázka: Prečo sa konkrécie vytvorili na tomto mieste/sedimente a v tomto konkrétnom tvare? Niekedy je odpoveď jasná, napríklad pri prítomnosti jadra vo forme organickej schránky či intraklastu. V ostatných prípadoch sú možné len všeobecné vysvetlenia. Otázka implicitne predpokladá, že niečo v hostiteľskom sedimente spôsobilo, že podmienky sú na jednom mieste vhodné a na inom nie (Seilacher, 2001; Collinson et al., 2006). Rovnako je to aj v oblasti Hruštína, kde sa sférické konkrécie viažu výlučne na špecifický litotyp pieskovca. V súvrství vystupuje ešte niekoľko ďalších podobných litotypov pieskovcov tvoriacich masívne hrubé vrstvy (kremité pieskovce s glaukonitom, hrubozrnný arkózový pieskovec, drobový pieskovec magurského typu a kremenno-karbonátový pieskovec), no ani v jednom tvorba konkrécií nebola pozorovaná. Zjavne sa viaže na litotyp a nie na súvrstvie ako také. Rovnako v „guliach“ nebola pozorovaná prítomnosť jadier, aj keď pozorovaní rezov stredovou časťou konkrécie bolo veľmi málo.

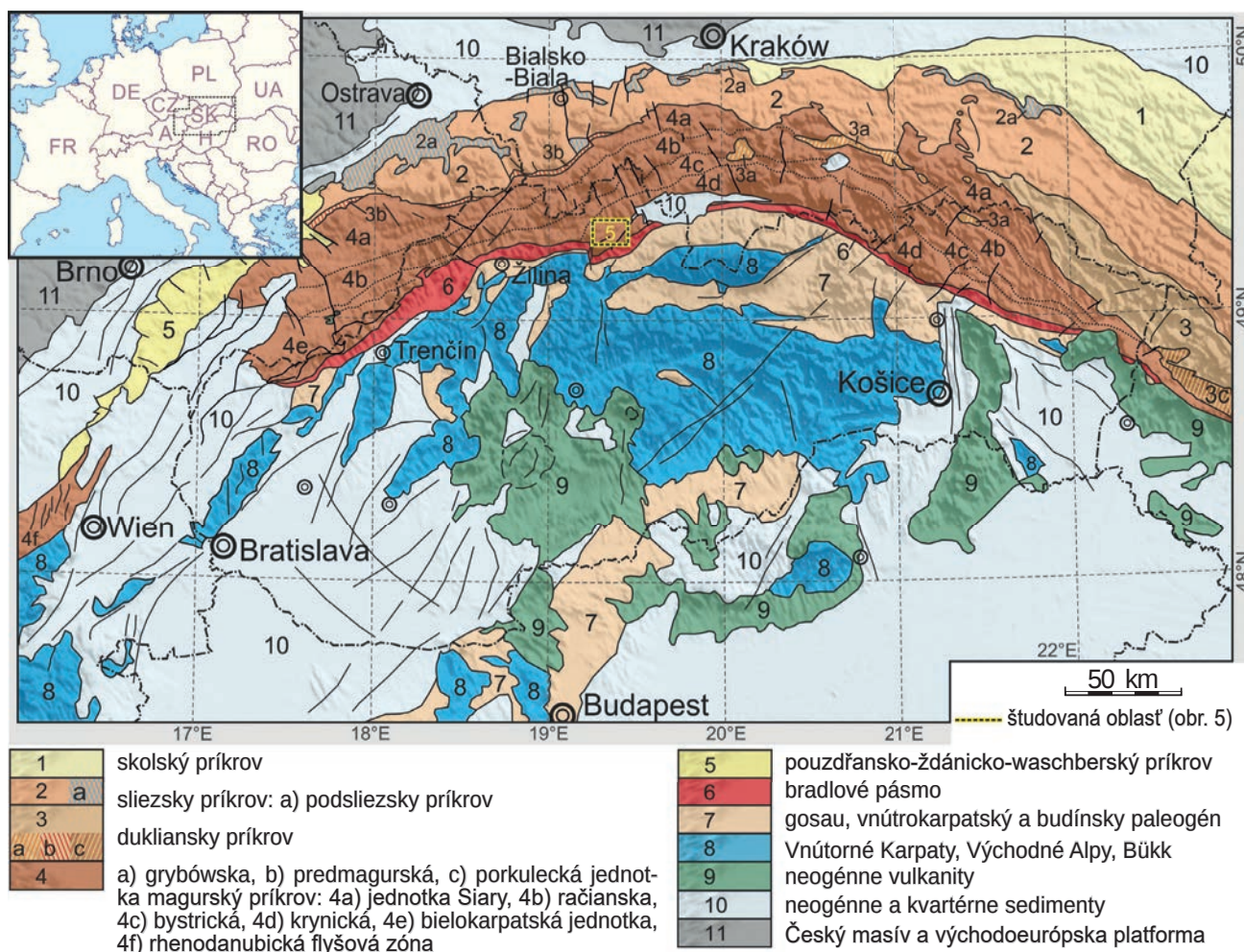
Špecifickým prípadom sú septáriové konkrécie. Ich typickým znakom sú radiálne alebo zložito usporiadané praskliny vnútri konkrécie, zvyčajne vyplnené kalcitom, zriedkavejšie aj barytom. Pre ich výskyt je charakteristické prostredie slieňov bohatých na uhličitan. Jednou z možností ich vzniku je, že dehydratácia spôsobí stvrdnutie povrchu konkrécie a zároveň vyvolá zmršťovanie jej vnútornej hmoty, až kým nepopraská (Boles et al., 1985; Jackson, 2005; Molina a Reolid, 2024). Začínajú sa tvoriť už pri hĺbke pochovania sedimentu menej než 10 m. Septáriové pukliny zužujúce sa smerom von naznačujú, že sa vytvorili, keď boli konkrécie ešte v plastickom stave, ale už boli dostatočne stmelené, aby boli odolné proti kompácii sedimentu (Paxton et al., 2021; Wetzel a Bojanowski, 2022).

V prípade „gúl“ z oblasti Hruštína ide jednoznačne o pieskovcové konkrécie. Tvorí ich makroskopicky homogénny sediment zhodný s okolitou horninou, od ktorej sú oddelené škárou. Neboli pozorované intraklasty, laminácia, ani horizont väčších zŕn prechádzajúci konkréciou, ako je to možné vidieť na známej lokalite Megonky na Kysuciach. Za náznak laminácie, alebo skôr misovitých štruktúr

po úniku vody, možno považovať v niekoľkých prípadoch pozorované rozpukanie „gúl“ v smere vrstvitosti. Stupeň litifikácie „gúl“ a materskej horniny je porovnateľný, aj keď sú náznaky, že „gule“ podliehajú zvetrávaniu menej než materská hornina. Pre absenciu uvedených štruktúrnych znakov nevieme určiť, v ktorej fáze diagenézy konkrécie vznikali. Určité pravidlo bolo pozorované vo vzťahu tvaru konkrécie k materskej vrstve. Platí, že dlhší rozmer konkrécie je rovnobežný s vrstvou. Predpokladá sa, že dlhá os konkrécie je orientovaná rovnobežne so smerom prúdenia roztokov a odráža nehomogénne rozloženie chemických vlastností prostredia (Tucker, 2001; Middleton et al., 2003; Collinson et al., 2006).

Obr. 1. Potfaj et al. (1981) uvádzajú, že pieskovcové „gule“ pochádzajú z hrubších pieskovcových vrstiev, pravdepodobne z podmorských sklzov, a že z Hruštinky sú už vyzbierané. Spomínajú však niekoľko kusov z potoka Račová.

Fig. 1. Potfaj et al. (1981) state that the sandstone balls come from thicker sandstone layers probably from submarine slump and that they have already been removed from the Hruštinka river, but he mentions a few pieces from the Račová creek.



Obr. 2. Schematická geologická mapa západnej časti flyšového pásma Západných Karpát s lokalizáciou oblasti výskumu.

Fig. 2. Schematic geological map of the Western part of the Carpathian Flysch Belt with localization of the studied area.

so sliezskym príkrovom a ďalšími externejšími jednotkami. Magurský príkrov tvoria hlbokomorské sedimentárne sekvencie flyšového charakteru prevažne paleogénneho, menej mladokriedového veku (Polák et al., 2008; Teťák et al., 2016a, b; Hók et al., 2019).

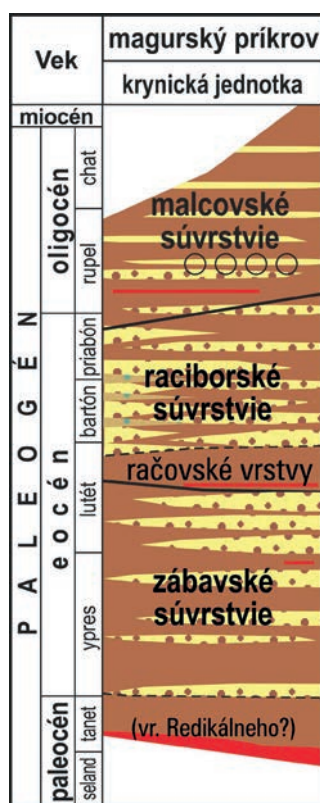
Malcovské súvrstvie

Výskyt pieskovcových „gúl“ pri Hruštine sa viaže na vystupovanie malcovského súvrstvia krynickej jednotky. Sú to najmladšie sedimenty krynickej jednotky magurského príkrovu flyšového pásma (obr. 3). Malcovské vrstvy definoval Šwidziński (1961) na východnom Slovensku. V oblasti Oravy ako prvý vyčlenil a podrobne opísal malcovské súvrstvie Potfaj (1983). Neskôr ho na Orave spracovali Potfaj et al. (1991) a Teťák et al. (2016a, b).

V rámci malcovského súvrstvia vo všeobecnosti prevládajú svetlosivé vápnité ílovce (malcovský litotyp). Len lokálne, v niekoľkých metrových horizontoch, najmä v spodnej časti súvrstvia, môžu dominovať vložky kremenno-karbonátových a kremenno-drobových pieskovcov. Vytvárajú horizonty hrubé do 10 m v odstupoch niekoľko desiatok metrov.

V súvrství sa vyskytuje niekoľko litofácií. Okrem typických sivých vápnitých ílovcov sú to chaoticky zvrstvené sklzové telesá pieskovcov, kalovcov až ílovcov, v menšej miere pelosiderity a vzácné aj červené ílovce. Medzi pieskovecami je možné rozlíšiť niekoľko litotypov – jemnozrnné kremenno-karbonátové pieskovce, stredno- až hrubozrnné drobové pieskovce magurského typu, kremenno-drobové pieskovce s výskytom guľovitých konkrécií, drobozrnné arkóзовé zlepenice až pieskovce, kemité glaukonitové pieskovce a organodetrilitické vápence.

Kremenno-drobové pieskovce s výskytom guľovitých konkrécií tvoria pravdepodobne jediný horizont v nižšej časti súvrstvia. Je to horizont najmenej 10 vrstiev masívnych pieskovcov hrubých 30 až 80 (max. 150) cm, miestami po navetraní s misovitými stopami po úniku vody. Zriedka sú slabšie litifikované. Sú vápnité, kemité, drobové,



Obr. 3. Litostratigrafická schéma krynickej jednotky na Orave (upravené podľa Teťák et al., 2016b).

Fig. 3. Lithostratigraphic scheme of the Krynica Unit at the Orava region (modified after Teťák et al., 2016b).

strednozrnné, zriedka jemno- až hrubozrnné. Odkryté sú len na niekoľkých miestach v okolí Hruština, identifikované aj na základe primárnych výskytov pieskovcových „gúl“.

Podobným litotypom sú drobové pieskovce magurského typu vystupujúce len v najnižšej časti súvrstvia (napr. v Hruštínke nad Vasilovom). Sú to typické masívne hrubo- až strednozrnné drobové pieskovce tvoriace hrubé vrstvy. Obsahujú muskovit, zuhoľnatenú rastlinnú drvinu a misovité stopy po úniku vody. Guľovité konkrécie sa v nich však nevytvorili.

Vrstvy pieskovcov sú sprevádzané ílovcami, siltovcami a slieňovcami. Sú výrazne vápnité a majú svetlé odtiene najmä sivej, modrej, okrovej a menej aj hnedej farby. Hrúbka ich vrstiev je od pár centimetrov do niekoľko metrov. Ílovce majú za čerstva masívnejší rozpad a sú svetlomodré, no po navetraní majú typický drobový rozpad a svetlosivú až modrastú farbu. Plynulo môžu prechádzať do hrubých polôh pevnejších masívnych tmavších siltových ílovcov až siltovcov bystrického typu, ale aj do vrstiev tvrdých slieňovcov hrubých niekoľko desiatok centimetrov s ostrým rozpadom a patinou, ktoré môžu byť v spodnej časti jemne laminované, siltové až piesčité.

Chaoticky zvrstvené sklzové telesá tvoria vrstvy hrubé od pár centimetrov až vyše 6 m. Litologicky to sú od bielych, svetlookrových a modrastých mäkkých plastických ílov cez svetlé modrasté až hnedé mäkkšie sily po sivé a hnedé, veľmi zle vytriedené hrubozrnné pieskovce. Ich spoločným znakom je len minimálna litifikácia horniny a masívne chaotické zvrstvenie. Bežne sa v nich vyskytujú nepravidelne rozptýlené intraklasty masívnych intraformačných pieskovcov alebo ílovcov veľké 5 až 50 cm.

Odhadovaná hrúbka súvrstvia je 450 až 660 m (Potfaj, 1983). Presnejší odhad hrúbky súvrstvia nie je možný, keďže je výrazne tektonicky porušené a okrem potokov bez odkryvov. Jeho vek je mladší eocén až mladší oligocén (Potfaj et al., 1991), nie je však vylúčené, že sedimentácia pokračovala až do staršieho miocénu.

Súvrstvie je sedimentárnou výplňou menších obmedzených bazénov, navzájom prepojených v období výrazne ovplyvnenom tektonickou aktivitou zatvárajúceho sa magurského bazénu z juhu postupujúcim orogénom. Prejavovalo sa to napríklad typickou sedimentáciou sklzových telies. Magurský bazén mal v tejto záverečnej fáze charakter zvyškového neseného „piggy-back“ bazénu (Golonka a Waškowska-Oliwa, 2007; Teťák et al., 2019).

Metodika

Výskum výskytu pieskovcových „gúl“ prebiehal v rámci geologického mapovania regiónu Oravská Magura, preto boli označené číslom dokumentačného bodu v poradí, ako boli zaznamenané. V rovnakom poradí sú zaradené aj v tejto práci. Pri usporiadaní lokalít bol uprednostnený princíp menovania zo západu na východ. Ich lokalizácia je uvedená v súradniciach systému WGS84 určených GPS meraním v teréne a spresnených pomocou mapy LIDAR. Presnosť lokalizácie odhadujeme do 5 m. Mnohé „gule“ bolo potrebné očistiť od hĺn delúvia, náplavov a machu. Lokalizácia,

opis a fotografie pri „guliach“ z Hruštína zodpovedajú stavu z roku 2022. Keďže mnohé „gule“ sú značne zasypané alebo sa zachovali len čiastočne, ich tvar a veľkosť boli odhadnuté na základe viditeľnej časti.

Primárnymi výskytmi rozumieme výskyty na pôvodnej lokalite bez väčšieho premiestnenia človekom. „Gule“ T536-1, T536-2, T536-3 a T985a považujeme za primárny výskyt, keďže sú na pôvodnej lokalite, hoci boli človekom premiestnené na niekoľko desiatok metrov. Za primárny výskyt považujeme aj „guľu“, ktorá je voľná, bez spojenia s materskou horninou, a v rámci toku rieky/potoka či delúvia nepredpokladáme jej premiestnenie na viac než niekoľko desiatok metrov (napr. T587). V prípade primárnych výskytov rozlišujeme pozíciu voľnú, teda premiestnenú riekou, potokom alebo v delúviu, a pevnú, čiže polohu „gule“ viditeľne v spojení s materskou horninou (obr. 4). Za sekundárny výskyt považujeme všetky človekom premiestnené „gule“ bez presného poznania miesta ich pôvodu.

Dve čiastočne zachované „gule“ (T613-2, T810-1) boli vzhľadom na menšie rozmery a dostupnosť lokality prevezené do Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave s cieľom skúmania, popularizácie výskytu a prevencie pred odcudzením po zverejnení.

Kvôli zvýšeniu šance zaznamenať aj „gule“ verejne neprístupné, umiestnené na súkromných pozemkoch, boli publikované predbežné informácie v obecných novinách (Teták, 2022) a v aktuálne zostavovanej monografii obce Hruštín. Táto aktivita však nepriniesla nové zistenia.

Kvôli vhodnej ochrane lokalít prebehla informácia a komunikácia s pracovníkmi CHKO Horná Orava v Námestove so zámerom budúcej propagácie a ochrany.

Vzhľadom na skôr sféroidný, elipsoidický, vajcovitý, bočníkovitý a nepravidelný tvar väčšej časti konkrécií termín „guľa“ nie je úplne korektný, no v práci sa používa v morfológickom zmysle ako „sféroidný horninový útvar“ a zároveň v genetickom zmysle ako „konkrécia“ výlučne kvôli zjednodušeniu štylizácie textu.

O výskyte sférických horninových útvarov vo svete je veľké množstvo informácií, no o väčšine lokalít sú dostupné len informácie popularizačného charakteru bez seriózneho geologického spracovania. Rovnaká situácia je aj pri „guliach“ na Kysuciach. Internetové zdroje tohto typu necitujeme. Preto je zoznam lokalít síce rozsiahly, no niekedy bez geologických detailov a možnosti citovania relevantných zdrojov. Pri väčšine svetových výskytov guľovitých konkrécií uvádzame WGS84 lokalizáciu s možnosťou dohľadania fotografií na www.google.sk/maps prostredníctvom služby Street View alebo pomocou názvu lokality.

Výsledky

V priebehu geologického mapovania Oravskej Magury sa zistili dve oblasti výskytu pieskovcových konkrécií.



Obr. 4. Mierne sploštená pieskovcová „guľa“ na svojom primárnom výskyte overená v roku 2000 (lokalita T860).

Fig. 4. Slightly flattened sandstone sphere at its primary occurrence verified in 2000 (location T860).

Prioritne bol spracovaný početnejší výskyt v širšej oblasti Hruštína v horninách krynickej jednotky flyšového pásma, kde je v budúcnosti pravdepodobné objavenie ďalších kusov. Sekundárne bol spracovaný aj menej početný výskyt septáriových konkrécií v lome pri Podbieli v slieňoch bradlového pásma.

V Hruštíne a jeho okolí sa zistilo viacero primárnych a sekundárnych výskytov pieskovcových „guľí“. Ich charakteristika sa na každej z nich mierne líši. Už v roku 2000 pri súkromnej obhliadke koryta Hruštinky v ľavom brehu rieky sa zistil výskyt mierne sploštenej pieskovcovej „gule“ (obr. 4). Jej presnú lokalizáciu nie je možné dodatočne presne určiť, keďže v roku 2022 nebola pozorovaná (T860 – obr. 5, 6). Pieskovcová „guľa“ sa nachádzala na svojej primárnej lokalite, keďže v spodnej časti bola spojená s horninou materskej pieskovcovej vrstvy.

V intraviláne Hruštína sa popri ceste a v záhradkách nachádza 23 „guľí“ na sekundárnom výskyte. Takmer všetky sú na ulici Radzovka a Črchľa. Len jedna „guľa“ je v Hruštíne v časti Zámot a jedna v Babíne východne od kostola. Dve sú pri súkromnej chate. Ďalších 30 je stále na primárnych výskytoch v okolí Hruštína. Celkovo je zatiaľ zdokumentovaných 58 pieskovcových „guľí“ (obr. 7), z ktorých o jednej nie je známe, kde sa v súčasnosti nachádza.

„Gule“ tvorí prevažne strednozrnný, zriedka jemnozrnný alebo hrubozrnný vápnitý, viac kremitý drobový pieskovec. Zlepencová frakcia nebola pozorovaná. Majú priemer od 30 do 220 cm. Menšie majú zvyčajne pravidelný guľovitý tvar. Pri väčších prevláda sploštený elipsoidový až vajcovitý tvar. Vo viacerých prípadoch je zachovaná len časť „gule“. Ich povrch je zvyčajne hladký a pravidelný.

V prípadoch zachovania kontaktu „gule“ s materskou horninou býva „guľa“ vždy oddelená škárou. Aj keď

z pozorovaní, že „gule“ sú odolnejšie proti zvetrávaniu, možno nepriamo usudzovať, že sú lepšie litifikované, makroskopicky nebol pozorovaný rozdiel v zložení ani stupni litifikácie „gule“ a materskej horniny.

V „guliach“ neboli pozorované koncentrické ani radiálne pukliny či rozpad, ktoré by pripomínali septáριοvé konkrécie. Nezistilo sa ani cudzorodé jadro, ktoré by mohlo byť spúšťačom vzniku konkrécie. V prospech tohto druhého tvrdenia však nie je dostatočne veľa pozorovaní rezov stredom „gule“.

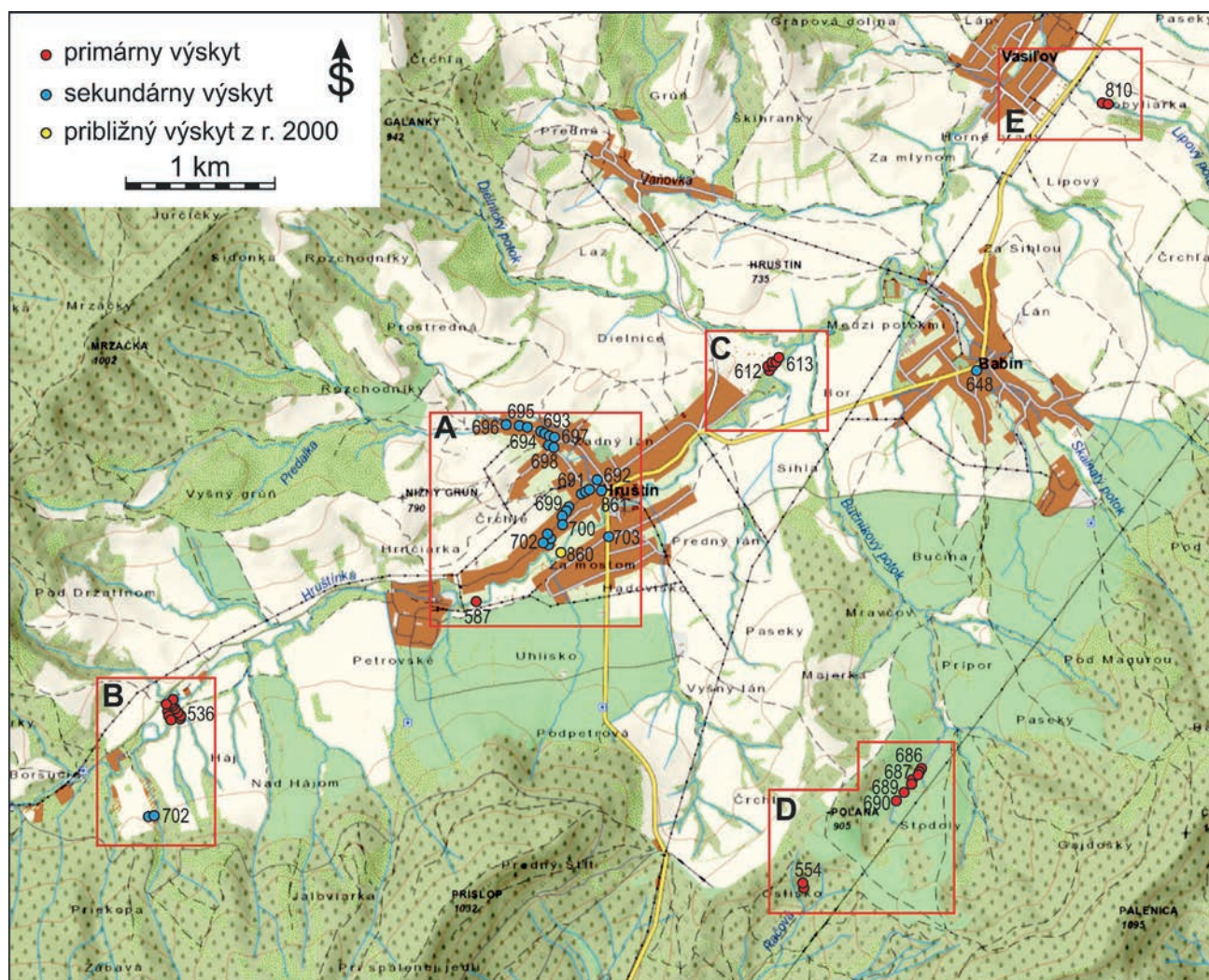
Primárne lokality

Na lokalite v Hruštínke pod strelnicou (T536, obr. 6B) sa vyskytuje 11 „gúl“. „Gule“ sú stredne veľké, menej je menších. Dosahujú priemer 30 až 80 cm. Majú guľovitý tvar, menej aj vajcovitý. Vyskytuje sa tu aj „dvojguľa“, jediná pozorovaná v tejto oblasti. Majú hladký povrch. Podľa vzhľadu je pravdepodobné, že väčšina „gúl“ na sekundárnom výskyte v obci by mohla pochádzať z tejto alebo podobnej lokality.

V koryte Hruštinky pod družstvom sa našla jediná „guľa“ (T587, obr. 6A) s priemerom 80 cm. Je podobná „guliam“ z predchádzajúcej lokality. Vystupovanie potenciálnych materských hornín v jej blízkosti sa nezistilo.

V Hruštínke pod ihriskom nad ústím Dielnického potoka (T612, T613, obr. 6C) je lokalita s odkryvmi hrubých vrstiev pieskocov sprevádzaných šiestimi „guľami“. Sú síce hladké a pravidelné, ale sú príliš veľké na premiestnenie (75 – 130 cm), preto nepredpokladáme, že by táto lokalita bola významnejším zdrojom „gúl“ v obci.

Druhý najväčší primárny výskyt tvoria dve blízko pri sebe ležiace lokality východne od sedla Príslop (obr. 6D). Podľa podobného vzhľadu prítomných „gúl“ je možné usudzovať, že navzájom súvisia. Prvá je v rokline (T554) a tvoria ju dve „gule“. Jedna je nezvyčajne pravidelná, sploštená, hladká (70 x 110 cm) a druhá rozpušaná a neisto určená. Druhá lokalita je v potoku na SV (T686 až T690). Na dĺžke asi 350 m sa nachádza 8 „gúl“. Menšie „gule“ sú skôr pravidelne guľaté, veľké, s rozmermi až 60 x 220 cm, sú ploché až vajcovité. Majú hladký povrch.



Obr. 5. Mapa okolia Hruštína s vyznačením primárnych a sekundárnych lokalít výskytu pieskovcových „gúl“ (mapový podklad: GKU – <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/zakladna-mapa>).

Fig. 5. Map of the surroundings of Hruštín village with the marking of the primary and secondary locations of sandstone spheres occurrence (based on map: GKU – <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/zakladna-mapa>).

Sekundárne lokality

Veľkú časť „gúl“ (24) v minulosti premiestnili obyvatelia Hruštína a umiestnili v obci popri ceste (T691 až T702, obr. 6A). Keďže v minulosti neboli mechanizmy schopné prenášať ťažké objekty, tieto „gule“ majú skôr menšie rozmery (30 až 80 cm). Majú prevažne pravidelný guľovitý tvar, no časť z nich je nepravidelná, zrejme poškodená.

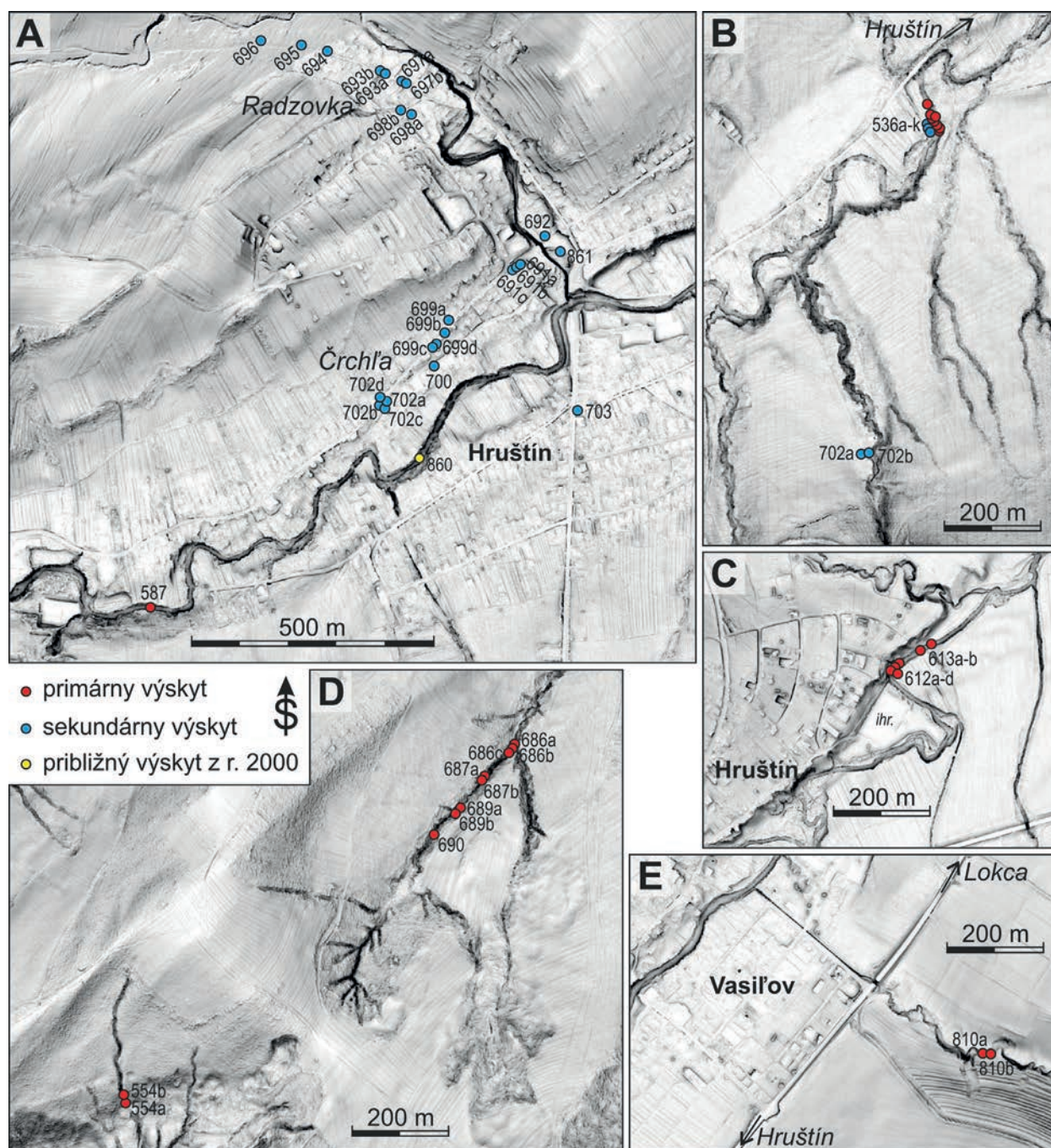
Ďalšie dve „gule“ vajcovitého tvaru sú pri chate južne od strelnice (T702, obr. 6B).

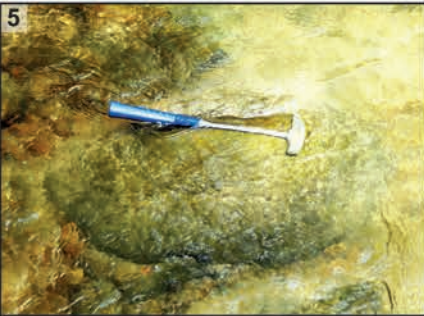
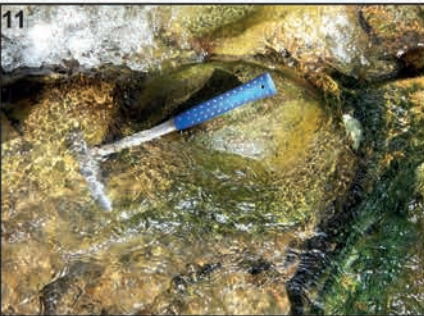
Jedna „guľa“ je aj v Babíne pri hlavnej ceste 60 m východne od kostola (T648, obr. 5).

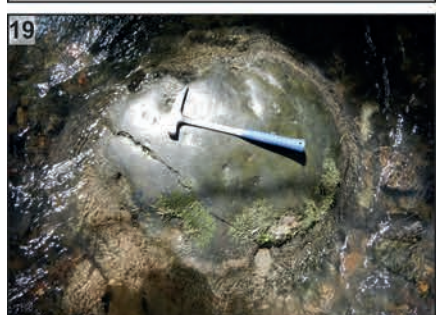
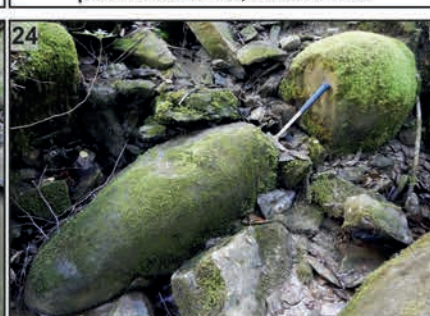
Diskusia

Účel a využitie

Obdobie, keď boli „gule“ umiestňované v dedine, nie je známe. Pravdepodobne to bolo skôr než začiatkom 20. storočia. „Gule“ mali okrem estetického významu aj praktický význam. V Hruštíne boli v minulosti tri ulice – Črchľa, Radzovka a Dedina. Prvé dve slúžili ako vstup do dediny v lete pri zväžaní sena a v zime pri sťahovaní dreva a práve na týchto uliciach sa nachádza väčšina „gúl“ (obr. 6A, 8). Chránili rohy brán alebo domov pred poškodením od vozov



		
T536-1 80 cm sekundár. 49,311 486°, 19,309 429° pravidelná premiestnená, v trávniku chaty č. 954	T536-2 30 x 45 cm sekundár. 49,311 541°, 19,309 338° premiestnená elipsovité deformovaná / roh chaty č. 954	T536-3 45 cm sekundár. 49,311 604°, 19,309 297° premiestnená / roh chaty č. 954
		
T536-4 45 x 80 cm primár. voľná 49,311 906°, 19,309 397° dvojguľa / ľavý breh	T536-5 70 cm primár. pevná 49,311 651°, 19,309 538° pravidelná, mierne elipsovité / ponorená v koryte	T536-6 50 x 70 cm primár. pevná 49,311 627°, 19,309 593° elipsovité polguľa
		
T536-7 60 cm primár. pevná 49,311 599°, 19,309 612° pravidelná guľa	T536-8 80 cm primár. pevná 49,311 599°, 19,309 612° pravidelná guľa	T536-9 65 cm primár. voľná 49,311 599°, 19,309 612° polguľa zbrúsená riekou
		
T536-10 60 cm primár. pevná 49,311 599°, 19,309 513° pravidelná guľa, mierne obrúsená	T536-11 45 cm primár. pevná 49,311 599°, 19,309 513° pravidelná guľa / v koryte	T554-1 70 x 110 cm primár. voľná 49,301 283°, 19,366 247° pravidelná elipsovité guľa

		
T554-2 80 x 130 cm primár. voľná 49,301 283°, 19,366 247° nepravidelná, mierne elipsovité, puknutá	T587 80 cm primár. voľná 49,318 101°, 19,336 944° pravidelná guľa / v koryte	T612-1 90 cm primár. voľná 49,331 692°, 19,363 116° výrazne obrúsená riekou / pravý breh
		
T612-2 100 x 130 cm primár. voľná? 49,331 714°, 19,363 139° polovica elipsovité / ľavý breh	T612-3 80 cm primár. pevná? 49,331 785°, 19,363 24° pravidelná prasknutá guľa / ľavý breh	T612-4 75 cm primár. pevná 49,331 723°, 19,363 149° pravidelná guľa, trochu obitá / koryto
		
T613-1 130 cm primár. pevná? 49,332 143°, 19,364 159° pravidelná guľa / koryto	T613-2 80 cm primár. pevná 49,332 127°, 19,364 121° 1/5 gule pravidelná / (prenesená do ŠGÚDŠ)	T648 65 cm sekundár. 49,331 715°, 19,381 662° pravidelná guľa premiestnená, v trávniku
		
T686-1 140 x 170 cm primár. voľná 49,307 939°, 19,376 826° mierne elipsovité	T686-2 130 cm primár. pevná 49,307 939°, 19,376 826° pravidelná guľa	T686-3 60 x 220 cm primár. voľná 49,307 939°, 19,376 826° elipsovité puknutá

T687-1 90 x 110 cm primár. voľná 49,307 561°, 19,376 265° mierne elipsovité	T687-2 130 cm primár. voľná 49,307 561°, 19,376 265° 1/5 gule	T689-1 90 cm primár. pevná 49,306 856°, 19,375 436° vajcovitá
T689-2 70 cm primár. voľná? 49,306 775°, 19,375 297° pravidelná guľa	T690 160 cm primár. voľná 49,306 312°, 19,374 698° mierne sploštená	T691-1 30 cm sekundár. 49,324 519°, 19,346 967° nepravidelná guľa / dom č. 312
T691-2 70 cm sekundár. 49,324 495°, 19,346 92° pravidelná guľa / dom č. 312	T691-3 80 cm sekundár. 49,324 45°, 19,346 848° pravidelná guľa / dom č. 312	T692 80 cm sekundár. 49,325 017°, 19,347 748° mierne elipsovité guľa / dom č. 490
T693-1 60 cm sekundár. 49,327 973°, 19,343 149° pravidelná prasknutá poškodená guľa / dom č. 591	T693-2 50 cm sekundár. 49,327 998°, 19,343 07° mierne nepravidelná guľa / dom č. 591	T694 40 cm sekundár. 49,328 311°, 19,341 496° mierne obrúsená riekou / dom č. 554

T695 60 cm sekundár. 49,328 38°, 19,340 793° vidno len kúsok, mierne nepravidelná / dom č. 582	T696 80 cm sekundár. 49,328 428°, 19,339 677° pravidelná guľa, v betóne / dom č. 577	T697-1 40 cm sekundár. 49,327 789°, 19,343 675° mierne elipsovité, neúplná / dom č. 543
T697-2 60 cm sekundár. 49,327 737°, 19,343 793° vidno len časť pod múrikom, pravidelná / dom č. 597	T698-1 75 cm sekundár. 49,327 21°, 19,343 875° v betóne, pravidelná, mierne obitá / dom č. 505	T698-2 50 cm sekundár. 49,327 273°, 19,343 694° iba polovica, pravidelná guľa / dom č. 538
T699-1 70 cm sekundár. 49,323 454°, 19,345 142° pravidelná guľa / dom č. 326	T699-2 80 cm sekundár. 49,323 238°, 19,344 984° pravidelná guľa / dom č. 458	T699-3 60 cm sekundár. 49,323 037°, 19,344 731° obitá guľa / dom č. 327
T699-4 40 cm sekundár. 49,323 054°, 19,344 748° pravidelná guľa / dom č. 327	T700 60 cm sekundár. 49,322 629°, 19,344 658° mierne sploštená guľa / dom č. 350 / neistý pôvod?	T701-1 50 cm sekundár. 49,321 95°, 19,343 304° mierne obrúsená

T701-2 50 cm sekundár. 49,321 904°, 19,343 263° mierne obrúsená	T701-3 50 cm sekundár. 49,321 904°, 19,343 263° silno poškodená, neúplná	T701-4 60 cm sekundár. 49,322 006°, 19,343 220° pravidelná / dom č. 445
T702-1 70 cm sekundár. 49,305 537°, 19,307 685° nepravidelná / výrazne obrušená riekou, pri chate	T702-2 40 x 50 x 80 cm sekundár. 49,305 537°, 19,307 685° elipsovité, olupuje sa / obrúsená riekou, pri chate	T703 50(70) cm sekundár. 49,321 914°, 19,348 715° sčasti nepravidelná
T810-1 40 x 40 x 70 cm primár. voľná 49,347 217°, 19,393 645° vajcovitá / v potoku, nerovný povrch / v potoku	T810-2 40 x 55 cm primár. voľná 49,347 206°, 19,393 804° 1/2, vajcovitá, na 3 časti, nerovný povrch / v potoku (v ŠGÚDŠ)	T860 40 x 60 cm primár. pevná približne 49,320 94°, 19,344 38° mierne plochá guľa, v Hruštínke, v súčasnosti nepotvrdená
T861 80 cm sekundár. 49,324 750°, 19,348 115° mierne vajcovitá / Hruštín – denný stacionár		

Obr. 7. Fotodokumentácia všetkých známych pieskovcových „gúl“ z okolia Hruštína s uvedením označenia, rozmerov (priemer), výskytu (primárny/sekundárny), pozície (pevná, tzn. spojená s materskou horninou/voľná), lokalizácie výskytu (súradnice WGS84), opis tvaru a poznámka k výskytu podľa stavu z roku 2022.

Fig. 7. Photodocumentation of all known sandstone spheres from the vicinity of the Hruštín village with indication of designation, size (diameter), occurrence (primary/secondary), position (connected to parent rock/loose), location (WGS84 coordinates), shape description and note on occurrence as of 2022.

alebo ťahaného dreva (smrekovej guľatiny). Podobný účel plnili kamenné stĺpiky v mestách pri vstupných bránach nazývané odrazníky. Pri viacerých „guliach“ v obci možno predpokladať, že ich nepravidelný tvar spôsobilo práve poškodenie spomínanou činnosťou. Postupným budovaním spevnených ciest boli „gule“ zasypané a z mnohých dnes vyčnieva len malá časť.

Do súčasnosti sa viaceré z „gúl“ stratili, prípadne z nich vidieť spod múrikov alebo asfaltu len malú časť. Ich účel je v súčasnosti čisto dekoratívny a obyvatelia ich umiestňujú do záhradiek alebo k chatám (obr. 7 – 1, 2, 3, 52, 53).



Obr. 8. Tri pieskovcové „gule“ umiestnené pri ceste v Hruštíne (T691a, b, c, obr. 7).

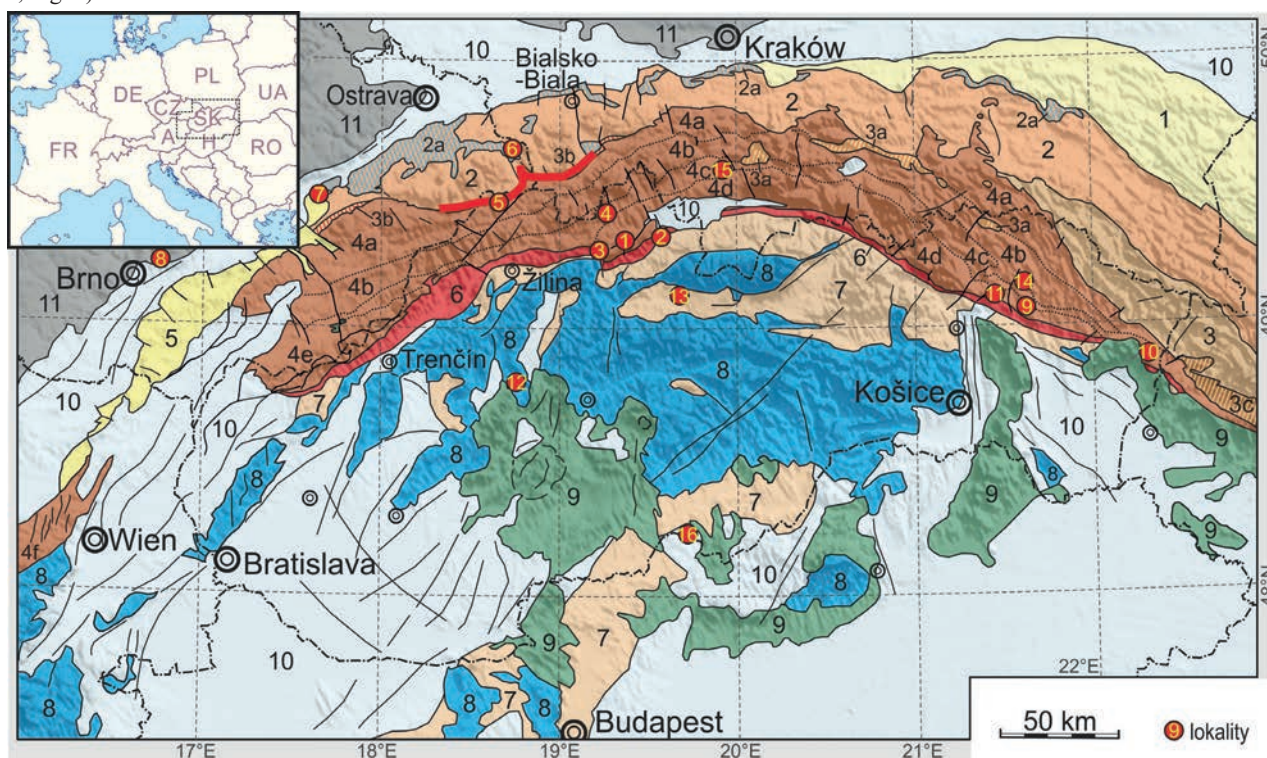
Fig. 8. Three sandstone spheres located by the road in Hruštín (T691a, b, c, Fig. 7).

Potenciál na geoturistiku

Podľa vzoru výskytov pieskovcových „gúl“ na Kysuciach, ale aj z iných lokalít mimo územie Slovenska možno predpokladať, že fenomén pieskovcových „gúl“ z Hruštína má výrazný potenciál stať sa geoturistickou atrakciou nielen lokálneho významu. V súčasnosti sú koncentrácia a zachovanie „gúl“ v obci a na primárnych lokalitách dostatočné a vhodné na vytvorenie náučných chodníkov doplnených náučnými tabuľami. Geoturistický potenciál narastá v súvislosti s blízkosťou ďalšej lokality v Podbieli. Propagácia tohto geologického javu v spojení s nutnou a vhodnou ochranou má potenciál zvýšiť povedomie verejnosti o geológii a záujem o ňu.

Ochrana

Podľa príkladu propagácie pieskovcových „gúl“ na Kysuciach po 80. rokoch 20. storočia možno predpokladať, že po popularizácii „gúl“ v Hruštíne hrozí podobný scenár, teda že najmä menšie a dostupnejšie „gule“ obyvatelia z primárnych a verejných lokalít odcudzujú a umiestňujú k súkromným domom a chatám. Evidenciou „gúl“, spoluprácou so samosprávou, s CHKO Horná Orava a prácou na uvedomelosti obyvateľstva by bolo možné tomuto negatívnemu trendu zabrániť alebo ho aspoň obmedziť.



1 – Hruštín, 2 – Podbiel, 3 – Závrivá, 4 – Novoľ, 5 – kysucké gule, 6 – hradištské súvrstvie, 7 – Bezuchov, Šišma, 8 – Olšany, 9 – Košarovce, 10 – Ruská Bystrá a Strihovce, 11 – Želmanovce, 12 – brusnianske gule, 13 – Liptovský Ondrej, 14 – Mrázovce, 15 – Rabka, 16 – Lipovany

Obr. 9. Lokality výskytu sférických horninových útvarov na Slovensku a v blízkom okolí.

Fig. 9. Locations of occurrence of spherical rock formations in Slovakia and its vicinity.

Ďalšie výskyty sférických horninových útvarov

Na Slovensku a v blízkom okolí sa zistilo viacero lokalít výskytu sférických horninových útvarov s rôznou tektonickou a stratigrafickou príslušnosťou a rôznym pôvodom (obr. 9).

Západne od Podbiela v doline potoka Podbielsky Cicov (49,304 516°; 19,468 797°) sa v rokoch 2002 až 2022 realizovala ťažba kameniva. Počas ťažby sa objavovali sféroidné horninové útvary. Zachované boli vďaka Jozefovi Krupovi, ktorý ich premiestnil do neďalekého Podbiela (obr. 10). Všetkých 18 známych kusov je podľa stavu z roku 2024 v sekundárnej pozícii, aj keď sedem „gúl“ je pri lome pod cestou na brehu potoka na lokalite primárneho výskytu (49,303 697°; 19,466 425°). Ďalších päť je v Podbieli: tri sú pri Penzióne Lipa (49,305 924°; 19,482 551°) a polovica „gule“ je pri dome č. 404 (49,306 075°; 19,481 948°) (49,306 169°; 19,476 415°). Päť kusov je pri chate jv. od Podbiela (49,288 321°; 19,516 292°). Tu sa nachádza aj niekoľko menších kusov z rozpadnutých „gúl“, na ktorých je možné pozorovať ich vnútornú septáriovú stavbu

(obr. 10). Litologicky ich tvoria sivé piesčité slieňovce, ktoré môžu byť miestami škvrnité. Tvarovo je možné rozdeliť „gule“ do dvoch skupín. 15 je výrazne sploštených, hladkých, sivej farby. Tri sa líšia svojím hrdzavohnedým sfarbením, skôr vretenovitým tvarom, a najmä horizontálnym zvrstvením. Rozmery „gúl“ sú od 35 x 65 cm do 70 x 90 x 160 cm. Pri „guliach“, ktoré sú rozpadnuté, je viditeľná štruktúra typická pre septáriové konkrécie, čiže radiálne a axiálne pukliny vyplnené kalcitom. Kalcit niektoré pukliny úplne nevyplnil a sú pozorované jeho kryštály veľké až 2 cm.

Okrem Hruštína a Podbiela bola na Orave pozorovaná jedna mierne sploštená pieskovcová „guľa“ s priemerom 70 cm v Zárzivej v časti Končítá (49,291 510°; 19,159 234°) v pieskovcoch flyšového obalu bradiel bradlového pásma pravdepodobne albsko-cenomanského veku (lokalita B28 v exkurznom sprievodcovi Plašienka et al., 2021; obr. 11; info. O. Pelech).

Sférický (elipsoidický, bočníkovitý) rozpad majú na viacerých lokalitách flyšového pásma masívne vápnité



Obr. 10. Príklady septáriových konkrécií z bradlového pásma pri Podbieli.

Fig. 10. Examples of septarian concretions from the Klippen Belt near Podbiel.



Obr. 11. Guľovité zvetrávanie pieskovca v Zárzivej (49,291 510°; 19,159 234°). Pravdepodobne ide o konkréciu (foto O. Pelech).

Fig. 11. Spheroidal weathering of sandstone in Zárzivá (49,291 510°; 19,159 234°). This is probably a concretion (photo O. Pelech).

siltové ílovce, najmä ílovce bystrického typu zlínskeho súvrstvia (napr. v lome s. od Novote; obr. 12; Teťák et al., 2016b).

Fenoménn sférických pieskovcových útvarov v tvare „gúl“ je v oblasti flyšového pásma Západných Karpát známy najmä z úzkeho pásu v severnej časti Kysúc s presahom na západ na Moravu a na východ do Poľska. Celkovo viac než 60 „gúl“ s priemerom 17 až 260 cm v pieskovcoch až drobnozrnných zlepencoch je stále možné nájsť na primárnych i sekundárnych lokalitách. Najvýznamnejšou lokalitou je lom Megonky v Čadci, miestnej časti Milošová (49,496 864°; 18,722 499°), po tom, ako v roku 1988 otvorili v lome ťažbu kameňa na spevňovanie brehov a ciest. Prirodzené odkryvy sú aj v Klokočovskom skáli (49,472 549°; 18,618 256°), v potokoch v Klokočove (obr. 13A), ale aj prenesené „gule“ v samotnom Klokočove, umiestnené pri ceste (napr. 49,451 635°; 18,571 691°;

Bizubová, 2008). Značnú časť z primárnych výskytov časom ľudia odviezli a v mnohých prípadoch slúžia ako dekorácia v záhradách (obr. 13B). Ich výskyt sa viaže výhradne na horizont hrubozrnných ciężkowických pieskovcov podmenilitového súvrstvia sliezskeho príkrovu veku mladší paleocén až starší eocén (Potfaj et al., 2002, 2003). „Gule“, podobne ako „gule“ z Hruština, sú konkrécionálneho pôvodu, vytvorené v procese litifikácie sedimentárnej horniny. Nasvedčuje tomu napríklad zlepenecový horizont bez prerušenia prechádzajúci „gulami“ aj okolitou horninou prítomný vo viacerých „guliach“ a tiež laminácia. Mnohé majú odlupujúcu sa „škrupinu“.

Uvedená línia s výskytom kamenných „gúl“ pokračuje z Kysúc do Českej republiky na východ na lokality cez Motyčanku, Mosty u Jablunkova (starý lom 49,510 234°; 18,747 986°), Návsí (pri ceste 49,594 724°; 18,749 301°) a Bukovec ďalej do Poľska na Żywiec. Tá istá geologická

Obr. 12. Elipsoidický (bočníkovitý) rozpad masívnych vápnných siltových ílovcov bystrického typu bystrických vrstiev v lome severne od Novote (49,435 661°; 19,234 062°) (dĺžka elipsoidu je 120 cm).

Fig. 12. Ellipsoidal disintegration of massive Bystrica type mudstones of Bystrica Mb. in the quarry north of the Novot village (49.435 661°; 19.234 062°) (the length of the ellipsoid is 120 cm).



Obr. 13. A. Mierne plochá „guľa“ z potoka Kornica v Klokočove (49,455 832°; 18,558 987°) zo zbierky Prírodovedeckej fakulty UK v Bratislave (priemer 30 cm). **B.** Pieskovcová „guľa“ (elipsoid) vystavená v centre Dubnice nad Váhom (48,957 974°; 18,171 575°). Hrubozrnný pieskovec, na povrchu s tektonickými zrkadlami, pochádza pravdepodobne z oblasti Kysúc (rozmer 80 x 130 cm).

Fig. 13. A. A slightly flattened sphere from the Kornica stream in Klokočov (49.455 832°; 18.558 987°) from the collection of the Faculty of Natural Sciences of the Comenius University in Bratislava (diameter 30 cm). **B.** Sandstone sphere (ellipsoid) exposed in the center of Dubnica nad Váhom (48.957 974°; 18.171 575°). Coarse-grained sandstone on the surface with slickensides probably comes from the Kysuce region (80 x 130 cm).

štruktúra/línia pokračuje z Kysúc aj na západ na Moravu, napr. sploštené „gule“ do 3 m sú v starom lome Vidče (49,435 666°; 18,095 514°). Ďalej na západ, už však v iných geologických jednotkách, sú „gule“ s priemerom do 80 cm v kulmských drobach staršieho karbónu Drahanскеj vrchoviny a Nízkeho Jeseníka a karpátu kroměřížského súvrstvia v karpatskej predhlbni (v pieskovni Bezuchov, Šišma a Olšany; Bubík et al., 2019) a zrejme „gule“ antropogénneho pôvodu vo vzdialenejšej Karlovej Vsi v oblasti Křivoklátu. Karbonátové a pyritovo-karbonátové konkrécie sa vyskytujú v oblasti Barrandienu pri Prahe, napr. v ordovických bridliciach klabavského súvrstvia (Geopark Barrandien: 49,962 993°; 14,072 961°; Geologická záhrada: 50,091 737°; 14,574 824°). Iným príkladom konkrécií z územia Českej republiky sú pelosideritové konkrécie. Vyskytujú sa najmä vo vrchnej časti hradišského súvrstvia sliezského príkrovu flyšového pásma, kde sú šošovkovité konkrécie pelosideritov veľmi hojné v tmavosivých, slabovo vápnitých ílovcach. V minulosti sa ťažili a dopomohli tak k vzniku hutníckeho priemyslu na Ostravsku (napr. 49,665 588°; 18,760 741°; Roth et al., 1962).

Ďalšie, skôr ojedinelé výskyty guľovitých konkrécií sú opisované z viacerých lokalít krynickej jednotky magurského príkrovu na východnom Slovensku. Guľovité konkrécie s priemerom až 70 cm vyvetrávajú zo steny lomu Košarovce z hrubších vrstiev slabšie litifikovaných pieskovcov strihovského súvrstvia (Žec et al., 2011). Podobné sú „gule“ s priemerom do 50 cm z lokality Diel medzi Ruskou Bystrou a Hrabovou Roztokou a zo Strihoviec (Leško, 1960; Leško et al., 1964; Leško a Samuel, 1968; Žec et al., 2005a, b; Žec et al., 2011) a „gule“ s priemerom do 70 cm severne a južne od Strednej hory, doliny západne od Želmanoviec (Kováčik et al., 2012).

Okrem flyšového pásma Západných Karpát sú kamenné „gule“ známe z pieskovcov vnútrokarpatského paleogénu z oblasti Malej Čausy a Chrenovca-Brusna (Kováčik et al., 2015, obr. 3.4 – 16). Takzvané „brusnianske gule“ vyvetrávajú zo slabovo spevnených pieskovcov so šošovkami parazlepencov chrenoveckých vrstiev s vekom kišcel až eger. Z petrografického hľadiska zodpovedajú vápnitým subarkózam. Konkrécie sú guľovitého až elipsoidického tvaru s priemerom 10 cm až 2 m (obr. 14). Väčšina „guľ“ sa nachádza v miestnom lome (48,773 926°; 18,720 450°) a v jeho blízkosti.

Pri ceste medzi Liptovským Ondrejom a Beňadikovou sa nachádza nenápadná lokalita s niekoľkými väčšími bočníkovitými kameňmi (49,087 38°; 19,699 14°). V roku 1977 bola lokalita vyhlásená za prírodnú pamiatku Háje. Podľa Grossa (1977), Grossa et al. (1980) a Mišíka a Rehákovéj (2004) tu boli „gule“ až bočníkovité pelokarbonátové útvary do dvojmetrovej veľkosti, v niektorých prípadoch boli oblepené obliakmi. Polovica jednej z nich, v jadre s obrneným závalkom, je vystavená v areáli ŠGÚDŠ v Bratislave (obr. 15). Guľovité útvary sa nachádzajú ako súčasť obliakového materiálu v podmorskom zosuvnom telese vnútrokarpatských paleogénnych sedimentov. Podmorský zosuv sa vrezal do stredno- až vrchnopriabónskeho flyšového podložja. Geneticky sa líšia od „guľ“ od Hruština. Sú to závalky a obrnené závalky. Ich vznik možno

lepšie pochopiť na recentnom príklade z Mrázoviec (Bóna et al., 2005), kde vo fluvialnom prostredí vznikli počas prívalového dažďa obrnené závalky guľovitého tvaru s priemerom 4 až 32 cm.



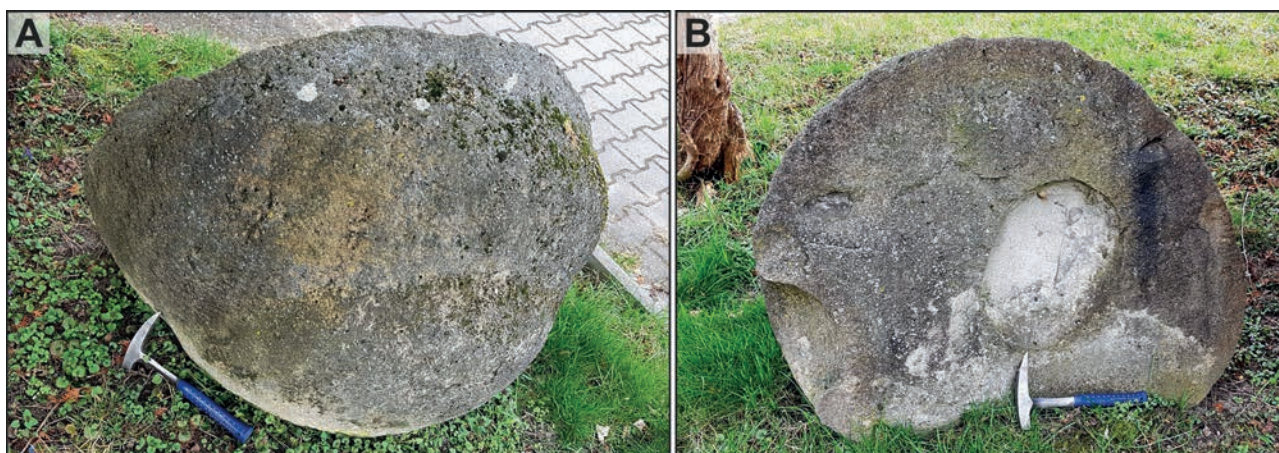
Obr. 14. Brusnianska „guľa“, konkrécia z pieskovcov chrenoveckých vrstiev vnútrokarpatského paleogénu z oblasti Malej Čausy (priemer 20 cm, zo zbierky ŠGÚDŠ v Bratislave).

Fig. 14. Brusno sphere, a concretion from the sandstones of the Chrenovec Mb. of the Inner Carpathian Paleogene from the area of Malá Čausa (diameter 20 cm, from the collection of ŠGÚDŠ in Bratislava).

Podobný spôsob vzniku, ako majú sférické útvary od Liptovského Ondreja, majú aj guľovité až vretenovité pieskovcové telesá nachádzané v páse medzi Rdzawkou a Rokicinami Podhalaňskými v Poľských Karpatoch. Vznikli ako olistolity jemnozrnných vápnitých pieskovcov v olistostróme v rámci strednoeocénnych maszkowických pieskovcových vrstiev (ekv. oravskoveľských vrstiev) bystrickej jednotky magurského príkrovu (49,580 603°; 19,887 706°) (Cieszkowski et al., 2009, informácia M. Cieszkowski). V oblasti výskytu sa využívali ako dekoratívne prvky, napr. pri vchodoch do starých drevených kostolov s vysekanou prehĺbeninou na svätenú vodu v Rabke Zdrój a Piątkowej Góre, ako aj na námestí Raby Wyżnej (obr. 16).

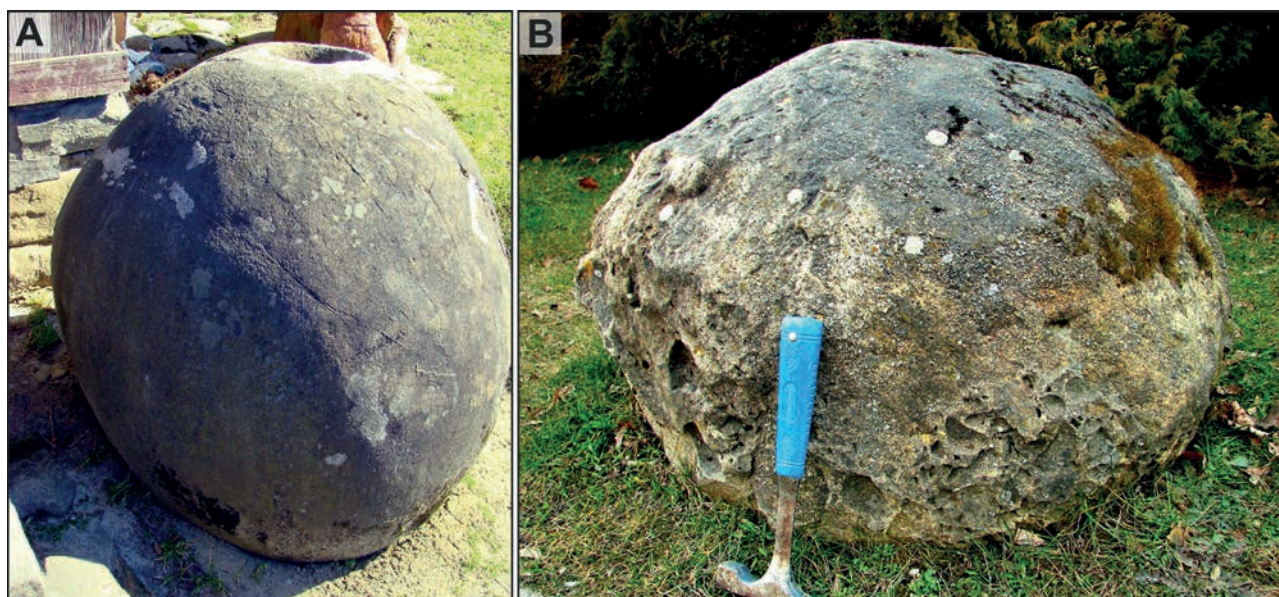
Parciálna litifikácia pieskovcov vo forme väčších sférických konkrécií nepravidelného bočníkovitého, ale aj guľovitého tvaru stmelených vápnitým tmelom sa bežne vyvinula v neogénnych pieskoch. Asi najznámejšou lokalitou je pieskovňa v Lipovanoch (48,214 170°; 19,709 228°) s typovou lokalitou spodnoegenburských lipovianskych pieskovcov. Pieskovňa je od roku 1990 vyhlásená za prírodnú pamiatku. Sférické konkrécie dosahujú priemer 5 až 50 cm (obr. 17). Pieskovce obsahujú v hojnom množstve úlomky mäkkýšov. Sú to sedimenty plytkého morského šelfu (Vass et al., 1992).

Podobné pieskovcové konkrécie sa vyvinuli aj v mladogegenburských riečno-jazerných tachtienskych pieskovcoch súvrstvia Bukovinky d'armotských vrstiev na južnom Slovensku, v podobných vrchnobádenských pieskovcoch



Obr. 15. A. Polovica „gule“ s priemer 110 cm od Liptovského Ondreja, vystavená v areáli ŠGÚDŠ v Bratislave (48,166 318°; 17,078 678°). B. Na lome „gule“ vidieť veľký zvetrovaný intraklast s nalepenými väčšími klastami a dva menšie intraklasty.

Fig. 15. A. Half of a sphere with a diameter of 110 cm from Liptovský Ondrej, exhibited in the SGIDŠ complex in Bratislava (48.166 318°; 17.078 678°). B. A large weathered intraclast with attached clasts and two smaller intraclasts can be seen on the fracture surface of the sphere.



Obr. 16. Dekoratívne využitie sférických blokov z olistostrómy: A. pri vchode do dreveného kostola v Rabke Zdrój s vysekanou prehĺbeninou na svätenú vodu (49,611 394°; 19,946 891°) (foto M. Cieszkowski); B. námestie v Rabe Wyżnej (49,564 005°; 19,878 003°) (foto M. Cieszkowski).

Fig. 16. Decorative use of spherical blocks of olistostrómy: A. at the entrance to the wooden church in Rabka Zdrój with a hollow carved out for holy water (49.611 394°; 19.946 891°) (photo M. Cieszkowski); B. square in Raba Wyżna (49.564 005°; 19.878 003°) (photo M. Cieszkowski).

sandberských vrstiev (Devínska Kobyla) a v prietrzských vrstvách karpatského veku východne od Senice (Tetřák, 2017).

V terciérnych sedimentoch Mosteckej panvy a Sokolovskej panvy v Českej republike (obr. 18) sa miestami vyskytujú veľmi pravidelné guľovité útvary veľkosti od niekoľkých milimetrov do dvoch decimetrov. Známe sú ako „vršanské a bílinské koule“ (50,493 6°; 13,532 01° a 50,570 438°; 13,723 959°), populárne najmä medzi ezoterikmi, ktorí im pripisujú liečivé účinky. Ide o mierne zónálne konkrécie pyritu a markazitu vznikajúce v piesčitých sedimentoch (Zimák et al., 1992; Bartoš et al., 1996).

Pieskovcovým konkréciám z neogénnych sedimentov Slovenska sú vzhľadom a geneticky podobné pieskovcové

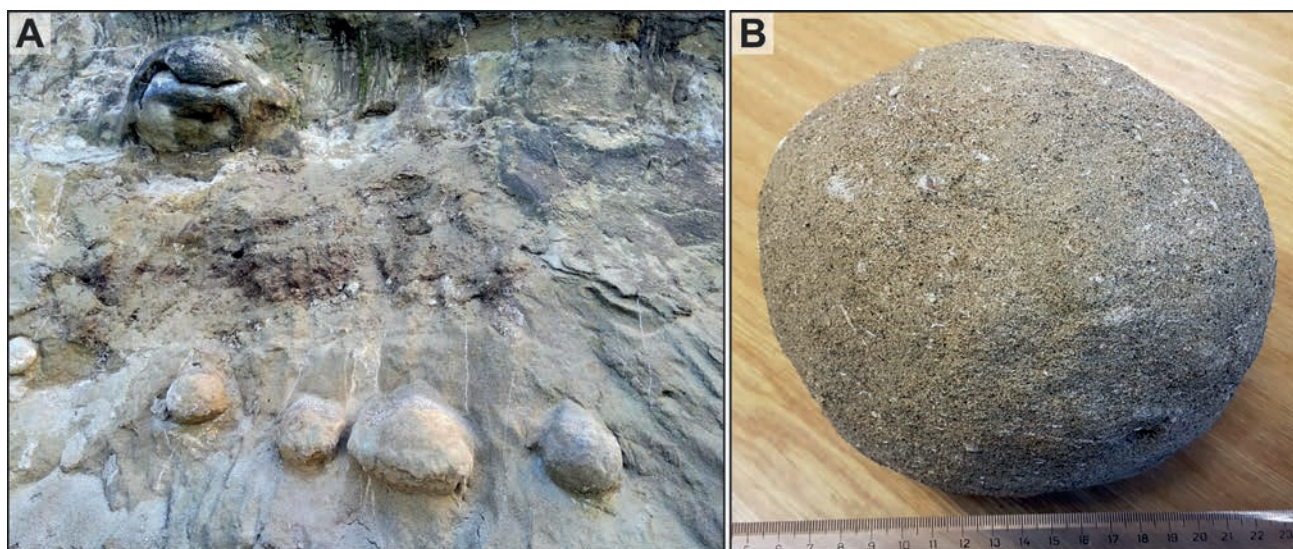
konkrécie rozmanitých tvarov stmelené kalcitom v Taliansku, napr. v oblasti Bolone (rezervácia Contrafforte Pliocenico), tzv. *botroidi* alebo *cogoli*. Vyskytujú sa v rôznych syntektonických sedimentoch eocénného až pliocénneho veku (Cibin et al., 1993). Vápnik v nich pochádza z klastov vápencov a zo schránok mäkkýšov a foraminifer. Menšie konkrécie sa zvetrovaním dostávajú na povrch v stovkách kusov a majú rozmanité zoomorfné a antropomorfné tvary, čo v ľuďoch v minulosti prebúdzalo záujem a fantáziu. Sú vystavené v Museo dei Botroidi di Luigi Fantini v dedine Tazzola, špeciálne venovanom botroidom (44,333 889°; 11,381 771°). Podobné avantgardné sochy pripomínajúce konkrécie známe ako „gogotte“ vyvetrávajú z vrchnooliocénnych kremitých pieskovcov Fontainebleau v okolí

Fontainebleau vo Francúzsku (Thiry, 1999; Thiry et al., 2013).

Asi najvýznamnejším výskytom pieskovcových konkrécií v Európe sú *Boules de Rosans* z Francúzska z lokality Serre d'Autruy pri Saint-André-de-Rosans v Hautes Alpes (44,381 142°; 5,526 987° a 44,377 5398°; 5,520 312 5°), ale napr. aj zo Saint-Étienne-les-Orgues (44,028 071°; 5,758 682°). Väčšie množstvo konkrécií guľovitého tvaru s priemerom okolo jedného metra sa vyskytuje v glaukonitových pieskovcoch uložených z gravitačných prúdov

vo vokontskom bazéne. Vrstvy pieskovcov tvoria vložky v monotónnych slieňovcoch *Blue Marls Formation* albského veku (Thomas, 2016; Ferry, 2017).

Veľké, takmer sférické, karbonátom stmelené pieskovcové konkrécie sa vyskytujú na pobreží južného Anglicka východne od Osmington Mills (50,632 349°; -2,369 787°). Skorá litifikácia pomohla zachovať charakteristické šikmé zvrstvenie pieskovca. Konkrécie obsahuje horizont *Bencliff Grit* súvrstvia *Corallian Formation* zastúpený sedimentmi intertidálnej zóny oxfordského veku (Sellwood et al., 1990).



Obr. 17. A. Parciálna sférická litifikácia neogénnych pieskovcov v pieskovni v Lipovanoch (48,214 170°; 19,709 228°) (foto P. Ondrus, stav v roku 2018); B. „guľa“ z Lipovian v zbierke ŠGÚDŠ.

Fig. 17. A. Partial spherical lithification of Neogene sandstones in the abandoned Lipovany sandpit (48.214 170°; 19.709 228°) (photo P. Ondrus, state in 2018); B. sphere from Lipovany in the collection of ŠGÚDŠ.



Obr. 18. Výber zo svetových výskytov sférických horninových útvarov.

Fig. 18. A sample of the world's spherical rock formations occurrences.

Väčšie septáριοvé konkrécie vystupujú na viacerých lokalitách Anglicka, napr. v strednojurských (bat) ílovcach riečno-deltového pôvodu súvrstvia Scalby Fm. Long Nab Mb. v okolí Burniston Bay pri Scarborough (Slater et al., 2017; približne 54,327 458°; -0,420 135°).

Decimetrové až viac ako 2 m veľké pieskovcové vajcovité konkrécie stmelené kalcitom sa nachádzajú aj na škótskom ostrove Eigg (56,922 811°; -6,158 168°) a Sky (Valtos – približne 57,607 613°; -6,170 388°) v strednojurských (bat) estuáriových pieskovcoch *Valtos Sst. Fm.* (Wilkinson, 1993, 2006; Hudson et al., 2023; Paxton et al., 2023).

Z Európy sú známe najmä kamenné gule z Bosny. Na mnohých lokalitách sa tu vyskytuje celkovo niekoľko desiatok „gúl“. Ich najväčšia koncentrácia s viac ako 20 „gulami“ s veľmi pravidelným guľatým tvarom je v okolí mesta Zavidovići (44,454 625°; 18,175 121°). Dosahujú priemer až do 2,5 m. Desiatky „gúl“ v minulosti v Bosne zničili miestni obyvatelia kvôli povere o zlate v ich strede.

Niekoľko pieskovcových „gúl“ sa našlo aj v severovýchodnom Chorvátsku pri meste Ludbreg (vystavené sú v parku: 46,251 033°; 16,618 748°). Vznikli ako konkrécie v pieskoch sedimentujúcich v Panónskom jazere pred 11 miliónmi rokov (Banak et al., 2019).

V Rumunsku sa na viacerých lokalitách vyskytujú pieskovcové konkrécie stmelené uhličitanom vápenatým. Ich miestny názov je „*rovanți*“. Vyvinuli sa v miocénnych (panónskych) pieskoch v predpolí Karpát. Najznámejšie miesta ich výskytu sú Costești (45,137 650°; 24,068 821°), Breaza (45,159 921°; 25,662 199°), Ulmet (Babele de la Ulmet, Bozioru) (45,368 566°; 26,464 624°), ale aj ďalšie, napr. Odăile (45,384 224°; 26,522 157°), Cozieni (45,353 32°; 26,500 802°), Sibiu (45,790 725°; 24,314 937°) a Onești (46,278 193°; 26,799 933°). Vyskytujú sa v nodulárnych, guľovitých, elipsoidných či diskových tvaroch s rozmermi od pár centimetrov až do niekoľko metrov. Zaujímavosťou je, že z konkrécií dlhší čas vystavených dažďu sa vylučuje cement a na povrchu sa objavujú malé výrastky, ktoré miestni obyvatelia nazývajú „rastúce kamene“. Na viacerých lokalitách sú vybudované múzeá a náučné chodníky.

Guľovitým konkréciám z Hruština sú podobné výskyty z mnohých ďalších svetových lokalít. Početnosťou, veľkosťou, zachovaním a tvarom je svetovo asi najvýraznejšia lokalita v západnom Kazachstane (angl. *Ball valley*, rus. *Долина шаров*, kaz. *Шарлар аңғары*; najmä 44,322 593°; 51,599 454°, v oblúku minimálne od 44,275 889°; 51,520 079° do 44,295 435°; 51,838 955°). Na púšti sa na ploche niekoľko štvorcových kilometrov nachádzajú až tisíce veľkých pieskovcových konkrécií paleogénneho veku s priemerom bežne 1,5 až 3 m (Dieterich et al., 2015, s. 85). Na mnohých konkréciách je zreteľná laminácia sedimentu alebo sa z ich povrchu odlupuje škrupina.

V oblasti Ruska je evidovaných viacero menších výskytov väčších sférických konkrécií, no bez dostupného podrobnejšieho geologického výskumu. V starej pieskovni pri Žukovlyane v Kirovskej oblasti sa v permských

pieskovcoch vyskytujú *Zhukovlyanskie Boulders* (Жуковлянские Валуны) (58,304 497°; 48,014 239°). Ďalšie pieskovcové konkrécie sú v rokline pri dedine Jašauche (Яшауче) v Tatárskej republike, známe ako Staroveké balvany (Древние валуны) (54,927 005°; 51,472 229°). Niekoľko sférických železitých pieskovcových, niekedy dutých konkrécií tzv. *Volgograd balls* sa vyskytuje v rokline pri dedine Mokрая Olchovka (50,499 475°; 44,977 463°). Ďalšie výskyty sú v Čečensku (Argunská rokline) a v Dagestane.

Podobná lokalita rozkladajúca sa na púšti je pri jazere El Faiyum v Egypte (29,502 136°; 30,551 416°). Stovky veľkých guľovitých konkrécií vyvetrávajú z hrubozrnných, šikmo laminovaných pieskovcov morského pôvodu súvrstvia *Birket Qarun* priabónskeho veku (Seiffert et al., 2008; Kusky et al., 2011; Abdel-Fattah, 2016; Al-Dhwadi a Sallam, 2019). Rozmanité, zatiaľ bližšie nepreskúmané konkrécie *Valley of the Planets* sa uvádzajú z Líbyjskej púšte východne od Ghatu (približne 25,176 435°; 10,821 453°).

Ďalšie veľmi pravidelne tvarované hladké gule sú známe zo Zeme Františka Jozefa. Gule z ostrova Champ sú väčších rozmerov a dosahujú aj vyše 2 m. Na susednom ostrove Heiss sa vyskytuje množstvo menších „gúl“ s priemerom len niekoľko centimetrov. Gule tvorí pieskovec a pôvodom sú to konkrécie. Konkrécie s priemerom 5 až 30 cm sa bežne vyskytujú v morskej sekvencii tmavého prachovca bohatej na uhlík s tenkými pieskovcovými vrstvami súvrstvia *Carolinefjellet* kriedového (aptsko-albského) veku na pobreží Kapp Morton na Špicbergoch (Krajewski a Luks, 2003; 77,789 555°; 14,896 808°).

Na východnom pobreží Grónska v jurských sedimentoch vystupuje niekoľko horizontov so sférickými konkréciami (Surlyk et al., 2021). Dokonale tvarované gule sa vyskytujú aj na severozápadnom pobreží Kanady od lokalít Paulatuk a Pond Inlet po Coral Harbour. Pôvodom sú to tiež pieskovcové konkrécie, napríklad aj v Kettle Point na brehu Hurónskeho jazera (43,212 465°; -82,022 755°) v devónskom *Kettle Point Formation* (Bingham-Koslowski, 2015). V Alberte v Kanade (49,654 221°; -110,863 859°) zvetrávajú zo sivých bridlíc *Bearpaw Formation* kampánskeho veku desiatky pieskovcových konkrécií *Red Rock Coulee* veľkých 1,5 až 2,5 m (Tsujita, 1995). Jedny z najväčších konkrécií vôbec vytvárajú kaskády Grand Rapids na rieke Athabasca v Alberte (Kanada; 56,326 422°; -112,612 211°). Vo veľkom množstve vyvetrávajú z kriedových (albských) morských pieskovcov facií *nearshore* až *upper shoreface* súvrstvia Grand Rapids (Kramers, 1982). Konkrécie nazývané *Thunder Egg* veľké od 10 do 40 cm vyvetrávajú z piesku, ktorý vznikol ako jazerno-riečna naplavenina toku vytekajúceho z ustupujúceho ľadovca po poslednej ľadovej dobe západne od Haines Junction (Yukon, Kanada) (60,789 419°; -137,762 681°).

Väčšie pieskovcové konkrécie sa objavujú v oblasti od Newton po White county v Arkansase. Označujú sa *Prim Rocks* (napr. ako dekorácie pri domoch v Prim: 35,694 471°; -92,112 632° a 35,694 622°; -92,108 768° a 35,688 272°; -92,108 416°). Konkrécie sa vyskytujú vo

viacerých úrovniach pieskovcov ako *Middle Bloyd Sst.*, *Bloyd Fm.* a *Prairie Grove Mb.* *Hale Fm.* karbónskeho (pensylvánskeho) veku. Sedimentovali v delťovom prostredí (Hanson a Howard, 2005).

Obrovské guľovité konkrécie (niektoré s priemerom takmer 6 m) sa vyskytujú na dvoch lokalitách v strednom Kansase v korytových fluviálnych albsko-cenomanských pieskovcoch súvrstvia *Dakota Formation*. Konkrécie vytvárajúce v Rock City Park menšie kamenné mesto (39,090 853°; –97,735 455°). Zaujímavé sú svojimi rozmermi a výrazným šikmým zvrstvením pieskovcov (McBride a Milliken, 2006).

Turisticky vyhľadávaná lokalita veľkých konkrécií v pieskovcoch je *Cannonball Concretions* v Severnej Dakote (Theodore Roosevelt National Park, 47,596 326°; –103,331 989°). Ďalšie veľké, prevažne septáριοvé konkrécie s veľkosťou v priemere 2 cm až 6 m vyvetrávajú z vápnitých šelfových pieskovcov *Frontier Sst.* z *Frontier Fm.* a *Ferron Sst.* z *Mancus Fm.* cenomanského až turónskeho veku (Wyoming a Utah) uložených v strednej kriede (McBride et al., 2003).

Sférické konkrécie z Ohia dosahujú priemer od pár centimetrov až do výše 3 m. Zvetrávajú z tmavosivých až čiernych bridlíc (*Ohio Shale*) devónskeho veku. Menšie sú pravidelne guľaté, väčšie sú sploštené až diskovité. Tvorí ich karbonát, vápenec alebo dolomit. Môžu mať vyvinuté aj septáριοvé praskliny vyplnené kalcitom a barytom. V jadre konkrécií bývajú organické úlomky, zvyčajne kosti rýb. Vyskytujú sa jednotlivo aj v desiatkach kusov na mnohých miestach, väčšinou v riekach v Ohio (napr. 39,573 179°; –83,126 264°; Hansen, 1994). Väčšie konkrécie je možné nájsť aj v ďalších oblastiach, napr. v ílovcovo-vápencovom *Fort Payne Fm.* veku spodný misisip (Kentucky a Tennessee – 36,799 667°; –85,382 961°), v glaukonitových pieskoch spodnoeocénného *Bashi Fm.* (Mississippi – Meridiad – 32,347 554°; –88,710 888°), v devónskych slieňoch *Genesee Fm.* (New York – 42,540 157°; –76,525 781°; Wilson a Schieber, 2015) a vo vrchnokriedových plážových a bariérových pieskovcoch *Eagle Fm.* (Montana – Billings – 45,797 425°; –108,486 195° a 45,799 888°; –108,478 431°; Shelton, 1965).

Stovky pieskovcových konkrécií veľkých asi 30 až 100 cm sú aj na púšti v Pumpkin Patch (Tekvicový záhon) v Anza Borrego Desert State Park na juhu Kalifornie (37,683 3°; –111,366 7°).

Skupina menších pieskovcových konkrécií z triasového súvrstvia *Ischigualasto* je v parku Ischigualasto v Argentíne (–30,117 423°; –67,901 898°).

Iným typom konkrécií sú železité konkrécie. Státisíce menších, len niekoľko centimetrov veľkých železito-pieskovcových konkrécií *Moqui Marbles* (*Navajo Marbles*) sa objavuje na mnohých miestach na juhovýchode Utahu po zvetrávaní pôvodom púštnych spodnojurských pieskovcov súvrstvia *Navajo* (napr. Spencer Flat 37,671 819°; –111,387 688°). Pieskovcové jadro je obalené tvrdšou škru-pinou z hematitu (Potter a Chan, 2011; Loope a Kettler,

2019; Katsuta et al., 2023). Podobné železité konkrécie s priemerom do 25 cm možno nájsť aj v Západných Karpatoch v kontinentálnych sedimentoch rétskeho veku tomanovských vrstiev tatrika. Sfériosideritové konkrécie vznikli v dôsledku skorej diagenetickej precipitácie sideritu v sedimentoch nasýtených vodou bohatých na organickú hmotu (Nejbert a Jurewicz, 2004).

Špecifickým typom konkrécií sú septáριοvé konkrécie. Vystupujú napr. na Bowling Balls Beach na pobreží Atlantického oceánu v Kalifornii (38,872 263°; –123,659 815°). Podobné guľovité septáριοvé konkrécie sú známe z rôznych miest, napr. na Novom Zélande (*Moeraki Boulders* –45,345 448°; 170,826 508°; *Katiki Boulders* –45,415 419°; 170,824 323°; *Ward Beach Boulders* –41,841 891°; 174,188 045°; *Koutu Boulders* –35,465 829°; 173,416 877°), kde sa vyskytujú pozdĺž pobrežia aj vo vnútrozemí. Gule dosahujú veľkosť od 0,5 do 3 m. Vznikli ako septáριοvé konkrécie v mäkkom paleocénnom bahnovci. Konkrécie sú typicky rozpraskané a vnútri slabšie litifikované než na povrchu (Boles et al., 1985; Thyne a Boles, 1989; Yoshida et al., 2020). Vo vnútrozemí Severného ostrova na Novom Zélande na lokalite *Whitecliffs Boulders* (–39,845 212°; 175,770 385°) sa nachádzajú desiatky pravidelne guľovitých pieskovcových konkrécií veľkých 1 až 2 m. Sú to pieskovcové konkrécie (nie septáριοvé) zvetrávajúce z modrosivých neskoropleistocénnych šelfových siltovcov *Mangaweka Mudstone* (Journeaux et al., 1996; Hayward, 2021).

Selektívne zvetrávanie pestro sfarbených klastických hornín bizarných tvarov vrátane konkrécií v aridnom prostredí je možné sledovať v oblasti Bisti Badlands v Novom Mexiku (36,267 381°; –108,223 705°). Ďalšie nepravidelne tvarované konkrécie vo vápnitých pieskovcoch sú lákadlom geoparku Yehliu na severnom pobreží Taiwanu (25,208 688°; 121,693 06°) (Cheol-Woong, 2014).

Na mnohých miestach po svete sa objavujú lokality s výskytom sférických útvarov aj iného než sedimentárneho pôvodu. Z mexického Las Piedras Bola (20,653 700°; –104,057 346° a 20,657 542°; –104,062 610°) je známych 74 „guľ“ s priemerom od 1,2 do 7,8 m. Vznikli pri transporte a tuhnutí terciárnych ryolitových pyroklastických prúdov (Girón a Avila, 2007).

Úplne inú genézu majú austrálske *Karlu Karlu* (Devils Marbles: –20,565 147°; 134,260 375°), ktoré vznikli sféroidickým podpovrchovým a povrchovým zvetrávaním granitov (Twidale a Vidal-Romani, 2005). Podobným spôsobom vznikli početné balvanovité útvary permských biotitických granitov v Dobrudži v Rumunsku (45,243 704°; 28,197 875°) (Vasile a Vespremeanu-Stroe, 2016) a magmatitov v moldanubiku v Českej republike (Bumba, 2015). Na niektorých balvanoch magmatických hornín trebičského masívu typu durbachit (syenit) so svetlými výrastlicami draselných živcov je možné pozorovať cibulovité odlupovanie povrchových vrstiev, tzv. exfoliáciu (obr. 19). Sféroidické zvetrávanie sa okrem magmatických hornín vyskytuje napr. aj v prípade pelitov, pelosideritov, bazaltov a gabra.

Obr. 19. Časť z 33 sféricky zvetrávajúcich balvanov porfýrického syenitu s exfoliačnými vrstvami pri kamenárstve v Rakovej, pochádzajúcich pravdepodobne z Francúzska (49,447 125°; 18,735 355°).

Fig. 19. Part of 33 spherically weathered boulders of porphyritic syenite with exfoliation layers at the stonemasonry in Raková, probably from France (49.447 125°; 18.735 355°).



Na viacerých lokalitách sa v minulosti zvažovalo, či pôvod gúl nie je antropogénny. Existujú však aj kamenné gule dokázateľne antropogénneho pôvodu, ktoré predstavujú ľudské artefakty vyrobené z prírodného kameňa. Asi najznámejší príklad je na juhu Kostariky. Nachádza sa tam viac než päťsto gúl s priemerom od 10 do 250 cm s takmer dokonale guľatým tvarom. Sú antropogénneho pôvodu ešte z predkolumbovského obdobia (Quintanilla, 2007; Amador a Alfaro, 2014). Pozoruhodné je, že ich autori vytesali bez poznania kovových nástrojov. Boli vytvorené z granodioritu, gabra, vápenca a pieskovca. Podobné kamenné gule boli objavené pri výstavbe priehrady Cuji západne od mesta Onoto vo Venezuele (9,603 483°; -65,218 677°).

Zo Škótska, Írska a Veľkej Británie je známych viac než 400 *Carved stone balls* antropogénneho neskoroneolitického pôvodu s neznámym účelom veľkých zhruba 7 cm, pestro tvarovaných rytím (Stewart-Moffitt, 2022). V Tunise v starom Kartágu sú pravdepodobne antropogénne vápencové gule. Niekoľko „gúl“ antropogénneho pôvodu je napr. aj na Veľkonočnom ostrove. Ďalšie gule alebo skôr megality sú známe z Turecka, Francúzska a iných oblastí.

Záver

Počas terénnych prác pri geologickom mapovaní Oravskej Magury boli v oblasti Hruština pozorované výskytu pieskovcových „gúl“ na primárnych aj sekundárnych lokalitách. Výskum sa realizoval v rámci skúmania a geologického mapovania širšej oblasti Oravskej Magury, preto umožnil preskúmať širšiu oblasť rozšírenia malcovského súvrstvia. Výsledkom výskumu bola dokumentácia všetkých známych pieskovcových „gúl“ z okolia Hruština so zaznamenaním ich rozmerov, charakteru výskytu (primárny/sekundárny) a pozície (pevná čiže spojená s materskou horninou alebo voľná), opis tvaru, fotodokumentácia a lokalizácia výskytu (súradnice WGS84). Bolo

zdokumentovaných 58 pieskovcových „gúl“ s priemerom od 30 do 220 cm. Menšie sú zvyčajne pravidelne guľaté. Pri väčších prevláda sploštený elipsoidný až vajcovitý tvar.

Pieskovcové guľovité útvary z oblasti Hruština vznikli ako konkrécie, čiže ako výsledok preferenčnej cementácie (vyzrážania kalcitu) vo vrstve. Mohli byť vytvorené v počiatočnej fáze diagenézy horniny. Ich tvorba sa neviaže na súvrstvie všeobecne, ale na konkrétny litotyp prevažne stredozrnných kremitejších drobových pieskovcov. Tieto pieskovce tvoria pravdepodobne jediný horizont v nižšej časti súvrstvia. Je to horizont najmenej 10 vrstiev masívnych pieskovcov hrubých 30 až 80 (150) cm. Sú vápnité, kremité, drobové, stredozrnné, zriedka jemno- až hrubozrnné. Odkryté sú len na niekoľkých miestach v Hruštinskej kotline. Gule z Podbiela majú podobnú genézu, no sú to septáριοvé konkrécie.

Gule premiestnené k domom v Hruštine v minulosti neplnili iba estetický účel, ale chránili rohy domov a brány pred poškodením od vozov. Pravdepodobne mali chrániť aj domy a záhradky pred drevom ťahaným v zime po ceste.

Súčasťou výskumu bola sumarizácia oblastí svetového výskytu fenoménu sférických horninových útvarov/gúl so zameraním najmä na konkrécie a porovnanie s výskytmi pri Hruštine. Zistilo sa viac než 60 porovnateľných oblastí výskytu. Z toho vyplýva, že tento fenomén nie je taký zriedkavý, ako sa uvádza v popularizačnej literatúre, no analogicky možno vyvodiť, že fenomén pieskovcových „gúl“ z Oravy má výrazný potenciál stať sa geoturistickou atrakciou. Väčšina svetových výskytov je nejakou formou chránená a má vybudovanú infraštruktúru na geoturistiku. Súčasná koncentrácia a zachovanie „gúl“ v obci a na primárnych lokalitách je dostatočná a vhodná na vytvorenie náučných chodníkov. Propagácia tohto geologického javu v spojení s nutnou a vhodnou ochranou má potenciál zvýšiť povedomie a záujem verejnosti o geológiu.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol s finančnou podporou geologickej úlohy Ministerstva životného prostredia SR č. 02 20 *Geologická mapa Oravskej Magury v mierke 1 : 50 000*.

Literatúra

- Abdel-Fattah, Z., 2016: Facies Transition and Depositional Architecture of the Late Eocene Tide-Dominated Delta in Northern Coast of Birket Qarun, Fayum, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 119, 185 – 203. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.04.004>.
- Al-Dhwadi, Z. a Sallam, E. S., 2019: Spheroidal “Canonballs” calcite-cemented concretions from the Faiyum and Bahariya depressions, Egypt: evidence of differential erosion by sand storms. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 2 291 – 2 293. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01753-3>.
- Amador, J. A. a Alfaro, E. J., 2014: Weather and climate socio-economic impacts in Central America for the management and protection of world heritage sites and the Diquis Delta culture in Costa Rica (a case study). *Adv. Geosci.*, 35, 157 – 167. <https://doi.org/10.5194/adgeo-35-157-2014>.
- Banak, A., Belak, M., Grizelj, A. a Hajek-Tadesse, V., 2019: Izvješće o sedimentološko-paleontološko-mineraloškim analizama za centar za kulturu i informiranje u Ludbregu. *Zagreb, Croatian geological survey*, 22 s.
- Bartoš, P., Šulcek, P. a Řehoř, M., 1996: Geneze, morfologie, mineralogické složení a stratigrafická pozice výskytu sulfidických kongregací na lokalitě Vršany. *Zpravodaj Hnědé uhlí (Most)*, 1/96, 51 – 59.
- Bingham-Kosłowski, N. E., 2015: High resolution stratigraphy and paleoenvironmental reconstruction of the Upper Devonian Kettle Point Formation, southwestern Ontario, Canada. PhD. thesis. The University of Western Ontario, 235 s.
- Bizubová, M., 2008: Kamene, edícia: Prírodné Krásy Slovenska. Bratislava, Dajama, 128 s.
- Boles, J. R., Landis, C. A. a Dale, P., 1985: The Moeraki Boulders – Anatomy of some septarian concretions. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 55, 3, 398 – 406. <https://doi.org/10.1306/212F86E3-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Bóna, J., Kováčik, M. a Kobulský, J., 2005: Výskyt obrených závalkov v recentnom fluvialnom prostredí pri Mrázovciach (východné Slovensko). *Mineralia Slovaca*, 37, 335 – 337.
- Bridge, J. a Demicco, R., 2008: Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits. Cambridge, 815 s.
- Bubík, M., Gilíková, H., Otava, J., Tomanová Petrová, P., Švábenická, L. a Vít, J., 2019: Nové poznatky o terciéru a kvartéru získané geologickým mapovaním okolí Lipníka nad Bečvou. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 26, 1 – 2, 7 – 15. <https://doi.org/10.5817/GVMS2019-1-2-7>.
- Bumba, T., 2015: Geomorfologická analýza vybraného území trebičského masivu. Diplomová práce. Manuskript. Brno, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav, 103 s.
- Cibin, U., Cavazza, W., Fontana, D., Milliken, K. L. a McBride, E. F., 1993: Comparison of composition and texture of calcite-cemented concretions and host sandstones, Northern Apennines, Italy. *Journal of Sedimentary Research*, 63, 5, 945 – 954. <https://doi.org/10.1306/D4267C4E-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Cieszkowski, M., Golonka, J., Krobicki, M., Ślaczka, A., Oszczypko, N., Waśkowska, A. a Wendorff, M., 2009: The Northern Carpathians plate tectonic evolutionary stages and origin of olistoliths and olistostromes. *Geodinamica Acta*, 22, 1 – 3, 101 – 126. <https://doi.org/10.3166/ga.22.101-126>.
- Collinson, J., Mounney, J. N. a Thompson, D., 2006: Sedimentary Structures. 3rd Edition. Terra Publishing, England, 292 s.
- Dieterich, T., Pestov, M., Sklyarenko, S., Plakhov, K. a Astafiev, A., 2015: Predvariteľný výbor potencionálnych klasterov dľa nominovania na status objektu vsemirnogo prirodneho nasledia JUNESKO v Mangistauskoj oblasti, Kazachstan. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12132.53126>.
- Ferry, S., 2017: Summary on Mesozoic carbonate deposits of the Vocontian Trough (Subalpine Chains, SE France). In: Granier, B. (ed.): Some key Lower Cretaceous sites in Drôme (SE France). Madrid, Carnets de Géologie, 9 – 42.
- Hudson, J. D., Paxton, R. B., Andrews, J. E., Dennis, P. F. a Marca, A. D., 2023: Classic Scottish sandstone concretions formed from hot water. *Geology Today*, 39, 6, 231 – 235. <https://doi.org/10.1111/gto.12455>.
- Girón, V. M. C. a Avila, C. D. A., 2007: Gestión para la sustentabilidad del área natural Piedras Bola, Ahualulco de Mercado, Jalisco. Universidad de Guadalajara y Ayuntamiento de Ahualulco de Mercado, 266 s.
- Golonka, J. a Waśkowska-Oliwa, A., 2007: Stratygrafia polskich Karpat fliszowych pomiędzy Bielskiem-Białą a Nowym Targiem. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 5 – 27.
- Gross, P., 1977: Particular armoured mud balls in Central-Carpathian Paleogene of Liptovská kotlina (depression). *Geologické práce, Správy*, 68, 91 – 98.
- Gross, P., Köhler, E. (eds.), Biely, A., Franko, O., Hanzel, V., Hricko, J., Kupčo, G., Papšová, J., Priehodská, Z., Szalaiová, V., Snopková, P., Stránska, M., Vaškovský, I. a Zbořil, L., 1980: Geológia Liptovskej kotliny. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra, 242 s.
- Hansen, M. C., 1994: Ohio Shale Concretions. Ohio Division of Geological Survey GeoFacts, 4, 1 – 2.
- Hanson, W. a Howard, J., 2005: Spherical boulders in North-Central Arkansas. Arkansas geological commission, Little Rock, 16 s.
- Hayward, B. W., 2021: Whitecliffs Boulders. A place to visit in the Rangitikei. *Geoscience society of New Zealand, Newsletter*, 34, 44 – 46.
- Hók, J., Pelech, O., Teťák, F., Németh, Z. a Nagy, A., 2019: Outline of the geology of Slovakia (W. Carpathians). *Mineralia Slovaca*, 51, 31 – 60.
- Cheol-Woong, P., 2014: A study on the geomorphic features of the Yehliu Geopark, Taiwan. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 21, 1, 1 – 16. <https://doi.org/10.16968/JKGA.21.1.1>.
- Jackson, J. A., 2005: Glossary of Geology (Fifth Edition). American Geological Institute.
- Journeaux, T. D., Kamp, P. J. a Naish, T., 1996: Middle Pliocene cyclothems, Mangaweka region, Wanganui Basin, New Zealand: A lithostratigraphic framework. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39, 1, 135 – 149. <https://doi.org/10.1080/00288306.1996.9514700>.
- Katsuta, N., Sirono, S., Umemura, A., Kawahara, H., Masuki, Y., Yoshimizu, Ch., Tayasu, I., Murakami, T. a Yoshida, H., 2023: Rhythmic iron-oxide bands of Navajo Sandstone concretions and Kimberley banded claystone: Formation process and buffering reaction rate by diagenetic alteration. *Sedimentology*. <https://doi.org/10.1111/sed.13135>.
- Kováčik, M. (ed.), Bóna, J., Gazdačko, L., Kobulský, J., Maglay, J., Žecová, K., Derco, J., Zlinská, A., Siráňová, Z., Boorová, D., Bónová, K., Buček, S., Kucharič, L., Kubeš, P., Bačová,

- N., Petro, E. a Vaněková, H., 2012: Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkyh Beskýd-západná časť v mierke 1 : 50 000. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 180 s.
- Kováčik, M., Kohút, M., Havrila, M., Boorová, D., Filo, I., Sentpetery, M., Laurinc, D., Olšavský, M., Maglay, J., Nagy, A., Šimon, L., Kollárová, V., Kováčiková, M., Baráth, I., Žecová, K., Zlinská, A., Černák, R., Kordík, J., Šoltés, S., Kucharič, E., Liščák, P. a Gluch, A., 2015: Vysvetlivky ku geologickej mape Žiaru 1 : 50 000. Bratislava, MŽP SR a Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 420 s.
- Krajewski, K. P. a Luks, B., 2003: Origin of "cannon-ball" concretions in the Carolinefjellet Formation (Lower Cretaceous), Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 24, 3 – 4, 217 – 242.
- Kramers, J., 1982: Grand Rapids Formation, North-Central Alberta: An Example of Nearshore Sedimentation in a High Energy, Shallow, Inland Sea: Abstract. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin*, 66, 5, 589 – 590. <https://doi.org/10.1306/03B59EC7-16D1-11D7-8645000102C1865D>.
- Krist, E. a Krivý, M., 1985: *Petrológia*. Bratislava, ALFA, 464 s.
- Kukal, Z., 1986: *Základy sedimentologie*. Praha, Academia, 466 s.
- Kusky, T., Ramadan, T., Hassaan, M. a Gabr, S., 2011: Structural and Tectonic Evolution of El-Faiyum Depression, North Western Desert, Egypt Based on Analysis of Landsat ETM+, and SRTM Data. *Journal of Earth Science*, 22, 1, 75 – 100. <https://doi.org/10.1007/s12583-011-0159-8>.
- Leško, B., 1960: Magurský flyš na sever od Vihorlatu a Popričného. *Geologické práce, Zošit*, 18, 5 – 29.
- Leško, B. (ed.), Began, A., Franko, O., Kvitkovič, J., Kuthan, M., Seneš, J. a Zorkovský, B., 1964: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000, list M-34-XXIX Snina. Bratislava, ÚÚG, 132 s.
- Leško, B. a Samuel, O., 1968: *Geológia východoslovenského flyšu*. Bratislava, Veda, vydavateľstvo SAV, 245 s.
- Loope, D. B. a Kettler, R. M., 2019: Rindred iron-oxide concretions in Navajo Sandstone along the trail to Upper Calf Creek Falls, Garfield County. In: Milligan, M., Biek, R. F., Inkenbrandt, P. a Nielsen, P. (eds.): *Utah Geosites: Utah Geological Association Publication*, 48, 7 s. <https://doi.org/10.31711/geosites.v1i1.59>.
- McBride, E. F., Picard, M. D. a Milliken, K. L., 2003: Calcite-Cemented Concretions in Cretaceous Sandstone, Wyoming and Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, 73, 3, 462 – 483. <https://doi.org/10.1306/111602730462>.
- McBride, E. a Milliken, K. L., 2006: Giant calcite-cemented concretions, Dakota Formation, central Kansas, USA. *Sedimentology*, 53, 5, 1 161 – 1 179. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00813.x>.
- Middleton, G. V., Church, M., Coniglio, M., Hardie, L. a Longstaffe, F., 2003: *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*. Kluwer academic publishers, 821 s. <https://doi.org/10.1017/S0016756804250014>.
- Mišík, M. a Reháková, D., 2004: Psefitické horniny (štrky, brekie, zlepenice) Západných Karpát. Bratislava, Veda, vydavateľstvo SAV, 128 s.
- Molina, J. M. a Reolid, M., 2024: Barite septarian concretions in the Albian (Cretaceous) of the Subbetic (Southern Spain). *Journal of Iberian Geology*, 50, 431 – 448. <https://doi.org/10.1007/s41513-024-00256-8>.
- Nejbert, K. a Jurewicz, E., 2004: Mineralogy and petrography of the ferruginous concretions from siliciclastic Rhaetian deposit, Tatra Mountains, Poland. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne*, 24, 299 – 302.
- Paxton, R. B., Dennis, P. F., Marca, A. D., Hendry, J. P., Hudson, J. D. a Andrews, J. E., 2021: Taking the heat out of British Jurassic septarian concretions. *Depositional Rec.*, 7, 333 – 343. <https://doi.org/10.1002/dep2.139>.
- Paxton, R. B., Andrews, J. E., Dennis, P. F., Marca, A. D. a Holmden, Ch., 2023: Concretionary cementation of a Scottish Middle Jurassic sandstone by hot, Paleocene fluids: a clumped isotope study. *Journal of the Geological Society*, 188, 1 – 15. <https://doi.org/10.1144/jgs2022-175>.
- Plašienka, D., Aubrecht, R., Bezák, V., Bielik, M., Broska, I., Bučová, J., Fekete, K., Gaži, P., Gedl, P., Golej, M., Halasová, E., Hók, J., Jamrich, M., Józsa, Š., Klanica, R., Konečný, P., Kubiš, M., Madarás, J., Majcin, D., Marko, F., Molčan Matejová, M., Potočný, T., Schlögl, J., Soták, J., Suan, G., Šamajová, L., Šimonová, V., Teták, F. a Vozár, J., 2021: Structure, composition and tectonic evolution of the Pieniny Klippen Belt – Central Western Carpathians contiguous zone (Kysuce and Orava regions, NW Slovakia). Bratislava, Comenius University, 150 s.
- Polák, M., Potfaj, M., Filo, I., Broska, I., Kohút, M., Mello, J., Bezák, V., Teták, F., Gross, P., Biely, A., Rakús, M., Hók, J., Vozár, J., Nagy, A. a Maglay, J., 2008: Prehľadná geologická mapa Slovenskej republiky 1 : 200 000, list 26 – Žilina. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.
- Potfaj, M., 1983: Postavenie magurských pieskovcov a malcovské vrstvy na Orave. *Geologické práce, Správy*, 79, 117 – 140.
- Potfaj, M., Haško, J., Gašpariková, V., Snopková, P. a Samuel, O., 1981: Čiastková záverečná správa – Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 25 000, list 26-411 (Trstená). Manuskript. Bratislava, archív Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 51 s.
- Potfaj, M., Samuel, M., Raková, J. a Samuel, O., 1991: Geologická stavba Kubínskej hole (Orava). *Západné Karpaty, séria Geológia*, 15, 25 – 66.
- Potfaj, M., Maglay, J., Šlepecký, T. a Teták, F., 2002: Geologická mapa regiónu Kysúc 1 : 50 000. Bratislava, MŽP SR – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.
- Potfaj, M. (ed.), Šlepecký, T., Maglay, J., Hanzel, V., Boorová, D., Žecová, K., Kohút, M., Nagy, A., Teták, F., Vass, B., Sandanus, M., Buček, S., Sýkora, M., Köhler, E., Fejdiová, O., Kandra, K., Samuel, O., Bubík, M. a Beleš, F., 2003: Vysvetlivky ku geologickej mape regiónu Kysúc 1 : 50 000. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 193 s.
- Potter, S. L. a Chan, M. A., 2011: Joint controlled fluid flow patterns and iron mass transfer in Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA. 11, 2, 184 – 198. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2011.00329.x>.
- Roth, Z., Cicha, I., Bubík, K., Dvořák, J., Dybówá-Jachowiczová, S., Eliáš, M., Frajová-Eliášová, H., Hanzlíková, E., Jansa, L., Jurková, A., Losert, J., Mencl, V., Menčík, E., Müller, K., Paulík, J., Petrik, F., Pícha, F., Plička, M., Polák, A., Pták, J., Purkyňová, E., Řehoř, F., Řezáč, B., Stehlík, O., Šamalíková, M., Šibrava, D., Šmíd, B., Tomšík, J. a Zeman, J., 1962: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000, M – 34 – XIX Ostrava. Praha, Geofond, 292 s.
- Quintanilla, I., 2007: Esferas precolumbinas de Costa Rica/ Pre-Columbian Spheres of Costa Rica, Fundación Museos del Banco Central de Costa Rica, San José.
- Saleh, F., Clements, T., Perrier, V., Daley, A. C. a Antsliffe, J. B., 2023: Variations in preservation of exceptional fossils within concretions. *Swiss Journal of Palaeontology*, 142, 20. <https://doi.org/10.1186/s13358-023-00284-4>.
- Seiffert, E., Bown, T., Clyde, W. a Simons, E., 2008: Geology, Palaeoenvironment, and Age of Birket Qarun Locality 2 (BQ-2), Fayum Depression, Egypt. In: Fleagle, J. G., Gilbert, C. C.

- (eds.): Elwyn Simons: A Search for Origins. Springer, 71 – 86. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73896-3_8.
- Seilacher, A., 2001: Concretion morphologies reflecting diagenetic and epigenetic pathways. *Sedimentary Geology*, 143, 41 – 57. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00092-6).
- Sellwood, B., Wilson, C. a West, I. M., 1990: Jurassic Sedimentological Congress, August 22-26th, 1990. Field Guide to Dorset and Yorkshire Coast. 89 s. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00092-6).
- Shelton, J., 1965: Trend and Genesis of Lowermost Sandstone Unit of Eagle Sandstone at Billings, Montana. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin*, 49. <https://doi.org/10.1306/A663371E-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
- Slater, S., Wellman, Ch., Romanos, M. a Vajda, V., 2017: Dinosaur-plant interactions within a Middle Jurassic ecosystem – palynology of the Burniston Bay dinosaur footprint locality, Yorkshire, UK. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 98. <https://doi.org/10.1007/s12549-017-0309-9>.
- Stewart-Moffitt, Ch. L., 2022: The Circular Archetype in Microcosm: The Carved Stone Balls of Late Neolithic Scotland. *Archaeopress Archaeology*, 366 s. <https://doi.org/10.32028/9781803271262>.
- Stow, D., 2010: *Sedimentary Rocks in the Field. A Colour Guide*. Fifth impression. London, Manson Publishing, 320 s.
- Surlyk, F., Alsen, P., Bjerager, M., Dam, G., Engkilde, M., Hansen, C., Larsen, F. M., Noe-Nygaard, N., Piasecki, S., Therkelsen, J. a Vosgerau, H., 2021: Jurassic stratigraphy of East Greenland. *Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS Bulletin*, 46, 1 – 116. <https://doi.org/10.34194/geusb.v46.6521>.
- Świdziński, H., 1961: La Série de Richvald dans les Karpates Flyschéuses. *Bull. Acad. Pol. Sci. Sér. Sci. géol. géogr.*, IX, 2, 109 – 119.
- Teťák, F., 2017: Neogene sediments between Podbranč and Hradište pod Vrátnom, Vienna Basin. *Acta Geologica Slovaca*, 9, 1, 1 – 14.
- Teťák, F., 2022: Hruštínske kamenné gule. *Hruštín (obecné noviny)*, 17, 11, 12.
- Teťák, F. (ed.), Kováčik, M., Pešková, I., Nagy, A., Buček, S., Maglay, J. a Vlačíky, M., 2016a: Geologická mapa regiónu Biela Orava v mierke 1 : 50 000. Bratislava, MŽP SR – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.
- Teťák, F. (ed.), Kováčik, M., Pešková, I., Nagy, A., Buček, S., Maglay, J., Vlačíky, M., Laurinc, D., Žecová, K., Zlinská, A., Liščák, P., Marcin, D., Žilka, A., Kucharič, L., Gluch, A. a Baláž, P., 2016b: Vysvetlivky ku geologickej mape regiónu Biela Orava v mierke 1 : 50 000. Bratislava, MŽP SR – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 217 s.
- Teťák, F., Pivko, D. a Kováčik, M., 2019: Depositional systems and paleogeography of Upper Cretaceous-Paleogene deep-sea flysch deposits of the Magura Basin (Western Carpathians). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier, 533, 1 – 21. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109250>.
- Thiry, M., 1999: Diversity of Continental Silicification Features: Examples from the Cenozoic Deposits in the Paris Basin and Neighbouring Basement. *Spec. Publs int. Ass. Sediment.*, 27, 87 – 127. <https://doi.org/10.1002/9781444304190.ch4>.
- Thiry, M., Schmitt, J.-M., Innocent, C. a Cojan, I., 2013: Sables et Grès de Fontainebleau : que reste-t-il des faciès sédimentaires initiaux ? 14ème Congrès Français de Sédimentologie, Paris 2013, Trois excursions géologiques en région parisienne, Livre d'excursions, Publ. ASF, n°74, 37 – 90. <https://doi.org/hal-00906717>.
- Thomas, P., 2016: Les plus belles boules de France: les sphères de grès de Saint-André-de-Rosans, Hautes Alpes. *Planet Terre*. <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/Img553-2016-12-12.xml>.
- Thyne, G. a Boles, J., 1989: Isotopic evidence for origin of the Moeraki septarian concretions, New Zealand. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59, 2, 272 – 279.
- Tsujita, C. J., 1995: Origin of Concretion-Hosted Shell Clusters in the Late Cretaceous Bearpaw Formation, Southern Alberta, Canada. *Palaios*, 10, 5, 408. <https://doi.org/10.2307/3515044>.
- Tucker, M. E., 2001: *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. 3rd Edition. Blackwell, 262 s.
- Twidale, C. R. a Vidal-Romaní, J. R., 2005: *Landforms and Geology of Granite Terrains*. London, CRC Press, 362 s. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1595.6722>.
- Vasile, M. a Vespremeanu-Stroe, A., 2016: Thermal weathering of granite spheroidal boulders in a dry-temperate climate, Northern Dobrogea, Romania. *Earth surface processes and landforms*, Wiley. <https://doi.org/10.1002/esp.3984>.
- Vass, D. a Elečko, M. (eds.), 1992: Vysvetlivky ku geologickej mape Lučenskej kotliny a Cerovej vrchoviny 1 : 50 000. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra, 196 s.
- Wetzel, A. a Bojanowski, M., 2022: Radish concretions grown in mud during compaction. *Sedimentology*, 69, 750 – 774. <https://doi.org/10.1111/sed.12924>.
- Wilkinson, M., 1993: Concretions of the Valtos Sandstone Formation of Skye: geochemical indicators of palaeo-hydrology. *Journal of the Geological Society*, 150, 1, 57 – 66. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.150.1.0057>.
- Wilkinson, M., 2006: The concretions of the Bearreraig Sandstone Formation: geometry and geochemistry. *Sedimentology*, 53, 5, 899 – 912. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb01878.x>.
- Wilson, R. a Schieber, J., 2015: Sedimentary Facies and Depositional Environment of the Middle Devonian Genesee Formation of New York, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, 85, 1 393 – 1 415. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.88>.
- Yoshida, H., Yamamoto, K., Minami, M., Katsuta, N., Sin-ichi, S. a Metcalfe, R., 2018: Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. *Scientific Reports*, 8, 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24205-5>.
- Yoshida, H., Yamamoto, K., Ohe, T., Katsuta, N., Muramiya, Y. a Metcalfe, R., 2020: Diffusion controlled formation of spherical carbonate concretion in muddy sedimentary matrices. *Geochemical Journal*, 54, 233 – 242. <https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0593>.
- Zimák, J., Pek, I., Danko, M. a Tarant, Z., 1992: Markazitové konkrécie z dolu B. Šmeral u Mostu. *Časopis pro mineralogii a geologii (Praha)*, 37, 4, 353.
- Žec, B., Gazdačko, L., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Potfaj, M., Pristaš, J., Žecová, K., Derco, J., Buček, S. a Konečný, P., 2005a: Južná časť regiónu Nízke Beskydy-stredná časť, M 1 : 25 000 (listy 38-112, 38-114, 38-121, 38-122, 38-123, 38-124, 38-211, 38-212, 38-214, 38-223, 38-232, 38-241). Čiastková záverečná správa II. Manuskript. Bratislava, archív Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 92 s.
- Žec, B., Potfaj, M., Gazdačko, L., Kováčik, M., Ďud'a, R., Schlögl, J., Fulín, M., Rakús, M., Žecová, K., Konečný, P., Bónová, K. a Košuth, M., 2005b: Kenozoikum východného Slovenska – Exkurzia B, Exkurzný sprievodca ku kongresu Slovenskej geologickej spoločnosti (Eds.: Žec, B., Repčiak,

M., Kobulský, J. a Petro, L.), Zemplínska šírava – Medvedia hora, 34 – 78.

Žec, B., Gazdačko, L., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Prištaš, J. a Potfaj, M., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Nízke Beskydy – stredná časť 1 : 50 000. Bratislava, MŽP SR – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.

Summary

Several primary and secondary occurrences of sandstone spheres have been identified in the Hruštín village and its surroundings in the northern Slovakia. Their characteristics differ slightly at each of them. In the Hruštín village there are 23 spheres on secondary occurrences along the roadside and in gardens, and one sphere is in the Babin village east of the church. Two spheres are near a private cottage. Another 30 spheres are still on primary occurrences in the vicinity of Hruštín. A total of 58 sandstone spheres have been documented so far (Fig. 7).

The spheres are composed mainly of medium-grained, rarely fine-grained or coarse-grained calcareous quartz-wacke sandstone. A conglomerate fraction was not observed. Diameter of spheres ranges from 30 to 220 cm. The smaller ones are usually regularly spherical in shape. The larger ones are predominantly flattened ellipsoidal to ovoid in shape. In several cases, only part of the sphere is preserved. The surface is usually smooth and regular.

The spheres are always separated by a joint at the contact with the parent rock. Macroscopically, no difference in the composition and lithification of the spheres and parent rock has been observed, although the observation that the spheres are more resistant to weathering suggests indirectly that they are more lithified. Neither concentric nor radial cracks or disintegration resembling septarian concretions were observed in the spheres. Also, no heterogeneous core was observed that could be a starter for concretion formation.

The occurrence of sandstone spheres near Hruštín is linked to the outcrops of the Malcov Formation. It is the youngest deposit of the Krynica Unit of the Magura Nappe of the Flysch Belt of the Western Carpathians (Fig. 3). Within the Malcov Formation, the light grey calcareous claystones with interbeds of chaotically bedded slump bodies of sandstones, siltstones or claystones are generally predominant. Quartz-carbonate and quartz-wacke sandstones may dominate only locally in the lower part of the formation. They form up to 10 m thick horizons at several 10 m intervals. The quartz-wacke sandstones with the occurrence of spheroidal concretions probably form the only horizon in the lower part of the formation. The horizon is composed of at least 10 layers of 30 to 80 (max. 150) cm thick massive sandstones. They are rarely weakly lithified.

The estimated thickness of the formation is 450 to 660 m (Potfaj, 1983). Its age is late Eocene to late Oligocene (Potfaj et al., 1991), but it is possible that sedimentation continued into the earliest Miocene. The formation is the sedimentary infill of smaller confined interconnected basins in a period strongly influenced by the tectonic activity of the closing Magura Basin by the advancing Carpathian orogen, which was manifested, for example, by

the sedimentation of slump-bodies. The Magura Basin had the character of a residual “piggy-back” basin (Golónka a Waškowska-Oliwa, 2007; Teták et al., 2019).

Several locations of spherical rock formations of different tectonic and stratigraphic affiliation and origin have been identified in Slovakia and the surrounding area (Fig. 9).

Between 2002 and 2022, aggregate mining was carried out west of Podbiel in the valley of the Podbielsky Cickov stream (49.304 516°; 19.468 797°). During mining, spheroidal rock formations appeared. They were preserved thanks to Jozef Krupa, who moved them to the nearby Podbiel village (Fig. 10). All 18 known pieces are in secondary position as of 2024, although 7 “balls” are near the quarry below the road on the bank of the stream at the site of primary occurrence (49.303 697°; 19.466 425°). The other five are in Podbiel: three are near Penzión Lipa (49.305 924°; 19.482 551°) and half of the sphere is near house no. 404 (49.306 075°; 19.481 948°). Five pieces are near the cottage SE from Podbiel (49.288 321°; 19.516 292°). There are also several smaller pieces of broken spheres on which their internal septarium structure can be observed (Fig. 10). Lithologically, they are made up of gray sandy marls, which can be spotted in places. It is possible to divide the spheres into two groups. Fifteen spheres are significantly flattened, smooth gray in color. The three are distinguished by their rust-brown color, rather fusiform shape and especially horizontal layering. The dimensions of the spheres are from 35 x 65 cm to 70 x 90 x 160 cm. In the case of spheres that are disintegrated, a structure typical of septarian concretions is visible, i.e. radial and axial cracks filled with calcite. Calcite did not completely fill some cracks and its crystals up to 2 cm in size are observed.

In addition to Hruštín and Podbiel, one slightly flattened sandstone sphere with a diameter of 70 cm was observed in the Orava region in Zázrivá in the Končítá (49.291 510°; 19.159 234°) in the sandstone horizon of the klippen cover of the Klippen Belt, of Albian-Cenomanian age (Plašienka et al., 2021; Fig. 11). Massive mudstones, especially the Bystrica type mudstones of the Zlín Formation have spherical disintegration in several localities of the Flysch Belt (e.g. in the quarry N from Novot'; Fig. 12; Teták et al., 2016b).

The phenomenon of spherical sandstone formations in the shape of balls in the area of the Flysch Belt of the Western Carpathians is known mainly from a narrow zone in the northern part of the Kysuce region (northern Slovakia) with an overlap to the west to Moravia region and to the east to Poland. In total, more than 60 spheres with a diameter of 17 to 260 cm in sandstones to fine-grained conglomerates can still be found in both primary and secondary sites. The most abundant occurrence is the Megonky quarry near the Milošová village (49.496 864°; 18.722 499°). The quarry was opened in 1988. Natural outcrops are also found in the Klokočovské skálie rocks (49.472 549°; 18.618 256°), in the streams in Klokočov (Fig. 13A), but significant part of the spheres was transported by people to the Klokočov village (e.g. 49.451 635°; 18.571 691°) and elsewhere and in many cases serves as garden decoration (Fig. 13B;

Bizubová, 2008). The occurrence of spheres is linked exclusively to the horizon of late Paleocene to early Eocene coarse-grained Ciężkowice Sandstones of the Sub-Menilite Fm. of the Silesian Nappe (Potfaj et al., 2002, 2003). They are as well as the spheres from Hruštín, of concretionary origin created in the process of early-lithification of deep-sea gravity current sedimentary rocks. This is evident by the presence of a passing through conglomerate horizon in several spheres, as well as lamination. Many have developed a flaking crust.

The mentioned line with the occurrence of the Ciężkowice Sandstones spheres continues from Kysuce region to the east into the Czech Republic via Motyčanka, Mosty u Jablunkova (old quarry, 49.5102 34°; 18.747 986°), Návsí (along the road, 49.594 724°; 18.749 301°) and Bukovec further into Poland at Żywiec. The same geological structure/line continues from the Kysuce region to the west to Moravia, e.g. spheres with a diameter of up to 3 m are in the old Vidče quarry (49.435 666°; 18.095 514°). Further to the west, but already in different geological units, there are spheres with a diameter of up to 80 cm in the older Carboniferous Kulm wacke sandstones of the Drahanská vrchovina and Nízky Jeseník Mts. and the Karpatian age Kroměříž Fm. in the Carpathian Foredeep (in the Bezuchov, Šišma and Olšany sand pits; Bubík et al., 2019) and also spheres apparently of anthropogenic origin in the more distant Karlova Ves in the Křivoklátsko region. Carbonate and pyrite-carbonate concretions occur in the area of Barrandien near Prague, for example in the Ordovician shales of the Klábava Fm. (Geopark Barrandien: 49.962 993°; 14.072 961°; Geological Garden: 50.091 737°; 14.574 824°). Another example of concretions from the territory of the Czech Republic are pelosiderite concretions. They occur mainly in the upper part of the Hradiště Formation of the Silesian Nappe of the Flysch Belt, where lenticular concretions of pelosiderites are abundant in dark gray, weakly calcareous claystones. They were mined in the past and thus contributed to the emergence of the metallurgical industry in Ostrava (e.g. 49.665 588°; 18.760 741°; Roth et al., 1962).

Other, rather rare occurrences of spherical concretions are described from several localities of the Krynica Unit of the Magura Nappe in eastern Slovakia. Spherical concretions with a diameter of up to 70 cm weathered from the wall of the Košarovce quarry from thick layers of less lithified sandstones of the Strihovce Fm. (Žec et al., 2011). Similar are the spheres with a diameter of up to 50 cm from the Diel site between Ruská Bystrá and Hrabová Roztoka and from the Strihovce village (Leško, 1960; Leško et al., 1964; Leško and Samuel, 1968; Žec et al., 2005a, b; Žec et al., 2011) and spheres up to 70 cm in size north and south of the Stredná hora valley west of the Želmanovce village (Kováčik et al., 2012).

Outside the Flysch Belt of the Western Carpathians, stone spheres are known from the Central Carpathian Paleogene sandstones from the Malá Čausa and Chrenovec-Brusno villages (Kováčik et al., 2015, Figs. 3.4–16).

The so-called “Brusno Balls” are weathered from weakly lithified sandstones with paraconglomerates lenses of the Chrenovec Mb. with the age of Kiscelian to Egerian. Petrographically they correspond to calcareous subarkoses. The concretions are spherical to ellipsoidal in shape with a diameter of 10 cm to 2 m (Fig. 14). Most of the spheres are located in and near the local quarry (48.773 926°; 18.720 450°).

By the road between the Liptovský Ondrej and Beňadiková villages there is an inconspicuous location with several larger ellipsoidal stones (49.087 38°; 19.699 14°). In 1977, the location was declared a Natural Monument of Háje. According to Gross (1977), Gross et al. (1980) and Mišík and Reháková (2004) there were spheres to loaf-like pelocarbonate formations up to two meters in size, in some cases they were armored with pebbles. The spheres are found as part of the ancient submarine slump body of the Central Carpathian Paleogene deposits. The submarine slump cut trough into the middle to upper Priabonian flysch bedrock. Half of one sphere, in the core with an armored intraclast, is exhibited in the complex of the State Geological Institute of D. Štúr in Bratislava (Fig. 15). The spheres genetically differ from the spheres from Hruštín, they are intraclasts (olistoliths) and armored intraclasts. Formation of armored intraclast can be better understood with a recent example from the Mrázovce village (Bóna et al., 2005), where armored spherical intraclasts with a diameter of 4 to 32 cm were formed in a fluvial environment during storm rainfall.

Spherical to ovoid sandstone bodies, found in the belt between Rdzawka and Rokiciny Podhalańskie in the Polish Carpathians, have a similar origin as the spheres from Liptovský Ondrej. They were formed as olistoliths of fine-grained calcareous sandstones in the olistostrome within the middle Eocene Maszkowice sandstone Mb. (equiv. Oravské Veselé Mb.) of the Bystrica unit of the Magura Nappe (49.580 603°; 19.887 706°) (Cieszkowski et al., 2009, information by M. Cieszkowski). In the area of occurrence, spheres were used as decorative elements, e.g. at the entrances to old wooden churches with a hollow cut out for holy water in Rabka Zdrój and Piątkowa Góra, as well as in Raba Wyżna Square (Fig. 16).

Partial lithification of sandstones in the form of larger spherical concretions of irregular loaf-like, but also spherical shape cemented by calcareous cement commonly developed in various Neogene sands. Probably the most famous locality is the abandoned sandpit in Lipovany (48.214 170°; 19.709 228°) with an outcrop of the type locality of early Eggenburgian Lipovany sandstones. The sandpit has been declared a natural monument since 1990. Spherical concretions reach a diameter of 5 to 50 cm (Fig. 17). Sandstones are sediments of a shallow marine shelf, and they contain abundant fragments of molluscs (Vass et al., 1992). Similar sandstone concretions were also developed in the late Eggenburgian fluvial-lacustrine Tachty sandstones of the Bukovinka Fm., in the Ďarmoty Mb. in southern Slovakia, in similar late Badenian

sandstones of the Sandberg Mb. (Devínska Kobyla Hill) and in the Prietrž Mb. of the Karpatian age east of Senica town (Teták, 2017).

In the Tertiary sediments of the Most and Sokolov basins (Fig. 18), regular spheres ranging in size from a few mm to two decimeters occur sporadically. They are known as “Vršany and Bílina balls” (50.493 6°; 13.532 01° and 50.570 438°; 13.723 959°) and are popular especially among sensible people, who attribute their healing effects. Spheres are moderate zonal concretions of pyrite and marcasite formed in sandy sediments (Zimák et al., 1992; Bartoš et al., 1996).

Sandstone concretions from Neogene sediments of Slovakia are similar in appearance and origin to calcite cemented sandstone concretions of various shapes in Italy, e.g. in the Bologna area (Contraforte Pliocenico Reservation), the so-called “botroidi” or “cogoli”. They occur in various syntectonic sediments of Eocene to Pliocene age (Cibin et al., 1993). The calcium in concretions comes from limestone clasts and shells of molluscs and foraminifera. Smaller concretions weather in hundreds of pieces and have various zoomorphic and anthropomorphic shapes, which attracted interest and imagination in people in the past. They are exhibited in the Museo dei Botroidi di Luigi Fantini, specially dedicated to botroids, in the village of Tazzola (44.333 889°; 11.381 771°). Similar, avant-garde sculptures resembling concretions known as “gogottes” weather from the Upper Oligocene siliceous Fontainebleau sandstones near Fontainebleau in France (Thiry, 1999; Thiry et al., 2013).

Probably the most significant occurrence of sandstone concretions in Europe are the “Boules de Rosans” from France from the Serre d’Autruy locality near Saint-André-de-Rosans in the Hautes Alpes (44.381 142°; 5.526 987° and 44.377 539 8°; 5.520 312 5°), but e.g. also from nearby Saint-Étienne-les-Orgues (44.028 071°; 5.758 682°). A larger number of spherical concretions with a diameter of about one meter occur in glauconite sandstones deposited as gravity currents in the Vocontian Basin. Sandstone beds form interbeds in monotonous marls of the Blue Marls Formation of Albian age (Thomas, 2016; Ferry, 2017).

Large, almost spherical, carbonate cemented, sandstone concretions occur on the coast of southern England east of Osmington Mills (50.632 349°; -2.369 787°). Early lithification helped to preserve the characteristic cross bedding of the sandstone. The concretions are part of the Bencliff Grit horizon of the Corallian Fm. represented by intertidal zone deposits of Oxfordian age (Sellwood et al., 1990). Larger septarian concretions occur at several locations in England, e.g. in Middle Jurassic (Bathonian) mudstones of fluvio-deltaic origin of the Long Nab Member of the Scalby Formation at Burniston Bay near Scarborough (Slater et al., 2017; ca. 54.327 458°; -0.420 135°).

Decimeter to over 2 m large calcite cemented sandstone ovoid concretions are also found on the Scottish islands of Eigg (56.922 811°; -6.158 168°) and Sky (Valtos – approximately 57.607 613°; -6.170 388°) in the Middle

Jurassic (Bathonian) estuarine sandstones of Valtos Sst. Fm. (Wilkinson, 1993, 2006; Hudson et al., 2023; Paxton et al., 2023).

In Europe, stone balls from Bosnia are the most well known. Several dozen spheres were found here in many locations. Their largest concentration with more than 20 spheres with a very regular round shape is in the vicinity of the Zavidovići town (44.454 625°; 18.175 121°). They reach a diameter of up to 2.5 m. Dozens of spheres were destroyed by local residents due to the superstition of gold in their center in the past.

Several sandstone spheres were also found in north-eastern Croatia near the town of Ludbreg (they are exhibited in the park: 46.251 033°; 16.618 748°). Spheres arose as concretions in the sands sedimented in the Pannonian lake 11 Ma ago (Banak et al., 2019).

In Romania, sandstone concretions cemented with calcium carbonate are found in several locations. Their local name is “trovanți”. They developed in Miocene (Pannonian) sands in the Carpathian foreland. The most famous are in Costești (45.137 650°; 24.068 821°), in Breaza (45.159 921°; 25.662 199°), Ulmet (Babele de la Ulmet, Bozioru) (45.368 566°; 26.464 624°), but also others, e.g. Odăile (45.384 224°; 26.522 157°), Cozieni (45.353 32°; 26.500 802°), Sibiu (45.790 725°; 24.314 937°) and Onești (46.278 193°; 26.799 933°). They occur in nodular, spherical or ellipsoid shapes with dimensions from a few cm to several meters. It is interesting that cement is secreted from concretions exposed to rain for a long time and small nodules appear on the surface, which the locals call “growing stones”. Museums and educational trails have been built in several locations.

Spherical concretions from Hruštín are similar to many other locations around the world. In terms of number, size, preservation and shape, probably the most striking site in the world is in western Kazakhstan (English: Ball valley, Russian: Долина шаров, kaz. Шарлар ангтары; especially 44.322 593°; 51.599 454°, in the arc at least from 44.275 889°; 51.520 079° to 44.295 435°; 51.838 955°). In the desert, on an area of several km², there are thousands of large sandstone concretions of Paleogene age, usually 1.5 to 3 m in diameter (Dieterich et al., 2015, p. 85). Lamination of the sediment is evident on many concretions or the crust is peeling off their surface.

Several smaller occurrences of larger spherical concretions are recorded in the area of Russia, but no more detailed geological research is available. “Zhukovlyanskies Boulders” (Жуковлянские Валуны) (58.304 497°; 48.014 239°) are found in Permian sandstones in the old sand pit near Zhukovlyan in the Kirov region. Other sandstone concretions are known as “Ancient Boulders” (Древние валуны) in a ravine near the village of Yashauche (Яшауче) in Tatarstan (54.927 005°; 51.472 229°). Several spherical ferruginous sandstone, sometimes hollow concretions called “Volgograd Balls” are found in a ravine near the village of Mokraya Olkhovka (50.499 475°; 44.977 463°). Other

occurrences of concretions are in Chechnya (Argun Gorge) and Dagestan.

Another location in the desert is near Lake El Faiyum in Egypt (29.502 136°; 30.551 416°). Hundreds of large spherical concretions weather from coarse-grained cross bedded sandstone of marine origin of the Birket Qarun Fm. of Priabonian age (Seiffert et al., 2008; Kusky et al., 2011; Abdel-Fattah, 2016; Al-Dhwadi and Sallam, 2019). Various, as yet unexplored concretions of the “Valley of the Planets” are reported from the Libyan Desert east of the Ghat (approximately 25.176 435°; 10.821 453°).

Other very regularly shaped spheres are known from Franz-Josef-Land. The spheres from Champ Island are larger and reach over two meters. On the neighboring island of Heiss, there are many smaller spheres with a diameter of only a few centimeters. Spheres are made of sandstone and are concretions in origin. Concretions, usually 5–30 cm in diameter, commonly occur in a marine, carbon-rich sequence of dark, muddy siltstone with thin sandstone intercalations of the Carolinefjellet Formation of Cretaceous (Aptian – Albian) age on the coast of Kapp Morton in Spitsbergen (Krajewski and Luks, 2003; 77.789 555°; 14.896 808°).

On the east coast of Greenland, several horizons with spherical concretions crop out in Jurassic sediments (Surluk et al., 2021). Perfectly rounded spheres are also found on the northwest coast of Canada from Paulatuk, Pond Inlet to Coral Harbour. They are also sandstone concretions in origin. Spherical concretions crop out also in Kettle Point on the shore of Lake Huron (43.212 465°; –82.022 755°) in the Devonian Kettle Point Fm. (Bingham-Koslowski, 2015). In Alberta, Canada (49.654 221°; –110.863 859°), dozens of 1.5 to 2.5 m large sandstone concretions of Red Rock Coulee weather from gray shale of the Campanian Bearpaw Fm. (Tsujita, 1995). Some of the world’s largest concretions form the Grand Rapids on the Athabasca River in Alberta (Canada; 56.326 422°; –112.612 211°). Concretions weather out in large quantities from the Cretaceous (Albian) nearshore marine to upper shoreface facies sandstones of the Grand Rapids Formation (Kramers, 1982).

10 to 40 cm large concretions called “Thunder Eggs” weather out of sand that formed as fluvial-lacustrine sediment from a stream flowing from a retreating glacier after the last glacial period west of Haines Junction, Yukon, Canada (60.789 419°; –137.762 681°).

Larger sandstone concretions occur in the area from Newton to White counties in Arkansas. They are referred as “Prim Rocks” (e.g., as decorations at houses in Prim: 35.694 471°; –92.112 632° and 35.694 622°; –92.108 768° and 35.688 272°; –92.108 416°). The concretions occur in several sandstone levels such as the Middle Bloyd Sandstone of the Bloyd Formation and Prairie Grove Member of the Hale Formation of Pennsylvanian age. They deposited in a delta-like environment (Hanson and Howard, 2005).

Huge spheroidal concretions (some nearly 6 m in diameter) occur at two sites in central Kansas in fluvial Albian-Cenomanian sandstones of the Dakota Fm.

Concretions form a small stone city in Rock City Park (39.090 853°; –97.735 455°). They are interesting due to their dimensions and distinctive cross-bedding of sandstone (McBride and Milliken, 2006).

A popular tourist site for large sandstone concretions is “Cannonball Concretions” in North Dakota (Theodore Roosevelt National Park, 47.596 326°; –103.331 989°).

Spherical concretions from Ohio range from a few centimeters to over 3 m in diameter. They weather from dark gray to black slates (Ohio Shale) of Devonian age. The smaller ones are regularly round, the larger ones are flattened to disc-shaped. They are made of carbonate, limestone or dolomite. They may also develop septarium cracks filled with calcite and barite. In the core of the concretions there are organic fragments, usually fish bones. Spheres occur singly or in dozens in many places, mostly in rivers in Ohio, e.g. 39.573 179°; –83.126 264° (Hansen, 1994). Larger concretions can also be found in other areas, e.g. in shale and limestone successions of Fort Payne Formation of Early Mississippian age (southern Kentucky and Tennessee –36.799 667°; –85.382 961°), in Lower Eocene glauconite sand of Bashi Formations (Mississippi – Meridiad – 32.347 554°; –88.710 888°), in Devonian mudstones of Genesee Fm. (New York – 42.540 157°; –76.525 781°; Wilson and Schieber, 2015) and in Upper Cretaceous beach and barrier facies sandstones of Eagle Fm. (Montana – Billings – 45.797 425°; –108.486195° and 45.799 888°, –108.478 431°; Shelton, 1965).

Hundreds of about 30 to 100 cm large sandstone concretions are also found in the desert in the Pumpkin Patch in Anza Borrego Desert State Park in southern California (37.683 3°; –111.366 7°).

A group of smaller sandstone concretions from the Triassic Ischigualasto Fm. is in Ischigualasto Park, Argentina (–30.117 423°; –67.901 898°).

Iron concretions are another type of spheres. Hundreds of thousands of smaller, only a few cm large, iron-sandstone concretions “Moqui Marbles” (or “Navajo Marbles”) appear in many places in southeastern Utah after the weathering of desert Lower Jurassic sandstones of the Navajo Fm. (e.g. Spencer Flat 37.671 819°; –111.387 688°). The sandstone core is surrounded by a harder hematite crust (Potter and Chan, 2011; Loope and Kettler, 2019; Katsuta et al., 2023). Similar ferruginous concretions with a diameter of up to 25 cm can also be found in the Western Carpathians in continental sediments of the Rhaetian age of the Tomonawa Mb. of Tatricum. The sphaerosiderite concretions were formed as a result of early diagenetic precipitation of the siderite in the waterlogged sediments rich in organic matter (Nejbert and Jurewicz, 2004).

Septarium concretions are a specific type of concretions. They perform, for example, at “Bowling Balls Beach” on the Atlantic coast of California (38.872 263°; –123.659 815°). Similar spherical septarian concretions are known from various places, such as in New Zealand (“Moeraki Boulders” –45.345 448°; 170.826 508°; “Katiki

Boulders” –45.415 419°; 170.824 323°; “Ward Beach Boulders” –41.841 891°; 174.188 045°; “Koutu Boulders” –35.465 829°; 173.416 877°), where spheres occur along the coast and inland. Balls range in size from 0.5 m to 3 m. They formed as septarian concretions in soft Paleocene mudstone. The concretions are typically fractured and less lithified internally than on the surface (Boles et al., 1985; Thyne and Boles, 1989; Yoshida et al., 2020). In the interior of the North Island in New Zealand at the “Whitecliffs Boulders” site (–39.845 212°; 175.770 385°) there are dozens of regularly spherical 1 to 2 m large sandstone concretions. They are sandstone concretions (not septarian) weathering from the bluish-gray Late Pleistocene shelf siltstones of the Mangaweka Mudstone (Journeaux et al., 1996; Hayward, 2021).

Selective weathering of brightly colored clastic rocks of bizarre shapes, including concretions, in an arid environment can be observed in the “Bisti Badlands” area of New Mexico (36.267 381°; –108.223 705°). Other irregularly shaped concretions in calcareous sandstones are the attraction of Yehliu Geopark on the northern coast of Taiwan (25.208 688°; 121.693 06°) (Cheol-Woong, 2014).

In many places around the world, there are localities with the occurrence of spherical formations of other than sedimentary origin. From Mexico’s “Las Piedras Bola” (20.653 700°; –104.057 346° and 20.657 542°; –104.062 610°) 74 spheres with diameters from 1.2 m to 7.8 m are known. Round shape was formed during the transport and solidification of Tertiary rhyolite pyroclastic currents (Girón and Avila, 2007).

The Australian Karlu Karlu (“Devils Marbles”: –20.565 147°; 134.260 375°), which were created by spheroidal subsurface and surface weathering of granites, have a completely different genesis (Twidale and Vidal-Romaní, 2005). Numerous boulder-like spheres of Permian biotitic granites in Dobrogea, Romania (45.243 704°; 28.197 875°)

(Vasile and Vespremeanu-Stroe, 2016) as well as magmatites in Moldanubicum in the Czech Republic (Bumba, 2015) were formed in a similar way. On some boulders of igneous rocks of the Třebíč massif of the durbachite (syenite) type with light porphyritic phenocryst of potassium feldspars, it is possible to observe onion-like flaking of the surface layers, the so-called exfoliation (Fig. 19). In addition to igneous rocks, spheroidal weathering occurs e.g. also in pelites, pelosiderites, basalts and gabbro.

In the past, it was considered whether the origin of the spheres was anthropogenic in several locations. However, there are also stone balls of provably anthropogenic origin, which represent human artefacts made of natural stone. Probably the most famous example is in the south of Costa Rica. There are more than five hundred spheres with a diameter from 10 to 250 cm and an almost perfectly round shape. They are of anthropogenic origin from the pre-Columbian period (Quintanilla, 2007; Amador and Alfaro, 2014). It is remarkable that the authors carved them without knowledge of iron tools. They were made of granodiorite, gabbro, limestone and sandstone. Similar stone balls were discovered during the construction of the Cuji Dam west of the city of Onoto in Venezuela (9.603 483°; –65.218 677°).

From Scotland, Ireland and Britain, more than 400 approximately 7 cm large, variously shaped Carved stone balls of anthropogenic late Neolithic origin of an unknown purpose are known (Stewart-Moffitt, 2022). In Tunis, in ancient Carthage, there are probably anthropogenic limestone balls. Several “spheres” of anthropogenic origin are e.g. also on Easter Island. Other spheres or rather megaliths are known from Turkey, France, etc.

Rukopis doručení:	2. 10. 2023
Revidovaná verzia doručená:	26. 2. 2024
Rukopis akceptovaný redakčnou radou:	25. 11. 2024

