

UNIVERZITA KARLOVA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA PRAHA



Belemniti jury severních Čech - stratigrafie,
paleobiogeografie a možný izotopový záznam

The Jurassic belemnites of northern Bohemia -
stratigraphy, palaeobiogeography and possible isotope
record

Diplomová práce

Bc. Jan Geist

Školitel: doc. RNDr. Martin Košťák, Ph.D.

Konzultantka: Mgr. Lucie Vaňková

Praha 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce, ani její podstatná část, nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval v první řadě doc. RNDr. Martinu Košťákovi, Ph.D. za příkladné školení k diplomové práci, stejně tak, jako Mgr. Lucii Vaňkové za neocenitelnou pomoc při konzultacích. Dále mé díky patří RNDr. Patru Budilovi, Ph.D. a RNDr. Evě Kadlecové z ČGS, za milé provázení sbírkovým fondem geologické služby a Mgr. Janu Sklenářovi Ph.D. za provázení sbírkami Národního muzea. Jsem mu také vděčný za vysvětlení dokonalejšího osvětlení při focení vzorků roster a problematiky číslování sbírkového fondu NM. Vděčnost bych dále rád projevil i prof. RNDr. Oldřichu Fatkovi, Csc. za konzultace ohledně synonymiky a pravidel zoologické nomenklatury. Děkuji doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, CSc. za umožnění přístupu ke katodoluminiscenčnímu mikroskopu, vřelé uvedení do problematiky a důkladné vysvětlení principů jeho fungování. Stejně tak děkuji RNDr. Kubovi Trubačovi za konzultace ohledně geochemických analýz a poskytnutí relevantních zdrojů pro pochopení dané problematiky. Především děkuji Mgr. Lence Vondrovicové za geochemické zanalyzování. Děkuji také RNDr. Zuzaně Vařilové, Ph.D. z Muzea města Ústí nad Labem, za zpřístupnění sbírek muzea, zaslání fotek vzorků od jejího kolegy a snahu o zjištění dnešního umístění sbírek malíře Strohbacha z Krásné Lípy. Mé poděkování patří i Martinu Součkovi, za první nález roster belemnitů v juře severních Čech takřka po více než 100 letech, a také Aleši Novákovi za poskytnutí jím nalezeného cenného vzorku s rostry belemnitů, který posloužil jako možný zdroj relevantních geochemických dat. Ich danke also Dr. Markus Wilmsen und Dr. Birgit Niebuhr aus Senckenberg Natural History Collections Dresden und Dr. Olaf Tietz aus Collections in Görlitz für warmherziges Weilen in diese Institute. Ich danke dr. Manuel Lapp auch, für Fotografien aus den Sammlungen der Technischen Universität Freiberg, wo ich wegen eines globalen Virus nicht bekommen konnte. A děkuji také všem ostatním lidem, kteří se přímo či nepřímo na vytvoření diplomové práce podíleli. V neposlední řadě se také sluší poděkovat své rodině a přítelkyni, za jejich intenzivní všeobecnou podporu v době studia na PřF UK.

Abstrakt

Práce je založena na revizi sbírkového materiálů z několika vědeckých institucí z České republiky a Spolkové republiky Sasko (Národní muzeum Praha, Chlupáčovo muzeum historie Země, Senckenberg Natural History Collections Dresden aj.). Základ sbírky tvoří vzorky publikované Oskarem Lenzem a Georgem Bruderem z druhé poloviny 19. století. Oba čerpali také z nálezů jiných badatelů (např. Cotta, Weisse). Rostra belemnitů byla systematicky rozřazena do čtyř čeledí, pěti rodů a sedmi určitelných rodů. Jedno rostrum nebylo bližze určeno. Stáří vzorků bylo určeno na střední a svrchní juru (bajok-kimmeridž). Délka předpokládané sedimentace v této oblasti byla především díky nálezu druhu *Megateuthis gigantea* Schlotheim, 1820 posunuta výrazně do střední jury. Dřívější výzkumy (především 20. století) předpokládaly rozsah zachovaných karbonátových hornin jen ve stupních oxford a kimmeridž, s málo fosiliferními brtnickými vrstvami stáří keloveje. Zkoumané horniny vykazují značný vliv Milankovičových cyklů s opakovaným střídáním karbonátových a nekarbonátových poloh ve vrstevním sledu. Předběžné výsledky izotopových analýz naznačují nízký geochemický potenciál. Ten je způsoben především přítomností lužické poruchy a riftovým vulkanismem, který zde probíhal v období neogénu. Díky analýze jurského společenstva organismů se předpokládá mikritická pelagická sedimentace v zálivu či mělkém moři s omezeným přínosem klastických sedimentů z pevniny. Moře bylo dobře cirkulující, čisté, s dostatkem kyslíku a malými výkyvy v salinitě (nálezy echinodermátů, paryby a brachiopodů).

Klíčová slova: jura severních Čech, belemniti, biostratigrafie, paleobiogeografie, izotopová data

Abstract

The work is based on a revision of collection from several scientific institutions from the Czech Republic and the Federal Republic of Saxony (National Museum in Prague, Chlupáč Museum of Earth History, Senckenberg Natural History Collections Dresden, etc.). The collection is based on samples published by Oskar Lenz and George Bruder from the second half of the 19th century. Both authors also processed the findings of other researchers (e.g. Cotta, Weisse). The belemnite rostra were systematically divided into four families, five genera and seven identifiable genera. One rostrum has not exactly been determined. The age of the samples was established to be the Middle and Upper Jurassic (Bajocian-Kimmeridgian). The length of the expected sedimentation in this area has been prolonged to the past (deeper to the Middle Jurassic), mainly due to the finding of the species *Megateuthis gigantea* Schlotheim, 1820. Earlier research (especially in the 20th century) assumed the extent of preserved carbonate rocks only in the Oxfordian and Kimmeridgian age, with a not much fossiliferous Callovian Brtníky Formation. The studied sedimentary rocks show a significant influence of Milankovich cycles with repeated alternation of carbonate and non-carbonate layers in the sequence. Preliminary results of isotope analyzes indicate a very low geochemical potential. This is mainly due to the presence of the Lusatian fault and rift volcanism, which took place here in the Neogene period. Thanks to the analysis of the Jurassic organisms, micritic pelagic sedimentation in a bay or shallow sea with a limited input of clastic sediments from the mainland is assumed. The sea was well circulating, clean, well oxygenated and a small fluctuations of salinity is suggested (findings of echinoderms, chondrichthyes and brachiopods).

Key words: Jurassic of N Bohemia, belemnites, biostratigraphy, palaeobiogeography, isotope data

Obsah

| | |
|---|----|
| Prohlášení | 1 |
| Poděkování | 2 |
| Abstrakt | 3 |
| Abstract | 4 |
| Úvod | 6 |
| Geologie | 10 |
| Tafonomie a paleoekologie | 12 |
| Materiál a metody | 15 |
| Materiál..... | 15 |
| Zkratky institucí | 15 |
| Metody..... | 15 |
| Systematická část | 18 |
| Morfologie belemnitů..... | 18 |
| Tvary roster a jejich charakter | 20 |
| Systematika..... | 21 |
| Čeleď: <i>BELEMNOPSEIDAE</i> Neaf, 1922 | 22 |
| Čeleď: <i>DUVALIIDAE</i> Pavlow, 1914..... | 28 |
| Čeleď: <i>MEGATEUTHIDIDAE</i> Sachs and Nal'njaeva, 1967 | 30 |
| Čeleď: <i>CYLINDROTEUTHIDIDAE</i> Stolley, 1919 | 32 |
| Izotopový záznam | 36 |
| ¹⁸ O/ ¹⁶ O, ¹³ C/ ¹² C..... | 36 |
| ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr..... | 40 |
| Analýza vhodnosti vzorků | 41 |
| Výsledky geochemických analýz..... | 43 |
| Diskuze | 45 |
| Závěr | 47 |
| Citovaná literatura..... | 49 |
| Seznam obrázků | 57 |
| Přílohy | 59 |

Úvod

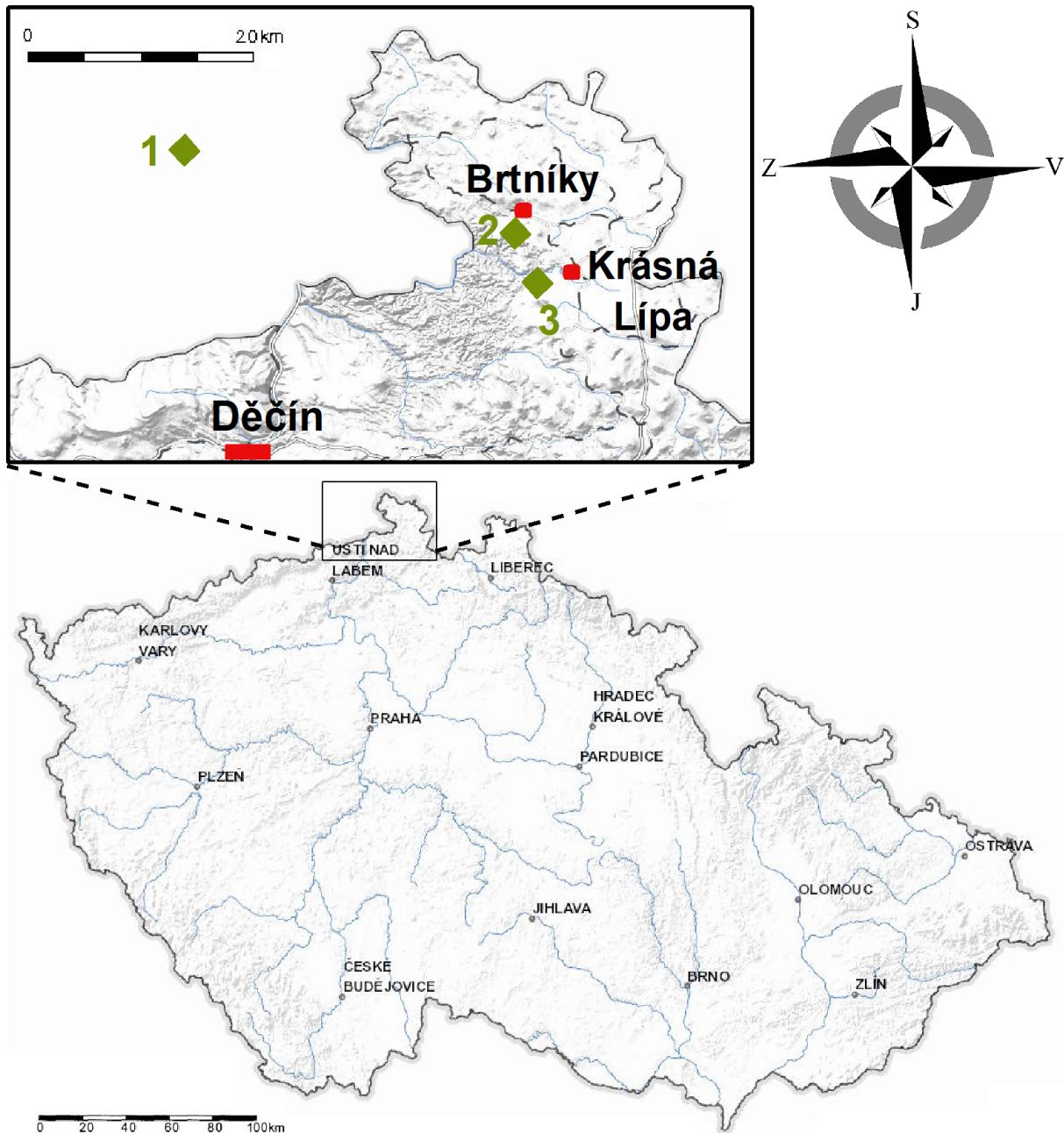
Minulost využití a výzkumu severočeské jury byla velice slavná. Již v polovině 17. století zde započala těžba vápence, který se dobýval hlavně pro vápnění půd. Těžba probíhala v mnoha menších, často soukromých lomech, které od konce 19. století ukončovaly postupně svojí činnost. Několikrát (1890, 1955 a 1956) proběhl detailní průzkum použitelnosti, především na lokalitě Vápenka u Nové Doubice, pro získávání olova, stříbra, mědi a zinku z přítomných slabě zastoupených rud. Získávání rud bylo nakonec shledáno jako velice neekonomické a od nápadů se vždy brzy upustilo (Chrt a kolektiv 1957). V padesátých letech zde byly také vyraženy dvě průzkumné štolky a vyvrtány dva šikmé vrty (Brzák, Fabiánek a Havránek 2007). K nastartování těžby případných rud však nikdy nedošlo.

V dnešní době jsme při zkoumání zdejších hornin odkázáni pouze na velice omezený materiál rozesetý do sbírek takřka po celé střední Evropě. K soudobým nálezům faun dochází jen sporadicky, zpravidla jen na Peškové stráni v Kyjově u Krásné Lípy, kterou protéká potůček ústící do místní přehrady. V něm se dají nalézt disartikulované vápencové bloky či balvany, které erodují z podloží při rozvodnění potoka vlivem intenzivních dešťových srážek. Zdrojem je pravděpodobně bývalá halda po dobývání horniny. K potvrzení zdrojové oblasti je však potřeba provést bližší průzkum pomocí geofyzikálních metod.

Jedním z prvních, kdo se zabýval systematickým paleontologickým výzkumem zdejších hornin, byl Oskar Lenz. Jeho doktorská práce z roku 1870 *Über das Auftreten Jurassischer Gebilde in Böhmen* je jednou z mála vědeckých publikací z této doby. V dalším výzkumu v 80. letech 19. století pokračoval Georg Bruder. V několika svých pracích popsal nejen české lokality (například Brtníky- *Zeidler*, Kyjov- *Khaa* aj.), ale i lokality nacházející se na území Spolkové země Sasko, které jsou vzdáleny jen několik kilometrů od hranic tehdejšího Habsburského mocnářství (např. *Hohnstein*). K dalším slavným geologům zkoumající tuto oblast patřil Bernhard von Cotta, Christian Samuel Weiss či Georg Ludwig Friedrich Wilhelm Graf zu Münster. Zkoumaná oblast je znázorněna na mapě níže (Obr. 1) (Česká geologická služba 2019).

Jeden z nejdůležitějších lomů v oblasti se nacházel blízko Nové Doubice (*Neue Daubitz*) u Krásné Lípy (*Schönlinde*). Zdejší lom byl jedním z největších v oblasti a vápenc se zde těžil až do 20. let 20. století. V historických dokumentech jsou zde popsány nálezy amonitů, spongií, mlžů či belemnitů (Bruder 1881). Výzkum proběhl také na základě výbrusů a analýz mikrofacií (např. Eliáš 1981). Nejenom na této lokalitě došlo k časté dolomitizaci vápenců vlivem dřívějších geologických procesů podél lužické poruchy. V některých

polohách jsou zde horniny navíc kontaktně metamorfovány terciárními vulkanickými tělesy (Maškův vrch aj.). V těchto částech výchozů docházelo k nálezům fosilií jen sporadicky. Dnes je v místě lokality vyhlášena přírodní rezervace Vápenka s charakteristickou vápnomilnou florou.



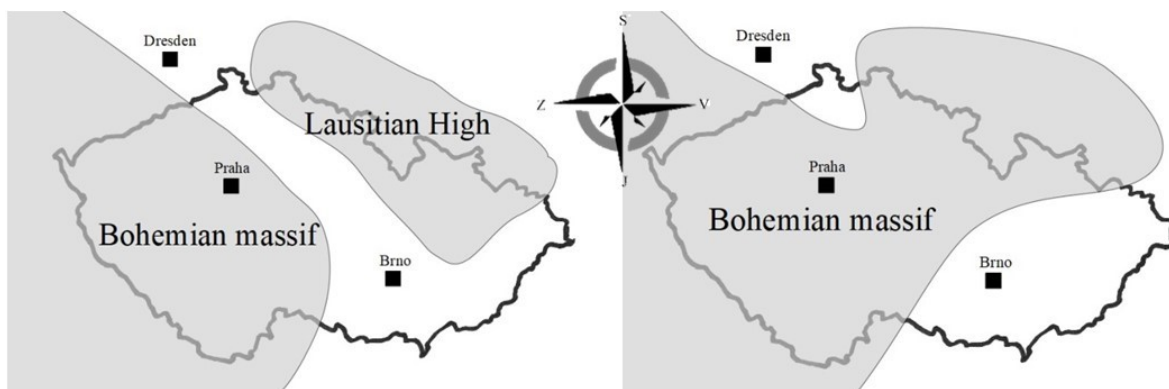
Obrázek 1: Mapa znázorňující umístění lokalit, ze kterých pochází vzorky rooster belemnitů. Červenou barvou znázorněny vybraná sídla. 1- Hohnstein, 2- Šternberk a Brtníky, 3- Kyjov (Peškova stráň).

Většina lokalit je v dnešní době v terénu již neznatelná. Bývalé lomy jsou většinou už přes 100 let uzavřeny a zavezeny. Lokalita Vápenka u osady Nová Doubice (*Neue Daubitz*) je navíc vyhlášena přírodní rezervací a sběr nových vzorků je tak v současnosti znemožněn.

Nejbohatším nalezištěm fosilií býval povrchový lom Šternberk u vsi Brtníky (*Sternberg bei Zeidler*). Jelikož byl od lužické poruchy více vzdálen, kontaktní metamorfóza a dolomitizace ho postihla jen minimálně. Stejně tak tomu bylo u lomu při Peškově stráni u osady Kyjov (*Peschken Räumicht bei Khaa*). Haldy po těžbě vápence v těchto místech jsou dnes pravděpodobně jediným použitelným místem pro sběr fosilií. Pro sběr je velmi přínosný již dříve zmíněný potok, který tudy protéká. Další místa jako je Bílý potok či Vlčí Hora jsou také v dnešní době pro sběr vzorků pravděpodobně nepoužitelná. Lokalita Bílý potok se nacházela (do 31. 12. 2019) v I. zóně Národního parku České Švýcarsko, kde byl vstup mimo značené stezky zakázán. Zevrubným ohledáním lokality po novelizaci Vyhlášky MŽP č. 170/2019 Sb. o vymezení zón ochrany přírody Národního parku České Švýcarsko byla tato lokalita shledána jako neperspektivní z důvodu pravděpodobně vysokého stupně metamorfózy zdejších jurských hornin a jejich neznatelným výchozům. Místa bývalé povrchové těžby u Vlčí Hory jsou v dnešní době velice obtížně v terénu dohledatelná.

Paleogeograficky se jedná o sub-boreální oblast pod značným vlivem oblasti sub-mediteránní. Vyskytují se zde tedy fauny z obou oblastí, a to nejen belemniti, ale také například amoniti (Hrbek 2014). Přímé důkazy o propojení této oblasti s Tethydu komunikačním kanálem (Obr. 2) via Český masiv neexistují. V minulosti se objevily také názory o možné existenci komunikačního kanálu směrem do polské jury (např. Bruder 1886). Komunikační kanál via Český masiv podporují také analýzy vápnatého nanoplanktonu (Holcová and Holcová 2016) a amonitové fauny (Hrbek 2014). Existují také nálezy valounů jurských rohovců, uložených v mladších horninách křídly a terciéru, z okolí Svitav, Moravského Krumlova, Třebíče, Žitavy a jiných měst, které mohou indikovat rozsáhlejší sedimentační prostor jurského moře (Eliáš 1981; Valečka 2019). Novinkou je pak práce popisující mimo jiné také nález jurských rohovců v křídových horninách z lomu pod vrcholem Hvozdu (*Hochwald*) v Lužických horách (Valečka 2019).

Další možností by mohla být i počínající transgrese světového oceánu v období keloveje, která zapříčinila vznik dvou oddělených šelfových moří (Obr. 2), jednoho na tehdejší jižní Moravě a druhého v oblasti severních Čech. Tomu také napovídá taxonomická odlišnost od belemnitové fauny na jižní Moravě (Hády, Olomučany aj.).



Obrázek 2: Možné paleogeografické situace v období svrchní jury na území Českého masivu (upraveno podle Kriwet and Klug 2004). Šedou barvou je znázorněna předpokládaná pevnina.

Během jury proběhlo několik migrací belemnitů v rámci Evropy vlivem změny tehdejších podmínek prostředí. Docházelo ke střídání teplejších a chladnějších období. Belemniti byli značně stenotermní. Proto při těchto teplotních fluktuacích často migrovali do refugií, do Arktické oblasti v teplejších obdobích anebo do Mediteránní oblasti při chladnějších výkyvech (Dera, Toumoulin, and de Baets 2016). Je také dobře charakterizován výskyt taxonů belemnitů v čase a prostoru (Doyle 1987).

Díky poloze na rozhraní dvou rozdílných paleogeografických říší se zde objevují jak boreální, sub-boreální tak sub-mediteránní druhy faun. Toto je dobře zdokumentováno na amonitech (Hrbek 2014), dle kterých lze rozdělit jurské sedimenty na několik subzón (Obr. 3).

Paleobiogeografická zonace jednotlivých vrstev na základě belemnitů nebyla doposud provedena. Belemniti sice patří mezi stratigraficky významné živočichy, avšak v tomto období nejsou pro biostratigrafii hornin ideální. Lze je ovšem použít na regionální úrovni při zaměření se na všeobecně rozšířené rody belemnitů, např. *Hibolites* Montfort, 1808 či *Neohibolites* Stolley, 1911 (Doyle and Bennett 1995). V dnešní době roste význam belemnitů pro paleogeografické interpretace.

| BOREÁLNÍ OBLAST | TETHYDNÍ OBLAST | STUPEŇ |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| Cymodoce | Hypselocyclum | KIMMERIDŽ (ČÁST) |
| | Platynota | |
| Baylei | Galar | OXFORD (ČÁST) |
| | Planula | |
| | Bimammatum | |
| Pseudocordata (část) | | |
| PERM (MOŽNÝ TRIAS) | | |

Obrázek 3: Biozóny definované na základě amonitové fauny z dvou různých paleobiogeografických oblastí- boreální a tethydní (upraveno podle Hrbek 2014).

Geologie



Obrázek 4: Převrácené jurské vrstvy na lokalitě Vápenka, s charakteristickým střídáním dolomitických (světlejší) a jemnozrnějších nekarbonátových (tmavší) vrstev (foto Aleš Novák).

Jurské horniny jsou v české části tvořeny stupni kelovej, kimmeridž, oxford a pravděpodobně spodní tithon (Holcová and Holcová 2016). Stupni kelovej náleželo dle původních výzkumů přibližně deset metrů mocné pískovcové brtnické souvrství bez známek fauny či flory (Eliáš 1981). Na tuto formaci nasedají vápencové až dolomitické doubické vrstvy oxfordského stáří s mocností mnohdy až několik desítek metrů. Stupeň kimmeridž pak tvoří tmavší a méně mocné vápence (Eliáš 1981). Stojí za zmínku, že Georg Bruder popsal z bývalého lomu Šternberk rostrum, kterému přiřadil stáří střední jury- bathon či bajok (Bruder 1882). Vzhledem k nedohledatelnosti vzorku a nedokonalosti autorova malířského umu bylo nutné vše výše zmíněné důkladně prověřit. O střední juře (*dogger*) se zmiňuje ve své doktorské práci (1870) také Oskar Lenz, který popisuje nálezy fosilií z tohoto období, mj. *Megateuthis gigantea* Schlotheim, 1820.

V německé části lužické poruchy je situace lehce odlišná. Sedimentace v této oblasti započala již dříve. Georg Bruder označil za počátek vzniku zdejších sedimentárních struktur již střední juru, konkrétně bathon (Bruder 1885). Na základě popisu druhu *Megateuthis*

Geologie okolí lužické poruchy je dosti složitá. Byla reaktivována v průběhu terciéru a podél ní byly vyvěčeny na povrch horniny staršího data vzniku. V oblasti se nachází sedimentární horniny křídového, jurského i permokarbonského stáří spolu s metamorfity a vulkanity ranně prvohorního až neoproterozoického stáří. Permokarbonské horniny náleží k sudetským (lugickým) pánvím a na území Čech vystupují pouze při lužické poruše (Holub, Skoček, and Tásler 1978).

Mají aluviální až limnický původ a jejich další části přesahují pod povrchem i do okolních zemí. Bývají nejčastěji řazeny k vrchlabskému a prosečenskému souvrství autunského stáří (např. Holub, Skoček, and Tásler 1975).

gigantea, Schlotheim 1820 lze však počátek sedimentace při dnešní lužické poruše posunout až do stupně bajok. Konec sedimentace zde se předpokládá taktéž v kimmeridži, popřípadě na českém území ve spodním tithonu (Bruder 1885; Holcová and Holcová 2016). Horninové masy zde jsou však celkově méně bohaté na fosilní zbytky. Dosahují ovšem větších mocností, až 500 metrů (Bruder 1886b).

Dle litologie nalézáných hornin je pravděpodobné, že se oblast nacházela v šelfovém moři či zálivu s občasným přínosem klastických materiálů z pevniny. Litologická pestrost vápenců a jiných jurských hornin v této oblasti je celkem značná. Na lokalitě Vápenka u Nové Doubyce (*Neue Daubitz*) se nacházejí sledy hornin s rytmicky se střídajícími vrstvami dolomitizovaných vápenců s jemnozrnějšími vložkami nekarbonátové povahy (Obr. 4). Rytmické střídání vrstev je pravděpodobně způsobeno Milankovičovými cykly, jelikož by pravidelnost změny litologie neodpovídala přínosu klastických sedimentů ze souše, nebo z čela případné delty tehdejší řeky (například Olóriz and Rodríguez-Tovar 1998; Boulila et al. 2010). Nálezy mikritů na Peškově stráni ukazují na omezený přínos klastik a hemipelagickou až téměř pelagickou sedimentaci.

Dolomitizace vápenců (např. lokalita Vápenka) probíhala v terciéru působením znovu zaktivovaného lužického zlomu. Ten otevřel cestu neogenním vulkanitům a došlo ke kontaktní metamorfóze horninových celků. Horniny na lokalitách dále od poruchy jsou metamorfovány méně. Oblast je také výrazně tektonicky postižená. Vrstevní sledy mají často úklon i více než 90° a jsou mnohonásobně rozpukány. Díky těmto skutečnostem je případná geochemická analýza studovaných vzorků problematická, z důvodů diagenetického a zejména postdiagenetického postižení.

Na základě revize fauny belemnitů (především rodů *Belemnopsis* Bayle, 1878 a *Megateuthis* Schlotheim, 1820 lze posunout počátek sedimentace na Českém masivu stratigraficky do střední jury (bajok), viz níže. Lze předpokládat postupné rozšiřování jurského moře, průlivu či zálivu směrem na Český masiv ve směru SZ-JV od bathonu (možný bajok) do oxfordu. Mladší horniny, než tithonského stáří, se pravděpodobně vlivem pozdější regrese a následné eroze, nedochovaly. Zrevidované nálezy amonitů pochází pouze z oxfordu a kimmeridže (Hrbek 2014).

Vápencové vrstvy kimmeridžského stáří jsou tmavší v důsledku nastupující krize v průběhu tohoto období, které je znatelná i v širším měřítku Evropy a Sibíře. Projevuje se intenzivnějším ukládáním organických materiálů a anoxií. Krizí bylo několik a projevíly se, mimo jiné, snížením diverzity druhů belemnitů a naopak zvýšením jejich disparity (Dera, Toumoulin, and de Baets 2016).

Příčin nástupu tmavších vápenců s větším obsahem organické hmoty, a později i jílovců či slínovců, je několik. Změna diverzity a složení planktonu měla výrazný vliv na složení tehdejších sedimentů. Byla způsobena eustatickými pohyby hladin světového oceánu, vlivem cyklických změn oběžné dráhy Země, tektonickými vlivy, nastupující aridizací prostředí či nejpravděpodobněji kombinací více zmíněných možností (například Boulila et al. 2010; Mutterlose et al. 2003; Mattioli et al. 2011; Olóriz and Rodríguez-Tovar 1998; Wignall and Ruffell 1990; Oschmann 1988). Detailní informace o paleoenvironmentálních podmínkách v době ukládání kimmeridžských jílovitých hornin pochází především z detailního průzkumu ložisek ropy a zemního plynu v Severním moři, která právě v tomto období vnikala (Fishman et al. 2012).

Tafonomie a paleoekologie

Informace o sedimentačním prostředí nám mohou poskytnout také četné fosilie z jurských lokalit severních Čech a Saska. Známý jsou nálezy jurských korálů, které značí blízký výskyt možného útesu nebo bioherm. Vrchol potravního řetězce zde pravděpodobně patřil parybám- nález zubu *Notidanus* cf. *muensteri* Agassiz, 1843 z lomu Šternberk (Bruder 1882). Výskyt paryb značí čisté a prokysličené moře s dostatkem možné potravy. Zajímavostí je také hojný výskyt epibiontů (ústřic) na mnoha rostrech (Obr. 5). Zvláštních výstupků na rostrech si všiml již Georg Bruder (1881), ale jako epibionty je nepopsal. Tyto nálezy indikují nízkou dynamiku a pomalou sedimentaci. Dále jsou na lokalitách velice hojní brachiopodi, kteří indikují proudění s dostatkem potravy. Toto všechno vytváří představitelný obraz tehdejších podmínek.

Základ karbonátů je pelagického původu a jedná se



Obrázek 5: Srovnání vyfotografovaného poběleného vzorku (2019) a nákresu v práci Brudera (1881). Struktura na povrchu rostra je vytvořena ústřicí rodu *Liostrea* Douvillé, 1904, kterou Bruder chybně vyobrazil a nepopsal (vzorek č. N 03 ze sbírek NM)

pravděpodobně o mikritické vápence vzniklé diagenézí kokolitů (Noël et al. 1994). Sedimentace probíhala v ne příliš hlubokém šelfovém bazénu s omezeným přínosem materiálů z pevniny.

Nejčastěji se zachovávají rhynchoneliforní brachiopodi, kteří mají velice pevnou schránku a *post mortem* zůstávají obě misky živočicha u sebe. Dále se často nalézají schránky mlžů a ostny ježovek. Ostnokožci jsou značně stenohalinní živočichové žijící ve velice mělkých vodách a spolu s belemnity indikují stabilní mělké prostředí sedimentace s normální mořskou salinitou.

Charakter zachování materiálu ovlivněn blízkostí lužické poruchy. Rostra jsou násobně rozpukaná/rozlámaná (tektonicky porušená) a značně nekompletní, často bez alveolární, popřípadě apexní části. Ze vzorků deponovaných v muzeích lze snadno pospojovat části polámaných roster k sobě. Stav materiálu odpovídá tektonice oblasti a práci terénních paleontologů na konci 19. století, kdy z hornin velice pečlivě získávali kus po kusu fragmenty rostra.

Až na světlé výjimky zcela chybí fragmokon, či jen jeho náznak. Proostrakum není zachováno. Rostra jsou často na povrchu navětralá a bez povrchových skulptur: laterálních, apexních a jiných rýh a linií. Povrch bez výrazných prvků indikuje dlouhou expozici roster na mořském dně, kdy musela čelit abrazi a působení epibiontů. Celkově ale lze kvalitu vzorků popsat jako dobrou (viz Příloha A, Tab I.). Díky těžbě vápence se vzácněji nacházela i téměř celá, velmi dobře zachovalá rostra.

Velice nápadná je také občasná rekrytalizace primárního kalcitu tvořící rostra. Na vzorcích, které jsou zachovány v původní hornině (především lom Šternberk), je patrná několikanásobná fragmentace a druhotné vyhojení kalcitovými žilkami. Při lužické poruše docházelo k dolomitizaci, erozi a obdobným geologickým jevům. Vysoký obsah Fe oxidů je patrný jak na povrchu roster, tak podél jeho trhlinek. Často jsou i samotné dolomitizované vápence nabohaceny Fe oxidy a tvoří, již výše zmíněné, světlejší vrstvy v horninovém sledu.

Rostra belemnitů mají vysoké předpoklady k zachování se ve fosilním záznamu. Nízko-hořečnatý (low-Mg) kalcit, kterým jsou převážně tvořena, velice dobře odolává diagenetickým procesům. Zachování také podporuje odolnost rostra.

Při příhodných podmínkách se mohou, kromě měkkých částí, také na rostru zachovat například úpony přichycení ploutviček (dorsolaterální dvojité rýhy, *doppellinien*), které mohou napovědět mnohé o morfologii belemnitů. Většina nalézáných roster obecně pochází z mělkovodních, šelfových facií. Výjimečně se také nalézají rostra v hlubokovodnějších sedimentech pod úrovní šelfu s původní hloubkou přes 200 metrů (Hoffmann and Stevens

2020). Toto však pravděpodobně není způsobeno jejich možným přežíváním v takto hlubokých vodách, ale postmortálním transportem rostrů do těchto míst.

Rostra belemnitů, příp. jejich části mohou být rekrystalizovány nebo se během diagenese rozpouští. Vznikají tak prázdné dutinky v horninovém masivu (např. *Praeactinocamax plenus* Blainville, 1827 v SV části České křídové pánve). Diagenetickými procesy ztrácí rostra belemnitů na geochemickém významu, zejména poměry izotopů kyslíku a uhlíku ukazují značné odchylky a pro paleoekologické interpretace se stávají nepoužitelnými.

Materiál a metody

Materiál

Materiál je tvořen sbírkami deponovanými v Národním muzeu (depozitáře Horní Počernice), sbírkami v Chlupáčově muzeu historie Země při Ústavu geologie a paleontologie PřF UK, Praha a několika dalších muzeí (Muzeum města Ústí nad Labem, Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden: Museum für mineralogie und geologie, Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz, Technische Universität Freiberg atd.). Materiál byl obohacen také několika vzorky z vlastních sběrů a darů (pánové Martin Souček a Aleš Novák).

V materiálu jsou v převážném množství zastoupena adultní stádia, ale vyskytují se zde v neopomenutelném množství také juvenilní a nedospělí jedinci.

Rostra jsou většinou nekompletní a rozpukaná do mnoha částí (Příloha A, Tab. I.).

Zkratky institucí

NM- Národní muzeum Praha

CHMHZ- Chlupáčovo muzeum historie Země při Ústavu geologie a paleontologie Přírodovědecké fakulty UK

MUL- Muzeum města Ústí nad Labem

TUF- Technische Universität Freiberg

MMG- Senckenberg Museum für mineralogie und geologie Dresden

ÚGMNZ PřF UK Praha- Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze

Metody

Cílem této práce bylo systematické zařazení vzorků belemnitů do platných rodů, popřípadě druhů na základě morfologie rostr. Citace použitých prací, zejména moderní systematické práce, jsou uvedeny níže. Několika vzorkům ve sbírkách Národního muzea byla přiřazena nová inventární čísla, pokud jimi dané kusy nedisponovaly (č. N 01- 207). Pod těmito čísly jsou evidovány i ostatní jurské vzorky ze severních Čech, nejen belemniti, ale také brachiopodi, amoniti či echinodermáti.

Rostra byla měřena pomocí přiloženého měřítka s přesností na (mm). Zjištěné rozměry byly mj. použité při determinaci taxonů. Nejpoužívanějšími termíny v této práci jsou MLD (*maximum lateral diameter*= místo největší šíře rostra), d-s (laterální) diametr a d-v (dorso-

ventrální) diametr. Délka roster byla rozdělena do subjektivních kategorií- malá (do 50 mm), střední (do 300 mm) a dlouhá. Spolehlivým determinačním znakem byl zejména průřez rostrem v několika částech. Vzhledem ke stavu vzorků (tektonicky rozpukaná, rozlámaná) bylo jeho použití velice profitující. Charakter růstových linií se ve většině případů použít nedal. U jednoho vzorku (č. CHMHZ-JG-1) byl použit kolmý řez rostrem pro potvrzení či vyvrácení jeho taxonomické příslušnosti ke druhu *Megateuthis gigantea* Schlotheim, 1820 (Příloha A, Tab. V., Obr. 2a, b, c).

Vytvořeno bylo také 10 výbrusů o tloušťce 50 μm , které byly použity pro následnou katodoluminiscenci. Tento postup je všeobecným územ pro zjištění vhodnosti vzorků pro geochemické analýzy. Pilotní geochemická analýza se ukázala jako problematická a málo relevantní, především z důvodu diagenese vzorků v okolí lužické poruchy. Diagenetické procesy značně ovlivňují výsledný obsah použitelných izotopů. Diageneticky přinesené izotopy (především Mn) emitují veliké množství fotonů, či někdy emitaci vzorku inhibují (především Fe). Díky těmto skutečnostem se dá odhadnout stupeň diagenese karbonátu, které může být doplněno také izotopovou analýzou Fe a Mn. Množství železa hraje při analýzách mnohem větší roli, než množství manganu (Jones et al. 1994). Déle měla být provedena analýza izotopů C a O spolu se zjištěním přítomnosti diageneticky přineseného hořčíku v mřížce kalcitu. Vzhledem k momentální nefunkčnosti analytického přístroje však toto bylo znemožněno a analýza bude provedena jako součást odborného článku, který bude výstupem této práce.

Výbrusy byly analyzovány se zvětšením 2,5x10 pod speciálně upraveným mikroskopem (katodoluminiscenční aparatura CLmk4 (Cambridge) a spektrometr Avantes připojený k mikroskopu Leica na ÚGMNZ PřF UK Praha) opatřeným vývěvou a zdrojem elektrického napětí a proudu. Katodoluminiscence naznačila nízký geochemický potenciál studovaných hornin.

Vzorků pro geochemické analýzy bylo celkem 5 (č. 67, 72, 72-1, 72/2P ze sbírek CHMHZ a č. 3 z vlastních sběrů na lokalitě Peškova stráň). Vzorky pochází z lokalit Peškova stráň, Šternberk a Hohnstein. Následná izotopová analýza byla provedena na Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK Praha dle metodiky popsané v článku Míkové a Denkové (2007) z České geologické služby. Analyzovány byly obsahy prvků Ca, Mg, Sr, Rb, Mn a Fe.

Pro analýzy bylo nutné vyseparovat ze vzorků větší množství materiálu pomocí vrtačky s diamantovými popř. korundovými vrtáky. Pro zjištění kvalitativního poměru izotopů stroncia bylo nutné ve vzorku zjistit jeho koncentraci převyšující hodnotu 1000 ppm.

Analýza Rb měla potvrdit použitelnost vzorku pro stronciové analýzy. Při větším množství rubidia jsou výsledky nerentabilní. ^{87}Rb se rozpadá na ^{87}Sr a při vyšší koncentraci může množství ^{87}Sr značně ovlivnit.

Obsah Mn by měl dosahovat hodnot < 100 ppm, lépe < 40 ppm (Vaňková et al. 2019) nebo < 50 ppm (Jones et al. 1994) a množství železa by ideálně nemělo překročit koncentraci > 150 ppm. Přípustné koncentrace prvků a izotopů jsou mezi autory variabilní. V této práci byly použity informace obsažené v článcích Vaňkové (2019), Rosalese (2001; 2004), McArthura (2007), Jenkynse (1987; 2002) a Jonese (1994).

Sbírkový materiál NM v Praze zahrnoval také velice zajímavé, avšak špatně zachovalé rostrum. Pro determinaci byl využit přístroj Phoenix NANOMEX 180 na ČVUT, Laboratoře pro vývoj a realizaci při Fakultě elektrotechnické. Díky mikro-CT metodice a vizualizaci, bylo možné zjistit polohu i charakter alveoly. Následně byla potvrzena příslušnost ke stratigraficky významnému druhu *Megateuthis gigantea* Schlotheim, 1820. Přesné taxonomické zařazení odhalilo delší časový interval sedimentace na území severních Čech (viz Příloha C této práce).

Pro porozumění problematiky jurských belemnitů bylo nutno nastudovat větší množství současné i historické vědecké literatury. Pro popis taxonů byly použity především práce Pugaczewské (1957, 1961). Z důvodu zastaralosti těchto děl v moderní problematice pak byly pro moderní taxonomii a systematiku použity práce především Riegrafa (1981, 1999, 2000 aj.), Mariottiho (2002; 2012; 2013 aj.), Dzyuby (2005, 2011; 2018) či Jansseny (2003; 2011 aj.).

Dále bylo nutné nastudovat také články zabývající se problematikou izotopových analýz uhlíku, kyslíku a stroncia, především Míková (2007), dále například Vaňková et al. (2019), McArthur et al. (2004; 2007a; 2007b), Alberti et al. (2012) a Wierzbowski et al. (2009; 2017 aj.) z důvodů interpretace výsledků geochemických analýz.

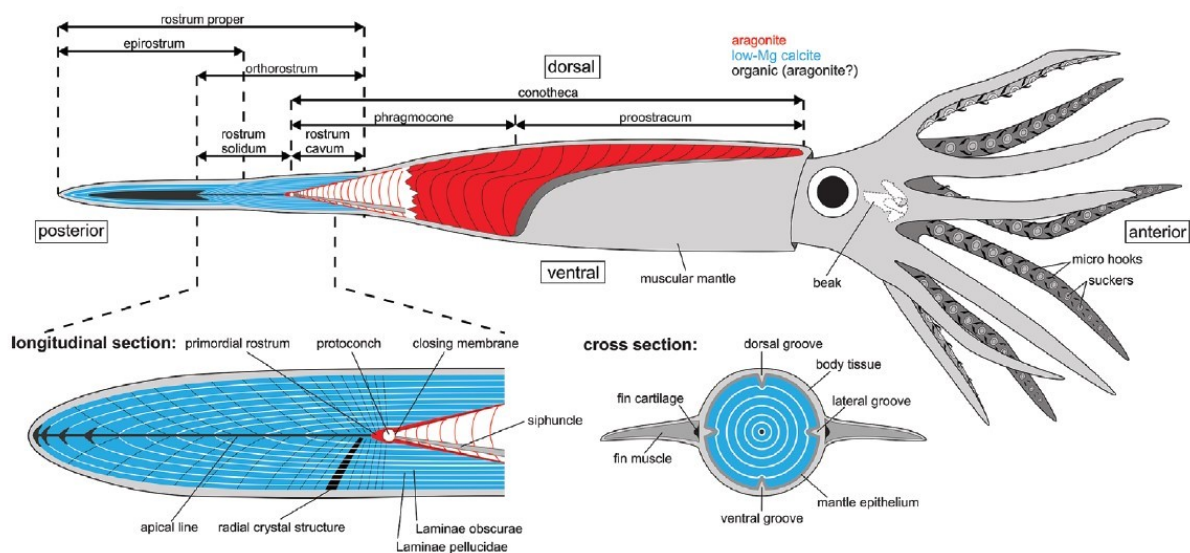
Pro grafické výstupy diplomové práce byly použity programy Microsoft Office Excel 2010, Zoner Callisto 5 a Inkscape vector graphics editor. Citace byly zpracovány citačním programem Mendeley Desktop.

Systematická část

Morfologie belemnitů

Schránku belemnitů tvoří několik pevných částí- orthorostrum, případně epirostrum (hydrodynamický orgán), fragmokon (hydrostatický orgán) a proostrakum (Arkhipkin et al. 2014), viz Obr. 6. Způsob života belemnitů měl zásadní vliv na tvar rostra. Pelagické formy mají rostrum protáhlé, většinou cylindrické, často vytvářejí organické (či aragonitové) epirostrum a nabývají někdy i velkých rozměrů (např. *Cylindroteuthis* Bayle, 1878). Naopak třeba tzv. „bottom-dwelling“ rod *Duvalia* Bayle, 1878 má rostrum výrazně laterálně stlačené (compressed) a předpokládá se tak úzká vázanost život při mořském dně.

V analogii k dnešním desetiramenným hlavonožcům byli výlučně aktivní predátoři. Rostra juvenilních stádií jsou si poměrně podobná a přesná determinace druhů, ba i rodů, na jejich základu není s jistotou možná. Malý belemnit začínal svůj život ve vajíčku, ve kterém se od nejranějších ontogenetických fází formovala tzv. iniciální komůrka (protokoncha). Postupem času si vytvářel protorostrum a v průběhu ontogeneze ho zvětšoval. Alveola byla chráněna rostrem, a tvořila pouzdro/jamku pro fragmokon. Poslední a největší část fragmokonu tvořila obývací komora a proostrakum, které vyztužovalo hřbetní část těla. Fragmokon pak kryla perleťovo-prizmatická dvouvrstevná konotéka, která následně vybíhala v proostrakum.



Obrázek 6: Rekonstrukce těla belemnita. Komplexní rekonstrukce zachycující pevné i měkké části, některé použité termíny a materiál, ze kterého je tělo tvořeno (Hoffmann and Stevens 2020).

Nálezy měkkých částí belemnitů jsou velice vzácné (např. Klug et al. 2010). Z dostupných zdrojů je známo, že měl belemnit 10 ramen s onychty (háčky), dále jeho

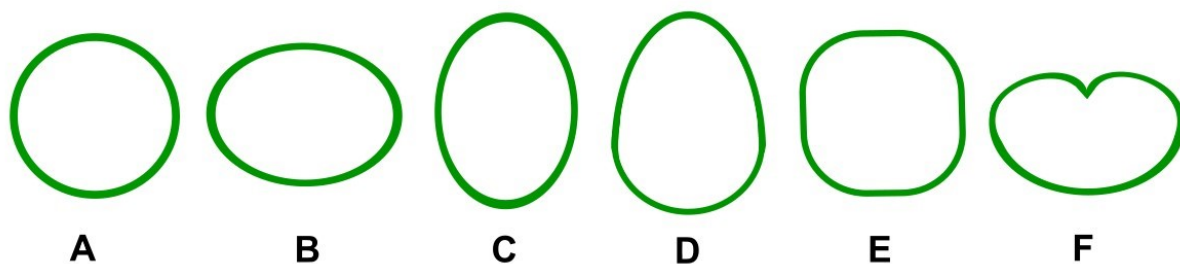
měkkou část těla tvořil inkoustový vak, hyponom a také velké komorové oči umístěné laterálně. Čelisti odpovídají dnešním moderním desetiramenným coleoidům.

Na rostrech se vyskytují různé rýhy. Hlavní rýhou (*groove*) velice pravděpodobně vedly cévy prokrvující posteriorní části rostra belemnita. Pozice a charakter hlavní rýhy je jedním z nejdůležitějších determinačních znaků pro přiřazení belemnitů do různých taxonomických jednotek. Ve svrchní juře se nejčastěji vyskytují rostra s výraznou ventrální rýhou (rody *Hibolites*, *Belemnopsis* aj.). V křídě naopak někdy převládá na rostrech rýha dorsální (např. rod *Rhopaloteuthis*, čeleď *Duvaliidae* aj.).

Časté jsou také variabilní laterální linie (*fissures/furows*). Anglicky dobře odlišitelný termín bohužel nemá český ekvivalent, a tak se pro lepší determinaci musí specifikovat povaha rýhy (např. ventrální rýha/laterální rýha). Laterální rýhy mohou být krátké, ale některé bývají odlišitelné po celé délce rostra, záleží na taxonu. Hůře odlišitelné či nepřítomné bývají zpravidla u špatně zachovaných roster. Laterální rýhy zpravidla vedou distálně od alveoly a postupně se vytrácejí (viz Obr. 8, d).

Předpokládá se, že vnitřek rostra, ale také část fragmokonu kolem sifonální trubice, tvořila převážně organická hmota. Sifonální trubice sloužila k osmotické regulaci kapalin a plynů ve fragmokonu, který představuje hydrostatický orgán. K přeměně na kalcit či aragonit docházelo až druhotně po smrti jedince, možná však již během života (Hoffmann and Stevens 2020).

Apikální části roster mají také různou povahu. Bývají špičaté, zaoblené, někdy s tzv. mukronátní špičkou. Vyskytují se na nich také rýhy, které bývají specifické v rámci čeledi či rodů (např. čeleď *Cylindroteuthidae*). Použitelným a významným determinačním znakem je také průřez rostrem (*cross-section*). Ten může být kulatý, oválný, vejčitý, stlačený laterálně (*compressed*) či dorso-ventrálně (*depressed*), nebo například kvadratický (Obr. 7).

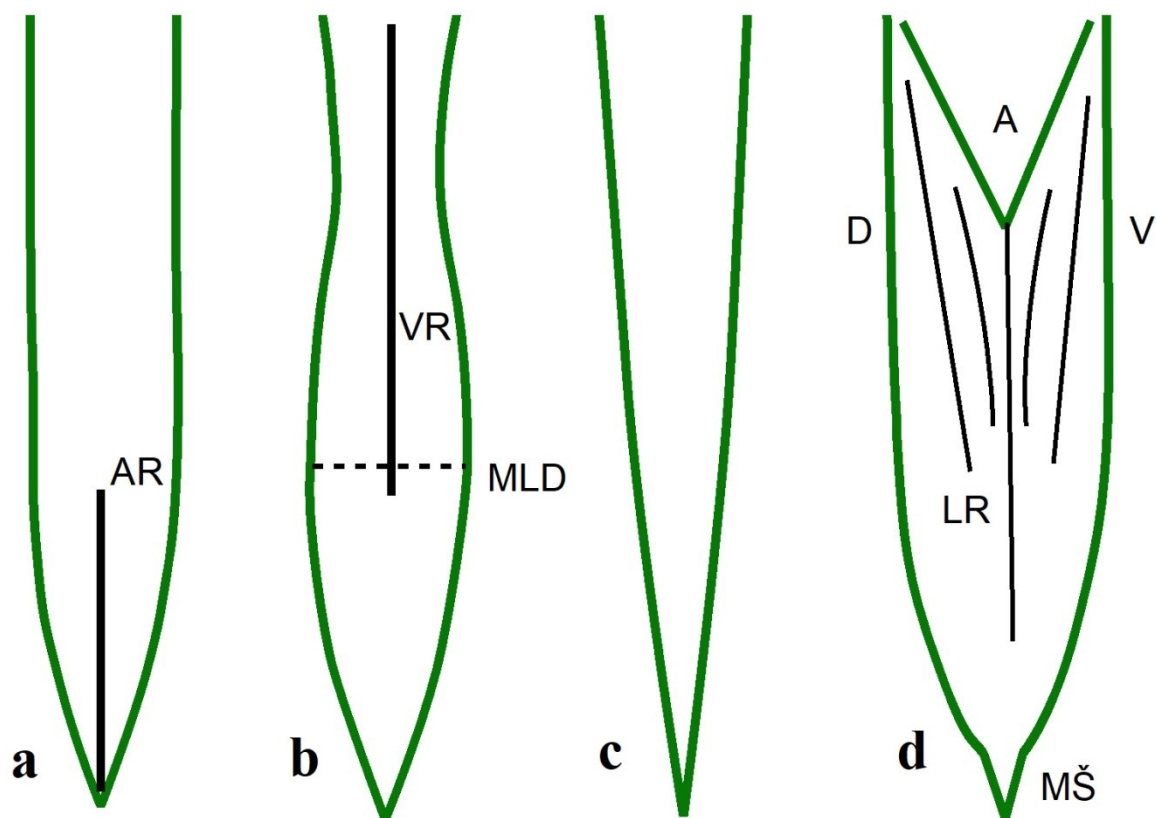


Obrázek 7: Schématický nákres hlavních typů průřezů roster (*cross-sections*); A- kulatý, B- oválný (*depressed*), C- oválný (*compressed*), D- vejčitý, E- kvadratický, F- ledvinovitý.

Tvary roster a jejich charakter

Existuje několik základních tvarů rostra, z nichž minimálně 3 ukazují na odlišný způsob života jedinců (Obr. 8). Tvar cylindrický (a) byl pravděpodobně uzpůsoben k životu v rozličných prostředích. Díky svému tvaru mohlo toto rostrum belemnitovi dobře sloužit pro migrace na delší vzdálenosti, stejně jako pro vertikální migrace vodním sloupcem. Hastátní morfotyp (b) se vyskytoval u belemnitů, kteří obývali také hlubší vody, ve kterých se mohli rychle pohybovat. Souvisí s jejich nekto-bentickým způsobem života. Tento morfotyp se stává dominantním během svrchní jury. Tvar tohoto rostra v sobě kloubí výborné hydrodynamické vlastnosti spolu s nižší energií pro jeho tvorbu a odolností. Kónický typ (c) je z těchto roster nejméně variabilní. Potřebná energie na jeho tvorbu je vyšší a belemnit s tímto rostrem nemohl tak dobře v prostředí manévrovat. Tento typ postupně mizí během svrchní jury, kdy je nahrazen především právě typem hastátním (Dera, Toumoulin, and de Baets 2016).

U svrchnojurských belemnitů (především u rodu *Belemnopsis*) se často můžeme setkat také s pojmem kanalikulátní rostrum. Charakterem je na pomezí hastátního a cylindrického, má však velmi výraznou ventrální či dorsální rýhu, která významným způsobem ovlivňuje průřez rostrem. Tento typ rostra se především v minulosti promítal také do druhových názvů jednotlivých belemnitů- například *Belemnites postcanaliculatus* Bruder, 1882, či *Belemnites unicanaliculatus* Zieten, 1830 (např. Bruder 1881).



Obrázek 8: Nejčastější typy roster a některé používané termíny; a- cylindrické, b-hastátní, c-kónické, d-cylindrické schematicky popsané; AR- apikální rýha, VR- ventrální rýha, LR- laterální rýhy (několik typů), MLD- místo maximální šíře rostra, D- dorsum, V- ventrum, A- alveola, MŠ- mukronátní špička; (a-c) ventrální pohled, d) laterální pohled.

Systematika

Použité zkratky a názvosloví:

MLD- maximum lateral diameter (místo maximální šíře rostra)

d-s diameter- šíře rostra v různých místech

d-v diameter- dorso-ventrální mocnost rostra

Seznam lokalit:

Sasko: Hohnstein

ČR: *Sternberg* (Šternberk)

Khaa (Kyjov/Peškova stráž)

Zeidler (Brtníky)

Třída: *Cephalopoda* Cuvier, 1797

Podtřída: *Coleoidea* Bather, 1888

Nadřád: *Belemnoidea* Gray, 1849

Řád: *Belemnitida* Zittel, 1895

Podřád: *Belemnopseina* Jeletzky, 1965

Čeleď: **BELEMNOPSEIDAE** Neaf, 1922

Rod: *Hibolites* Montfort, 1808

Typový druh: *Hibolites hastatus* Montfort, 1808 (*Belemnites sulcatus* v. Münster, 1830 *sensu* Riegraf (1998), označil *H. hastatus* za *nomen dubium*)

Popis taxonu: Rod *Hibolites* má veliké množství spolehlivých determinačních znaků. Především je to charakteristický, hastátní tvar rostra a výrazná ventrální rýha. Rostrum je zpravidla nejužší v místě protokonchy a postupně se rozširuje posteriorním směrem zhruba do 3/4 délky rostra, kde bývá také dorso-ventrálně nejmocnější. V místě alveoly bývá rostrum stlačené laterálně (*compressed*) a zpravidla v nejširším místě dorso-ventrálně (*depressed*). Rostrum je v posteriorní části ventrálně vypuklé, zatímco na dorsální straně ploché. Kromě alveolární rýhy se na rostru mohou vyskytovat také jiné, různě dlouhé laterální rýhy (*furrows/fissures*). Apikální linie je excentrická, ukloněná k dorsální straně. Průřez rostrem je obecně kulatý až oválný.

Vztahy a poznámky: Pierre Denys De Montfort v roce 1808 jako první popsal a vyobrazil druh *Hibolites hastatus*, ke kterému také vytvořil ve stejné práci rod *Hibolithes*. Jeho zobrazení se ovšem neshoduje se všeobecnou interpretací tohoto rodu, respektive druhu. Proto je některými autory zpochybňována platnost taxonu a raději používají definici z pozdějších let- *Hibolites* Mayer-Eymar, 1883 (Combémourel and Howlett 1993).

Některé zdroje uvádějí stanovení rodu *Hibolites* již roku 1806, což není pravda. Značné nesrovnalosti také panují v názvech samotného rodu. Setkáváme se se jmény *Hibolites* a *Hibolithes*, který jako první použil právě Montfort. Jeho práce je psaná francouzsky, a to včetně popisů rodů. Ke každému taxonu je pak do uvozovek dán latinský název (například *Hibolite/Hibolithes*).

Paleogeografické rozšíření: téměř kosmopolitní, původ v Tethydní oblasti, následná expanze do prakticky všech oceánů tehdejšího světa.

Stratigrafický rozsah: střední jura (kelovej) – spodní křída (alb).

Hibolites hastatus Monfort, 1808

(Příloha A, Tab. II., č. 1-7)

- 1808 *Hibolites hastatus* Monfort n. sp.; str. 384-5, tab. XCVII.
1827 *Belemnites hastatus* de Blainville; str. 71, tab. 2, obr. 4-4a, 5 c-i; tab. 5, obr. 3, 3a.
1830 *Belemnites semihastatus* von Zieten; str. 29, tab. 22, obr. 4.
1858 *Belemnites semihastatus rotundus* Quenstedt; str. 548, 597, tab. 72, obr. 13, 15; tab. 74, obr. 11.
1870 *Belemnites canaliculatus* Schlotheim.- Lenz; str. 27.
1874 *Belemnites hastatus* (de Blainville).- Alth; str. 229, tab. 4, obr. 1- 3.
1922 *Hibolites hastatus* Monfort.- Neaf; str. 204, 249, obr. 71; str. 246, tab. 89f.
1981 *Hibolites (Hibolites) hastatus hastatus* (Monfort).- Riegraf; str. 81-4, 199-201, tab. 6, obr. 45-47 (s rozšířenou synonymikou).
2002 *Hibolites hastatus* Monfort.- Mariotti; str. 17, tab. 1, obr. 1-6.

Materiál: 5 kompletních roster včetně juvenilních, 10 téměř kompletních s chybějící alveolární částí nebo apexem, 25 fragmentů; lokality Hohnstein, Brtníky, Šternberk a Kyjov.

Popis: *Hibolites hastatus* byl ve své době jedním z nejrozšířenějších belemnitů. Množství typických determinačních znaků umožňuje spolehlivé určení tohoto druhu. Tvar rostra je hastátní, s apikální linií excentrickou k dorsální straně povrchu rostra. Rostrum dosahuje středních délek, délka apikální části maximálně kolem 50-60 mm, ve většině případů však mnohem méně (Pugaczewska 1961). MLD leží přibližně ve 3/4 délky rostra distálně od alveoly a v těchto místech končí také velice výrazná ventrální rýha. Často se vyskytuje větší množství laterálních rýh, apikální rýha není na rostru přítomna. U tohoto druhu je nejnápadnější dorso-ventrální a laterální stlačení rostra. V okolí alveoly je rostrum stlačené laterálně (*compressed*) a v místě MLD dorso-ventrálně (*depressed*). Průřez rostrem je kulatý či oválný, dle místa řezu.

Vztahy a poznámky: Spousta autorů neuznává validnost taxonu *Hibolites hastatus* Monfort, 1808 z důvodu nepřesvědčivého zobrazení na tabuli. V dnešní době panuje všeobecná shoda nad morfologickým vymezením tohoto druhu, a to i v rámci odlišení od příbuzných druhů (*H. semihastatus* Blainville, 1827; *H. beyrichi* Opperl, 1857). Tyto druhy se navíc vyskytují v jiných stratigrafických úrovních (např. *H. beyrichi* v bathonu). Tento druh tvoří většinu nalézáných vzorků roster.

Výskyt: spodní oxford – svrchní kimmeridž, bathon – oxford v Polsku (Mariotti 2002); Tethydní oblast s širokými přesahy do oblastí okolních- Anglie, Polsko, ČR, Portugalsko, Alžírsko, Kavkaz, Indie, Madagaskar aj. (Mariotti et al. 2013)

Rod: *Belemnopsis* Bayle, 1878

Typový druh: *Belemnites apiciconus* Blainville, 1827 (= *Belemnites sulcatus* Miller, 1826 jako přiřazený typový druh Douvillém (1879) a znázorněný jako *Belemnopsis sulcatus* Miller, 1826 Claude-Émilem Baylem (1878)) (Mitchell 2015).

Popis taxonu: Značně taxonomicky neuniformovaný rod belemnitů s hastátním, kanalikulátním až cylindrickým tvarem rostra, dlouhou a velmi výraznou ventrální rýhou a zpravidla dorso-ventrálně stlačeným tvarem rostra (*depressed*). Rostrum má po celé své délce minimálně variabilní laterální diametry (d-s), vyjma oblasti alveoly a apexu. Rozdíly v šíři rostra bývají maximálně kolem 1 mm. Umístění MLD značně variabilní a obtížně použitelné pro determinaci taxonů. Časté jsou laterální rýhy. Dorsum lehce klenuté, ventrum ploché. Průřezy bývají ve větší části rostra často ledvinovitého tvaru, díky dorso-ventrálnímu stlačení rostra. V okolí apexu a alveoly mají rostra průřez kulatý. Zřídka se může vyskytovat mukronátní zakončení apexu.

Vztahy a poznámky: Rod *Belemnopsis* má velice široký stratigrafický rozsah. Objevuje se již na konci spodní jury a přetrvává až do konce spodní křídly. Bouřlivý rozmach zažívá především ve střední juře (stupně bathon a kelovej), kdy se diverzifikuje do mnoha různých druhů (viz Obr. 9), které spojuje podobný a velice výhodný tvar rostra. Děje se tomu díky ústupu anoxických událostí v toarku a využití relativně volné nekto-bentické niky těmito belemnity.

V posledních letech se tento rod opět dostává do širší pozornosti odborné veřejnosti. Dle některých autorů je validnost taxonu nejasná (např. Riegraf 1999). V roce 1849 totiž John Edward Gray představil nový rod *Belemnopsis* Edwards in Gray, 1849 přiřazeného k terciérnímu spirulidnímu druhu *Beloptera anomalus* Sowerby, 1829 prvně právě Fredericem Erasmem Edwardsem. Zde je velice důležité zdůraznit, že se pravděpodobně jedná o „*incorrect original spelling*“ rodu *Belemnopsis*, který jako první popsal právě Edwards (Mitchell 2015). Gray v té době pracoval na uceleném katalogu o terciérních hlavonožcích ve sbírkách British Museum v Londýně. Simon F. Mitchell (2015) soudí, že se oba pánové museli osobně sejít, protože Gray jasně přiřazuje název taxonu Edwardsovi. Na základě data přijetí do tisku lze poté zjistit, že práce Graye, která obsahovala odkaz na práci Edwardse, byla do tisku přijata

dříve. Rod *Belemnopsis* Bayle, 1878 je právě díky těmto skutečnostem často označován za invalidní, což ovšem nemusí být pravdou. Douvillé pak o rok později (1879) definoval pro tento rod typový druh *Belemnites sulcatus* Miller, 1826. Dobře zakořeněné a velice často používané označení názvu taxonu *Belemnopsis* Bayle, 1878 by bylo na škodu měnit či rušit vzhledem k všeobecnému rozšíření používání tohoto jména v minulosti i dnes (což v podstatě neodporuje pravidlům zoologické nomenklatury).

Wolfgang Riegraf (1999) naproti tomu razí nekompromisní názor invalidnosti taxonu *Belemnopsis* Bayle, 1878. Navrhuje používání rodového jména *Pachybelemnopsis* Riegraf, 1981 nebo přiřazení zástupců rodu *Belemnopsis* Bayle, 1878 do rodu *Holcobelus* Stolley, 1927 či *Lagonibelus* Gustomesov, 1958. Tento názor, stejně jako první, je potřeba ještě v následujících letech diskutovat.

Paleogeografické rozšíření: kosmopolitní taxon (Antarktida, Čína, Rusko, Egypt, Papua- Nová Guinea, Německo, ČR aj.), původ v Tethydní oblasti, následná expanze do prakticky všech oceánů tehdejšího světa.

Stratigrafický rozsah: spodní jura (toark) – spodní křída (alb/apt)

Belemnopsis canaliculatus Schlotheim, 1820

(Příloha A, Tab. III., č. 1-2)

1820 *Belemnites canaliculatus* Schlotheim n. sp.; str. 49.

1830 *Belemnites canaliculatus* Schlotheim.- Zieten; str. 27, tab. 21, obr. 3 a-e.

1842 *Belemnites canaliculatus* Schlotheim.- d'Orbigny; str. 108-10, tab. 13, obr. 1-5.

1920 *Belemnopsis canaliculata* Schlotheim.- Bülow-Trummer; str. 127.

1953 *Belemnites canaliculatus* Schlotheim.- Różycki; str. 325.

1961 *Belemnopsis canaliculatus* (Schlotheim).- Pugaczewska; str. 143-6, tab. IX.

Materiál: 1 kompletní rostrum, 1 téměř kompletní s chybějící alveolární částí a apexem, 25 fragmentů; lokality Šternberk a Brtníky

Popis: Většinou cylindrická rostra nabývají nejčastěji kratších a středních délek, délka apikální části až kolem 30 mm (Pugaczewska 1961). Tvar někdy bývá definován jako kanalikulátní (tj. s hlubokou rýhou; *sensu* Riegraf 1981), podle kterého dostal druh také své jméno. Je to tvar na pomezí hastátního a cylindrického, s větší afinitou k druhému. Šíře a mocnost rostra jsou po celé jeho délce přibližně

stejně, nejmenší laterální diametr je však v oblasti alveoly. Vydutí rostra směrem od apikální linie je málo výrazné. Spolehlivým determinačním znakem je velice široká a hluboká ventrální rýha táhnoucí se v mnoha případech až ke konci apexu. Nevýrazné laterální linie lze nalézt pouze na velmi dobře zachovalých rostrech a vedou často přes celou délku rostra. Apex bývá někdy zakončen mukronátní špičkou. Průřez rostrem je ledvinovitý, zřídka oválný či kulatý na apexu.

Vztahy a poznámky: Ve vymezení tohoto taxonu panuje chaos a zmatek. Dle Pugaczewské se jedná o druh s velice širokým stratigrafickým rozsahem, od bathonu až do oxfordu (Pugaczewska 1961). Většina odborníků však zařazuje tento druh pouze do střední jury, bajok-bathon (např. van Diggelen 1986). Současná literatura k vyřešení tohoto taxonomického/stratigrafického problému prakticky neexistuje.

Determinace je ztížena množstvím podobných druhů s nejasným stratigrafickým zařazením, jako jsou *B. bessina* d'Orbigny, 1842 či *B. subhastatus* Zieten, 1831. *B. canaliculatus* má však charakteristickou ventrální rýhu po celé délce rostra a v některých případech přítomnou mukronátní špičku apexu. *B. subhastatus* má delší apex a ventrální rýha v mnoha případech nevede až k vrcholu apexu.

Výskyt: bathon – spodní oxford; Tethydní oblast s širokými přesahy do okolních oblastí - Evropa, Kavkaz, Asie, Indie, Austrálie (Pugaczewska 1961).

Belemnopsis latesulcatus Voltz, 1832 in Thurmann (1832)

(Příloha A, Tab. III., č. 3-4)

1832 *Belemnites latesulcatus* (Voltz).- Thurmann; str. 27.

1846-9 *Belemnites semihastatus depressus* Quenstedt n. sp.; str. 440, tab. 29, obr. 12-19.

1893 *Belemnites latesulcatus* (Voltz).- Riche; str. 327-328, tab. II, obr. 13-17.

non 1910 *Belemnites latesulcatus* (Voltz).- Benecke; str. 129-32, tab. 1, obr. 1, 2.

1920 *Hibolithes latesulcatus* Voltz.- Bülow-Trummer; str. 145.

1961 *Belemnopsis latesulcatus* (d'Orbigny).- Pugaczewska; str. 150-153, tab. XI, XII.

2002 *Belemnopsis latesulcatus* Voltz in Thurmann.- Mariotti; str. 20, 22, tab. 2, obr. 3-6.

2013 *Pachybelemnopsis latesulcatus* (Voltz in Thurmann).- Mariotti; str. 4, tab. 3, obr. A.

Materiál: 1 kompletní rostrum, 4 fragmenty roster; lokality Brtníky a Kyjov

Popis: Rostrum cylindrické, lehce hastátní a kanalikulátní. Rostrum dosahuje středních a menších velikostí, zpravidla kolem 100 mm. Apikální část může měřit až 60 mm (Pugaczewska 1961). MLD přibližně v 1/3 délky rostra distálně od alveoly, nejmenší laterální diametr v okolí alveoly. Ventrální rýha je široká a sahá téměř přes celý apex. Nejvýraznějším determinačním znakem tohoto taxonu jsou výrazné kýlovité laterální valy (Příloha A, Tab. III., č. 3-4), které se táhnou téměř po celé délce rostra, vyjma oblasti kolem alveoly a apexu. Tyto struktury se tvořily až ve vrcholném stádiu života belemnita. Apikální část je relativně krátká, občas osazená mukronátní špičkou. Průřez rostrem je oválný až ledvinovitý, dorso-ventrálně stlačený (*depressed*).

Vztahy a poznámky: Druh původně popsán jako *Belemnites latesulcatus* (Voltz, 1832) avšak samotný Philippe Louis Voltz své jméno s taxonem nikdy nespojil. V roce 1830 napsal knihu „*Observations sur les Bélemnites*“, ve které opět jméno v kombinaci s taxonem - *B. latesulcatus* Voltz, neobjevuje. O dva roky později však Jules Thurmann (1832) vydává svoji práci „*Essai sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy*“, kde již je toto pojmenování jasně napsáno. Název tak musel Voltz vymyslet mezi léty 1830-32 a ústně nebo písemně ho Thurmannovi sdělit (Mariotti 2002). Taxon také popsal v roce 1845 Alcide d'Orbigny. Vyobrazil ho však až Ernst Wilhelm Benecke v roce 1910 a přiřadil ve své práci prioritní právo výběru názvu taxonu právě Voltzovi (Benecke 1910).

Tento druh rodu *Belemnopsis* lze od ostatních zmíněných v této práci odlišit také relativní menší velikostí vůči ostatním rodům. Dorsální vyduť rostra je zde také nejvýraznější.

Výskyt: bathon – střední oxford; Tethydně vázaný, lokálně hojný druh, Anglie, Polsko, Alžírsko, Itálie aj. (Mariotti 2002).

Belemnopsis subhastatus Zieten, 1831

(Příloha A, Tab. IV., č. 1-2)

1831 *Belemnites subhastatus* Zieten n. sp.; str. 27, tab. 21, obr. 2 a-e.

1920 *Hibolites subhastatus* Zieten.- Bülow-Trummer; str. 154-5.

1953 *Belemnites (Hibolites) subhastatus* Zieten.- Rózycki; str. 326.

1961 *Belemnopsis subhastatus* Zieten.- Pugaczewska; str. 154-7, tab. XII, obr. 2; tab. XII, obr. 1-7.

1998 *Belemnopsis subhastata* Zieten.- Schlegelmilch; str. 81, tab. 18, obr. 1-2.

2016 *Belemnopsis subhastata* Zieten.- Dzyuba; 51-2, tab. 1, č. 2 A-E.

Materiál: 1 kompletní rostrum, 1 téměř kompletní, 7 fragmentů; lokalita Šternberk

Popis: Středně dlouhé rostrum s cylindrickým až hastátním tvarem, značně protáhlé. Je zde celkem dobře rozeznatelné vydutí rostra na ventrální straně. MLD je taky zřetelné a nachází se přibližně v 1/2 délky rostra distálně od oblasti alveoly. Ventrální rýha zpočátku výrazná, směrem k apexu se rozšiřuje a poté se ještě před ním zcela ztrácí. Laterální linie jsou rozeznatelné přibližně do 1/2 délky rostra distálně od alveoly. V proximální části jsou přikloněné ventrální straně povrchu rostra a dále se od ní vzdalují. Apex je značně protáhlý a špičatý. Průřez rostrem je v proximální části mírně laterálně stlačený (*compressed*) a v distální, vyjma apexu, stlačený dorso-ventrálně (*depressed*). Tvar průřezu je oválný, v proximální části mírně vejčitý a v apexu kulatý (Schlegelmilch 1998).

Vztahy a poznámky: Největší podobnost tento druh vykazuje s druhem *B. bessina* d'Orbigny, 1842. Ten má však méně výraznou ventrální rýhu a je také o něco více protáhlý. K záměně by také mohlo dojít s druhem *B. canaliculatus*, ale ten se opět liší povahou ventrální rýhy, která je v jeho případě delší a výraznější, než u *B. subhastatus*, ale také výraznějším dorso-ventrálním stlačením. Spory o přearžení do rodu *Hibolites* Monfort, 1808 byly vyřešeny (např. Bülow-Trummer 1920) a druh se pevně zakotvil v rámci rodu *Belemnopsis* Bayle, 1878.

Výskyt: bathon – kelovej; výskyt v Tethydní oblasti s mírnými přesahy do oblastí přechodných, Anglie, Francie, Německo, Polsko, ČR, Srbsko, Indie aj. (Pugaczewska 1961).

Čeled': DUVALIIDAE Pavlow, 1914

Rod: *Rhopaloteuthis* Lissajous, 1915

Typový druh: *Belemnites sauvanaui* (d'Orbigny, 1842)

Popis taxonu: Obecně kyjovitý tvar rostra u dospělců a gerontů, u juvenilů tvar rostra hastátní až cylindrický. Nevýrazně dorso-ventrálně zploštělé rostrum (*depressed*), distálně se od alveolární oblasti rozšiřující do zhruba 2/3 délky rostra. Dorsální rýha výrazná a obvykle krátká, končí nejčastěji v 1/2 – 2/3 délky rostra posteriorně od fragmokonu. Alveola poměrně hluboká, někdy dosahující až 1/3 délky rostra distálně od alveoly. U juvenilů je průřez rostrem kulatý, v průběhu dospívání se pak u některých druhů (např. *Rh. mayerii* Alth, 1875) mění až na kvadratický.

Nejčastěji však zůstává oválný či kulatý. Apikální část je poměrně krátká. Apex bývá zakončen mukronátní špičkou nebo nevýrazným zaoblením. Laterální rýhy se často táhnou po celé délce rostra.

Vztahy a poznámky: Přiřazení rodu *Rhopaloteuthis* Lissajous, 1915 k čeledi *Duvaliidae* Pavlow, 1914 bylo dlouho předmětem dohad a sporů. Od příbuzných taxonů se odlišuje především na základě robustnějšího a kratšího rostra v gerontním stádiu. Tomuto taxonu jsou nejvíce podobné rody *Berriasibelus* Delattre, 1952, *Somalibelus* Jeletzky, 1972, *Conobelus* Stolley, 1919 a *Castellanibelus* Combémoré, 1972, které se však vyskytují v mladších geologických obdobích (kimmeridž – spodní křída) a jsou tedy stratigraficky snadno rozeznatelní. Jedná se pravděpodobně o morfologický paralelismus (Janssen 2003). Rozkol v taxonomii je znám již od 50. let od Haliny Pugaczewské (Pugaczewska 1957, 1961). Robert Weiss dokonce označil rod *Conobelus* za mladší synonymum rodu *Rhopaloteuthis* (Riegraf, Jensen, and Schmitt-Riegraf 1998). Setkáme se také s dalším synonymem *Pachyduvalia* Riegraf, 1981. Velice často jsou druhy rodu *Rhopaloteuthis* přezazovány do jiných rodů. V současnosti je tento rod předmětem zvýšené pozornosti odborníků, což by v konečném důsledku mělo přispět k vyjasnění taxonomického zařazení.

Paleogeografické rozšíření: Polsko, Francie, Německo, Švýcarsko, ČR, Alžírsko, Madagaskar, Indie, Mexiko aj.

Stratigrafický rozsah: střední jura (bathon) – svrchní jura (oxford, možný kimmeridž) (Janssen 2003)

Rhopaloteuthis sauvanausa d'Orbigny, 1842

(Příloha A, Tab. IV.)

1842 *Belemnites sauvanai* d'Orbigny n. sp.; str. 128-130, tab. 21, obr. 1-10.

1882 *Belemnites Sauvanaus* (d'Orbigny).- Bruder; str. 458, tab. I, obr. 6.

1900 *Hibolites Sauvanai* d'Orbigny.- Lorient; str. 6, tab. 2, obr. 2.

1925 *Belemnites sauvanaus* (d'Orbigny).- Lissajous; str. 41-3, 131, tab. 23.

1961 *Rhopaloteuthis sauvanaus* d'Orbigny.- Pugaczewska; str. 194-5, tab. VI., obr. 7-9.

2002 *Rhopaloteuthis sauvanausa* d'Orbigny.- Mariotti; str. 27. tab. 4, obr. 4, 7.

Materiál: 2 téměř kompletní rostra; lokalita Šternberk

Popis: Tlusté a kratší kyjovité rostrum hastátního tvaru. Výrazně vydutá ventrální strana povrchu rostra. MLD se nachází zhruba ve 2/3 délky rostra distálně od alveolární oblasti. Dorsální rýha dosahuje často až k místu MLD, je hluboce zaříznutá. Apikální linie lehce dorsálně excentrická. Hluboká alveola dosahující až 1/3 délky rostra distálně od alveoly. Jsou viditelné slabé laterální rýhy. Apex je krátký, zakončený mukronátní špičkou. Průřez rostrem je v okolí alveoly kulatý, postupně přechází až na kvadratický v blízkosti místa s MLD (Mariotti 2002).

Vztahy a poznámky: Jeden z nejhojnějších druhů rodu *Rhopaloteuthis* z hornin stáří oxfordu. Nejvyšší podobnost vykazuje s druhem *R. argoviana* Mayer, 1863. Ten má však kratší rostrum s hastátnějším tvarem. Velice obtížná je také determinace a rozlišení jednotlivých druhů na základě juvenilních stádií, a to i v rámci jiných rodů.

Výskyt: svrchní kelovej – střední oxford; Tethydni druh belemnita s přesahem do přechodných oblastí, Německo, Polsko, ČR, Itálie, Turecko, Alžírsko, Indie, Madagaskar aj. (Mariotti 2002).

Podřád: Belemnitina *MacGillivray, 1840*

Čeled': *MEGATEUTHIDIDAE* Sachs and Nal'njaeva, 1967

Rod: *Megateuthis* Bayle, 1878

Typový druh: *Belemnites giganteus* Schlotheim, 1820 (mladší synonymum pro *Belemnites suevicus* Klein, 1773) následným přiřazením (Douvillé 1879)

Popis taxonu: Tento rod v sobě zahrnuje jedny z největších belemnitů vůbec, kteří mohli dle některých odhadů dosahovat celkových délek až 2 metry. Rostra nabývají velikostí až 80 cm. Tvar rostra je cylindrický, někdy kuželovitý, značně protáhlý. Fragmokon je výrazně rozšířený a dosahuje velkých rozměrů. Velice často se vyskytuje epirostrum. Rod je charakteristický specifickými apikálními rýhami, které jsou však značně variabilní a vyskytují se především na dorso-laterálních a ventro-laterálních stranách apexu. V juvenilních stádiích bývají apikální rýhy protaženy dalece směrem od apexu k oblasti alveoly (až na 1/2 délky rostra), což má poté vliv na průřez jejich roster. Při dospívání se apikální rýhy zkracují. Průřez rostrem bývá v dospělosti laterálně zploštělý (*compressed*) a oválný až vejčitý. V juvenilních stádiích je průřez rostrem kulatý. Apikální linie je blíže dorsální straně.

Vztahy a poznámky: Existují názory, že je charakter epirostra determinujícím znakem pohlavního dimorfismu (Weis, Mariotti, and Riegraf 2012). Poprvé tuto možnost navrhl již Alcide d'Orbigny v roce 1842. Epirostrum slouží pravděpodobně jako hydrodynamický orgán pro plavbu v pelagiálu. Jedná se o jedny z nejznámějších a nejcharakterističtějších jurských belemnitů, jejichž systematika je dobře zpracovaná a využitelná ve stratigrafii.

Paleogeografické rozšíření: severní polokoule (Francie, Německo, Grónsko, Rusko), vázanost na boreální říši, ze které pochází a dále se z ní šířil do Tethydí oblasti.

Stratigrafický rozsah: spodní jura (hetang) - střední jura (spodní bathon) (Schlegelmilch 1998)

Megateuthis gigantea Schlotheim, 1820

(Příloha A, Tab. V., č. 1-3)

1773 *Belemnites suevicus* (Klein); str. 13, tab. VII, obr. 2.

1820 *Belemnites giganteus* Schlotheim n. sp.- str. 428, tab. 28.

1842 *Belemnites giganteus* (Schlotheim).- d'Orbigny; str. 112-17, tab. 14, 15.

1911 *Megateuthis giganteus* Schlotheim.- Wetzel; str. 219, tab. 19, obr. 7-8; str. 221.

1916 *Mucroteuthis giganteus* (Abel); str. 126, 140, tab. 49.

1925 *Megateuthis giganteus* Schlotheim.- Lissajous; str. 23-4, 90, tab. 12.

1953 *Belemnites (Megateuthis) giganteus* (Schlotheim).- Rózycki; str. 326.

1961 *Megateuthis giganteus* Schlotheim.- Pugaczewska; str. 134-142, tab. VII, VIII.

1998 *Megateuthis gigantea* Schlotheim.- Schlegelmilch; str. 75, tab. 13; č. 1-2, tab. 14, č. 3-5.

Materiál: 1 kompletní rostrum subadultního jedince, 3 fragmenty; lokality Šternberk, Brtníky a Hohnstein

Popis: Rostrum je kónické, s tupým úhlem zakončení u juvenilních jedinců. V průběhu dospívání se špička apexu protahuje a mění se v ostrou. Rostrum velice dlouhé a protáhlé, dosahující až 2 metrů. S průběhem růstu se mění poměr délky ku šířce rostra ve prospěch délky. Apikální rýhy v juvenilních stádiích dosahují až do 2/3 délky rostra proximálně od apexu. Delší jsou dorso-laterální a kratší ventro-

laterální. U gerontů je tento dosah zkrácen zhruba na 1/3 délky rostra proximálně od apexu. Charakteristické jsou pro tento druh vrásky vzniklé v okolí apikálních rýh. Juvenilové mají alveolu dosahující až do přibližně 1/3 délky rostra a při dospívání se zmenšuje až na 1/5 délky rostra distálně od fragmokonu. Apex je dlouhý, průřez rostrem laterálně stlačený (*compressed*), oválný až vejčitý, v apikální části v dospělosti kvadratický. Jako u jednoho z mála druhů belemnitů u něj byl popsán možný sexuální dimorfismus, který je dnes pro coleoidy charakteristický. Bylo tomu na základě povahy epirostra, tvarování apikálních rýh či v souvislosti s vydutím ventrální strany povrchu rostra (Pugaczewska 1961).

Vztahy a poznámky: *M. gigantea* je typickým střednějurským belemnitem. Charakteristické pro tyto živočichy bylo přítomné epirostrum, jako nejpravděpodobnější adaptace na čistě pelagický způsob života. Jako možné druhé pohlaví jsou diskutovány např. druhy *Belemnites (Megateuthis) ellipticus* Miller, 1826 či *Belemnites acuminatus* Simpson, 1855 jako pohlaví samčí a *Megateuthis aalensis* Voltz, 1830 či *Belemnites longus* Voltz, 1830 jako pohlaví samičí (d'Orbigny 1842). Diskuze mohly proběhnout díky bohatému fosilnímu záznamu z této doby, které umožnilo detailní porovnávání. Možný dimorfismus je diskutován zejména na základě synchronního (nebo téměř) výskytu těchto různých forem. Nicméně, otázka pohlavního dimorfismu není zcela vyřešena.

Výskyt: bajok - spodní bathon (Schlegelmilch 1998); severní hemisféra, Tethydní a Boreální oblast, USA, Grónsko, Ruská federace, Německo, ČR, Polsko, Švýcarsko, Francie aj.

Čeleď: *CYLINDROTEUTHIDIDAE* Stolley, 1919

Podčeleď: *Cylindroteuthidinae* Stolley, 1919

Rod: *Cylindroteuthis* Bayle, 1878

Typový druh: *Belemnites puzosianus* d'Orbigny, 1842 (rod stanoven monotypem)

Popis taxonu: Rostrum dosahuje středních až velkých délek. Jejich tvar bývá cylindrický (podle kterého nese název i celá čeleď) či cylindro-kónický, ventrum obecně vypouklé, apikální linie nevede středem rostra, ale blízko ventrálního povrchu rostra. Apikální linie je tedy tzv. cyrtolineátní (Dzyuba and de Lagausie 2018). Alveola je lehce excentrická ventru a nabývá malých úhlů. Rostrum je laterálně mírně zploštělé (*compressed*). Typickým znakem rodu jsou výrazné apikální rýhy, často široké a značně variabilní. Jejich počet může být v rodech

odlišný, zpravidla je na rostru přítomna jedna až 4 apikální rýhy. Průřez rostrem je oválný až vejčitý.

Vztahy a poznámky: Oproti sesterskému taxonu *Arctoteuthis* Sachs and Nalnjaeva, 1964 má rod *Cylindroteuthis* vydutější ventrální stranu rostra a laterálně stlačené rostrum (*compressed*). Oproti rodu *Pachyteuthis* Bayle, 1878 se dá lehce rozeznat dle menší robustnosti a méně výrazné excentricity alveoly. Všeobecně je však stabilita jejich systematiky v rámci belemnitů akceptována. Problémy přetrvávají na úrovních podčeledí a podrodů, kde převládají neshody v rámci odborné veřejnosti. Řešením může být drobná úprava pravidel přiřazování taxonů do jednotlivých skupin (např. změna používání délky post-alveolární části rostra u juvenilů) (Dzyuba 2005).

Paleogeografické rozšíření: boreální oblasti, minimální přesahy do oblastí ostatních (Rusko, Estonsko, Japonsko, Severní Amerika, Mexiko aj.).

Stratigrafický rozsah: střední jura (bajok) – spodní křída (valangin)

Cylindroteuthis cf. *puzosi* d'Orbigny, 1842

(Příloha A, Tab. VI., č. 1)

1842 *Belemnites puzosianus* d'Orbigny n. sp.; str. 117-18, tab. 16, obr. 1-6.

1865 *Belemnites puzosianus* (d'Orbigny).- Phillips; str. 118, tab. XXXI, obr. 76-7; tab. XXXII, č. 78-9.

1878 *Belemnites puzosi* (d'Orbigny).- Bayle; tab. 39, č. 1-2.

1881 *Belemnites extensus* d'Orbigny.- Nikitin; str. 129, obr. 36-8.

1882 *Belemnites* cf. *semihastatus* Blainville.- Bruder; str. 21.

1925 *Belemnites puzosi* d'Orbigny.- Lissajous; str. 20, tab. 9

1964 *Cylindroteuthis* (*Cylindroteuthis*) *puzosi* d'Orbigny.- Gustomesov; str. 119-21, tab. 1, obr. 1, 2.

2011 *Cylindroteuthis puzosiana* d'Orbigny.- Mural; str. 73, tab., obr. 1 a-e.

Materiál: 1 vzorek obsahující větší množství úlomků a rostrum bez zakončené apikální části; lokalita Kyjov

Popis: Štíhle a středně veliké cylindrické rostrum s výraznou alveolou, zabírající až 3/4 délky jedince. Charakteristická je výrazná ventrální apikální rýha a častá přítomnost jiných méně výrazných apikálních rýh u dobře zachovaných kusů. Ventrální strana lehce širší, zaoblená a konvexnější než dorsum. Apikální část relativně krátká, s kulatým průřezem, apikální linie excentrická k ventrální straně

povrchu rostra. Zbylá část rostra je laterálně zploštělá (*compressed*). S přibývajícím věkem jedince je zploštění více výrazné. Průřez rostru bez výraznějších skulptur, oválný či kulatý v apikální části.

Vztahy a poznámky: Čeleď *Cylindroteuthididae* je charakteristická svým boreálním rozšířením. *C. puzosi* je od ostatních druhů čeledě relativně snadně determinovatelný. Jedná se o jednoho z nejběžnějších cylindroteuthidů vůbec. Patří do neformálního podrodu *Cylindroteuthis* s. str., jehož sesterským taxonem je podrod *Arctoteuthis* Sachs et Nal'nyaeva, 1964, který je od prvního dobře morfologicky odlišitelný. S věkem se zmenšuje rozsah zahloubení alveoly (Dzyuba 2005). Anglicky psaná literatura o tomto taxonu až na světlé výjimky prakticky neexistuje. Druhový název je vytvořen na počest francouzského paleontologa M. Puzose.

Výskyt: kelovej – kimmeridž; čistě boreální belemnit, Rusko, Francie, Anglie, ČR, Ukrajina (Mural 2011).

Belemnit incertae sedis

(Příloha A, Tab. VI., č. 2)

Materiál: jedno nekompletní rostrum bez apikální části; lokalita Kyjov

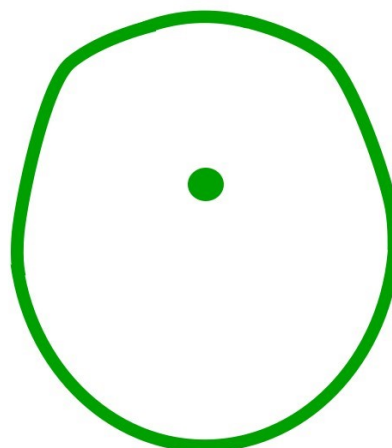
Popis: Rostrum dosahuje malých rozměrů, bez nezachovalé apikální části přibližně 5 cm. Apikální linie nevede středem rostra, ale je excentrická, pravděpodobně k dorsálnímu povrchu rostra. Rostrum je laterálně zploštělé.

Viditelné laterální, apikální ani alveolární linie se na povrchu rostra nevyskytují. Alveola je poměrně krátká a průřez rostru je sub-pyriformní až sub-kvadratický (viz Obr.

9). V alveolární části je pyriformní tvar více zřetelný.

Vztahy a poznámky: Jedná se o taxonomicky neurčitelné rostrum. Pyriformní a sub-pyriformní tvar rostra (viz Obr. 9) je charakteristický pro více taxonů. Pravděpodobně náleží do čeledí *Cylindroteuthidae*, *Megateuthididea* či *Hastitidae* Neaf, 1922.

Tvarem se zdá být nejpodobnější rodu *Eocylindroteuthis* Riegraf, 1980, který má stratigrafický výskyt ve spodním bajoku. Dalším možným druhem, do kterého může



Obrázek 9: Sub-pyriformní až sub-kvadratický tvar rostra v řezu. Trojúhelníkový průřez je méně výrazný, než u rostra pyriformního. Tečka značí umístění apikální linie v rámci rostra.

náležet, je *Brevibelus* Doyle, 1992 s výskytem od svrchního toarku do svrchního bajoku (Schlegelmilch 1998). Důležitým faktorem pro bližší určení je především absence rýh a povaha průřezu rostrem.

| EPOCHA | STUPĚŇ | | <i>Belemnopseidae</i> Neaf, 1922 | | <i>Belemnitina</i> MacGillivray, 1840 | |
|--------------|-----------|-------|---|--|---|--|
| | PODRÁD | ČELED | <i>Belemnopseina</i> Jeletzky, 1965 | <i>Duvaliidae</i> Pavlow, 1914 | <i>Megateuthidae</i> Sachs and Na'njaeva, 1967 | <i>Cylindroteuthidae</i> Stolley, 1919 |
| SVRCHNÍ JURA | TITHON | | | | | |
| | KIMMERIDŽ | | | | | |
| | OXFORD | | | | | |
| STŘEDNÍ JURA | KELOVEJ | | <i>Hibolites hastatus</i> Montfort, 1808 | | | |
| | BATHON | | <i>Belemnopsis canaliculatus</i> Schlotheim, 1820 | <i>Belemnopsis latesulcatus</i> Voltz, 1832 in Thurmanh (1832) | <i>Belemnopsis subhastatus</i> Zieten, 1831 | |
| | BAJOK | | | | | |
| | | | | | | |
| | AALEN | | | | | |
| | | | | <i>Rhopaloteuthis sauvaanausa</i> d'Orbigny, 1842 | | |
| | | | | | <i>Megateuthis gigantea</i> Schlotheim, 1820 | |
| | | | | | ? | <i>Cylindroteuthis puzosiana</i> d'Orbigny, 1842 |

Obrázek 10: Stratigrafický rozsah popsaných taxonů. Šedou barvou je znázorněn možný maximální časový rozsah zachovaných jurských hornin při lužické poruše na základě analýzy amonitů (Hrbek 2014), vápnitého nanoplanktonu (Holcová and Holcová 2016) a belemnitů (tato práce).

Izotopový záznam

Studium stabilních i nestabilních izotopů a jejich poměrů nám může pomoci k objasnění velkého množství paleoekologických faktorů či ke zjištění relativního nebo absolutního stáří studovaných hornin. Lze díky nim určit paleoteplotu oceánů daného stratigrafické úrovně, paleobioproduktivitu nebo míru transgresních a regresních cyklů.

V dnešní době je kladen na geochemickou analýzu značný důraz, neboť poskytuje neocenitelné informace o široké škále biogeochemických procesů na Zemi a poměrně přesně doplňuje standardní paleontologické analýzy.

Počátky zkoumání využití izotopů lze posunout již do poloviny 20. století (Urey 1947; Craig 1957 aj.). V této době se začíná uplatňovat datování hornin na základě rozpadů radioaktivních prvků. Tento výzkum vzešel z vojenského využití radioaktivity při tvorbě atomových bomb za Druhé světové války.

Radioaktivní izotopy nám poskytují údaje pouze z omezeného množství materiálů a tak nastala potřeba nových přístupů k určení absolutního i relativního stáří zkoumaných hornin. Během let vzniklo velké množství různých metod datování hornin karbonátové i nekarbonátové povahy využitelných především pro mladší geologická období a produkty lidské činnosti.

Dnes jsou na vzestupu metody datování pomocí izotopů stroncia, neodymu či jiných exotických prvků s malou četností výskytu v horninách planety Země (REE).



Poměry izotopů kyslíku a uhlíku jsou jedny z nejdůležitějších proxy dat pro rekonstrukci paleoprostředí. Historie využití těchto poměrů sahá až do poloviny 20. století (viz McArthur et al. 2004). Použití rostrů belemnitů je příhodné díky odolnosti rostrů tvořených nízko-Mg kalcitem, který je méně náchylný k případným diagenetickým procesům. Ty negativně ovlivňují profit geochemických analýz. Rostrum belemnitů zaznamenává odraz podmínek za života jedince, kdy teplota paleoprostředí ovlivňuje rychlost a intenzitu izotopových reakcí a poměrů. Každá přírůstková vrstva na rostru je záznamem časového intervalu, kdy byla tvořena. Při intenzivní geochemické analýze poměrů izotopů z každé přírůstkové vrstvy je pak také možné zrekonstruovat například změny teplot v průběhu života jedince a interpretovat je jako migraci do vod jiné teploty či intenzivní a krátké náhlé změny podnebí. Toto lze ovšem uplatnit s vidinou kvalitních dat jen u druhů, u kterých je známá migrace do vod rozdílné teploty či prokázán život v rámci let.

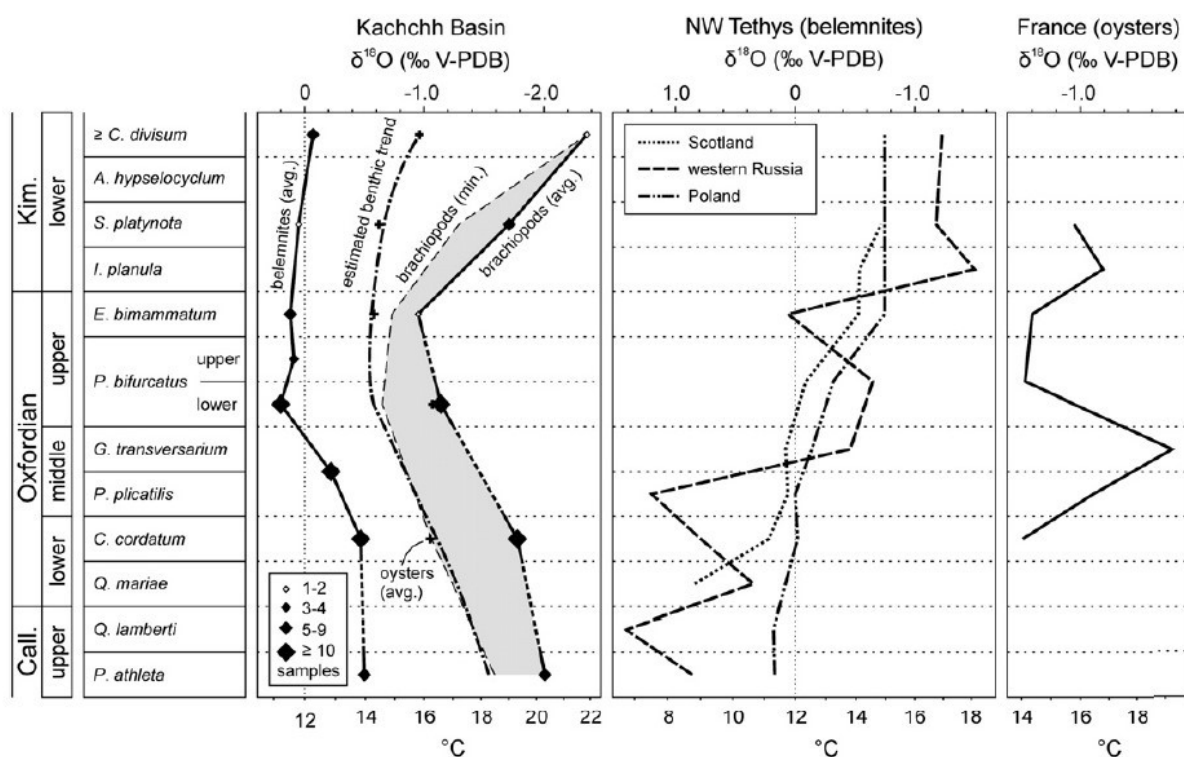
Je důležité si také uvědomit, že izotopové poměry získané z rostrů belemnitů velice pravděpodobně neodráží skutečnou paleoteplotu povrchových vod. K tomu můžou lépe složit například planktonní foraminifery, u kterých je prokázána příslušnost k povrchové vrstvě oceánů na základě přítomnosti zooxantel ve fosilním záznamu. U velkého množství belemnitů je prokázán spíše nekto-bentický způsob života (viz výše). Pro analýzu teploty vod u dna je vhodnější použít zase bentické organismy se schránkou z nízko-Mg kalcitu (hlavně ramenonožce).

Víše zmíněné skutečnosti však platí jen za předpokladu, že si belemnit tvořil rostrum právě z nízko-Mg kalcitu. Existují také názory, že se jeho rostrum mohlo být původně tvořeno aragonitem či organickou hmotou a kalcifikace probíhala až posmrtně (Hoffmann and Stevens 2020). Diskutabilní je také možná kalcifikace rostra až v gerontním stádiu života belemnita. Málo prozkoumaná je též ontogenetická variabilita belemnitů. Nelze také zjistit rozdílnost u biogenně vznikajícího karbonátu v rámci různých morfotypů belemnitů, kteří obývali rozdílná stanoviště a měli jiné potravní nároky. Rozdíl v krystalizaci karbonátu také může být v rámci pohlaví jedinců nebo různých částí těl hlavonožců, například rozdíly mezi statolity a vnitřní schránkou u sépií (Chung et al. 2020).

Mimo belemnitů je pouze několik jiných skupin živočichů vhodných jako zdroj dat pro geochemické analýzy (mj. ramenonožci a ústřice). Rostrum belemnitů je také jediný známý zdroj kvalitních dat z těchto hlavonožců. Epirostrum, fragmokon, proostrakum a jiné části jeho těla vhodné nejsou. Velice příhodné je definice rostra belemnita, jako samotného vnitřního hydrodynamického orgánu obalující fragmokon (viz Obr. 6). Užitečnější je tedy užívání pojmu orthorostrum.

Izotop ^{16}O tvoří téměř 100% všech atomů kyslíku na Zemi. V teplých obdobích je vypařován z mořské vody na úkor těžšího izotopu ^{18}O , který je teplotně stabilnější. S rostoucí teplotou se zvyšuje salinita oceánů a poměr $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}$; udáváno v ‰). Se zvyšující se salinitou také dochází z nárůstu hustoty mořské vody a tedy i změně jejích fyzikálně-chemických vlastností. V chladnějších obdobích se dostává izotop ^{16}O do ledovců a polárních čepiček a při následném oteplení zpátky do vodního koloběhu. Sedimenty pro geochemické analýzy izotopů bývají mělkovodního původu, ideálně s minimální komunikací s otevřeným oceánem a pevninou (častou výjimkou hlubokovodnější karbonátové horniny). Nejvhodnější jsou mělká epikontinentální moře bez přínosů klastických sedimentů a dešťových srážek z pevniny (Žák et al. 2011). V případě narušení uniformity sedimentační pánve může docházet k nepřesnostem až v řádu jednotek promile. Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ mohou být dále ovlivněny také diagenézí zdrojových hornin a zvýšenou ariditou.

Výše popsaná analytická metoda se nazývá kyslíková izotopová termometrie (OIT). Změna poměru $\delta^{18}\text{O}$ o 1‰ nám udává změnu teploty mořské vody o přibližně 4°C (např. Alberti, Fürsich, and Pandey 2012).



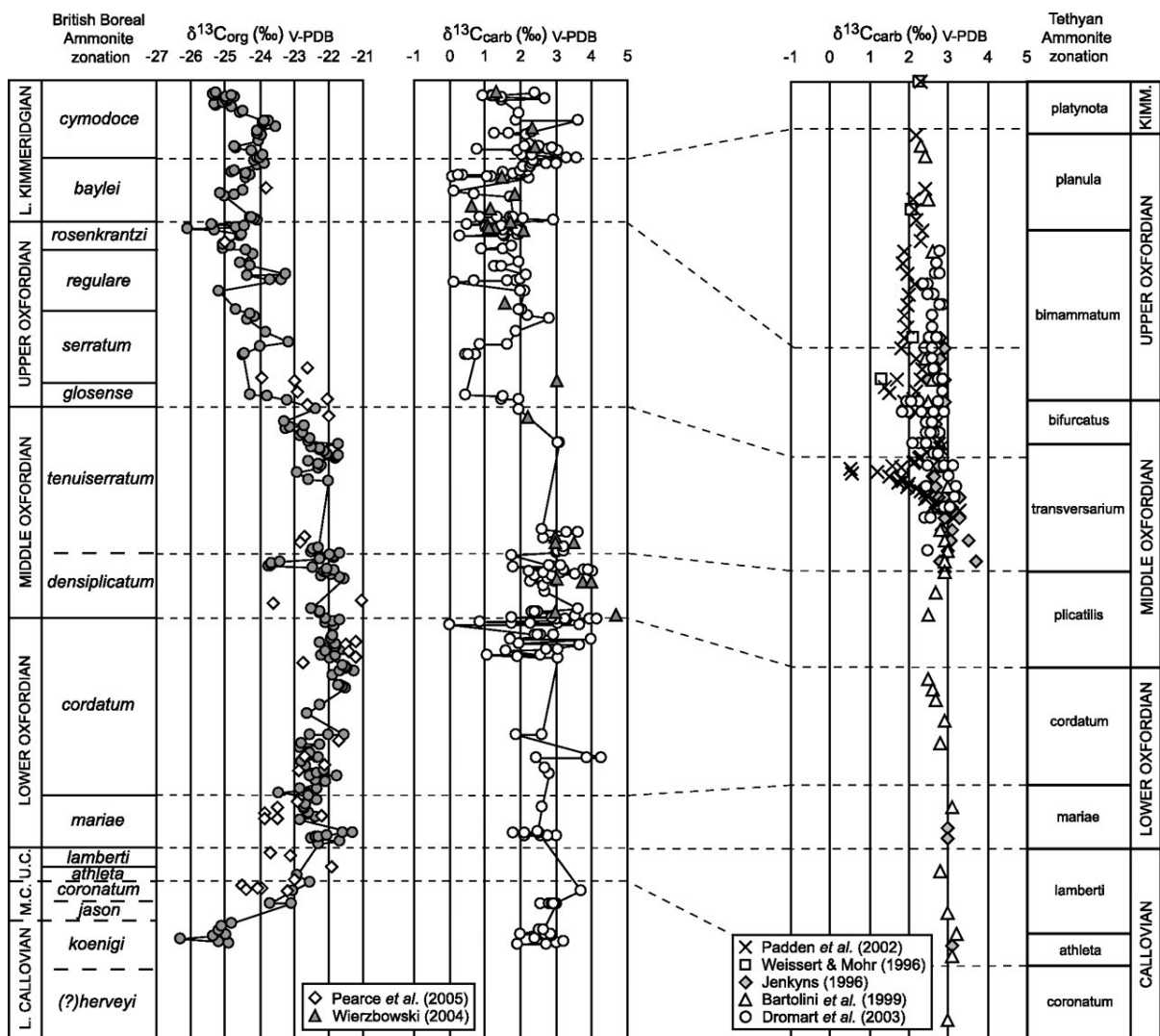
Obrázek 11: Výsledky izotopových analýz hornin svrchní jury pánve Kachchh s použitím schránek ramenonožců, ústřic a roster belemnitů. Porovnání s výsledky studií hornin Skotska (belem.), západního Ruska (belem.), Polska (belem.) a Francie (ústřice). Fluktuace křivky $\delta^{18}\text{O}$ je dle autorů způsobena nedostatečným zachováním několika amonitových zón, pravděpodobněji však změnami prostředí. Data z terebratulidních brachiopodů pánve Kachchh je nutné dle autorů ještě upravit. Křivka $\delta^{18}\text{O}$ ze SZ Tethydy založená na rostrech belemnitů dobře ukazuje hlavní transgresní trend hladiny světového oceánu začínající v období keloveje. Znatelný je také rozdíl mezi benthickými (ramenonožci, ústřice) a paleogickými živočichy (Alberti, Fürsich, and Pandey 2012).

Výsledné hodnoty poměru $\delta^{18}\text{O}$ bylo dříve nutné porovnat ze standardem PDB, který je stanoven na základě rostra belemnita *Belemnitella americana* Morton, 1830 z formace Pee Dee v Jižní Karolíně (Craig 1957). Slouží také pro porovnávání izotopů uhlíku. V dnešní době je tento standard nahrazen V-PDB (Vienna PDB) na popud Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) a jeho nulová (počáteční) hodnota poměru $\delta^{13}\text{C}$ byla unifikována na hodnotu 0,01123720 (“Reference and Intercomparison Materials for Stable Isotopes of Light Elements” 1995). Standard pozbyl platnosti, protože byl založen na jednom jediném již neexistujícím zdroji (rostrum belemnita). V-PDB standard má stejnou hodnotu jako PDB.

Izotopy uhlíku si do sebe organismus zabudovává společně s izotopy kyslíku. Organismy preferují lehčí izotop ^{12}C , který se snáze do jejich schránek dostává. Poměr izotopů $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) udává míru paleoproduktivity tehdejšího oceánu. Získávání uhlíku z potravy je však diskutabilní, neboť by díky tomu měly hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ nabývat více

negativních hodnot. Dokud se s jistotou nepotvrdí zdroj karbonátů pro stavbu schránek, bude výše zmíněná interpretace stále diskutabilní.

Hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ jsou korelovatelné s významnými anoxickými událostmi v minulosti. V juře dochází k několika významným anoxickým událostem, např. Toarcian Oceanic Anoxic Event nebo Callovian Oceanic Anoxic Event (Soua 2014). Dobře prozkoumaná je také *Kimmeridge clay formation* zasahující do Velké Británie, Francie, Belgie a jiných zemí, především díky výzkumu ropných a plyných ložisek v této oblasti. Horniny nabohacené organikou jsou charakteristické svou tmavou, někdy až černou barvou, která značí vysoký obsah uhlíku v organické hmotě. Rápidní změna složení ekosystému bývá zpravidla zapříčiněna náhlou klimatickou změnou v sedimentační oblasti (Wignall and Ruffell 1990).



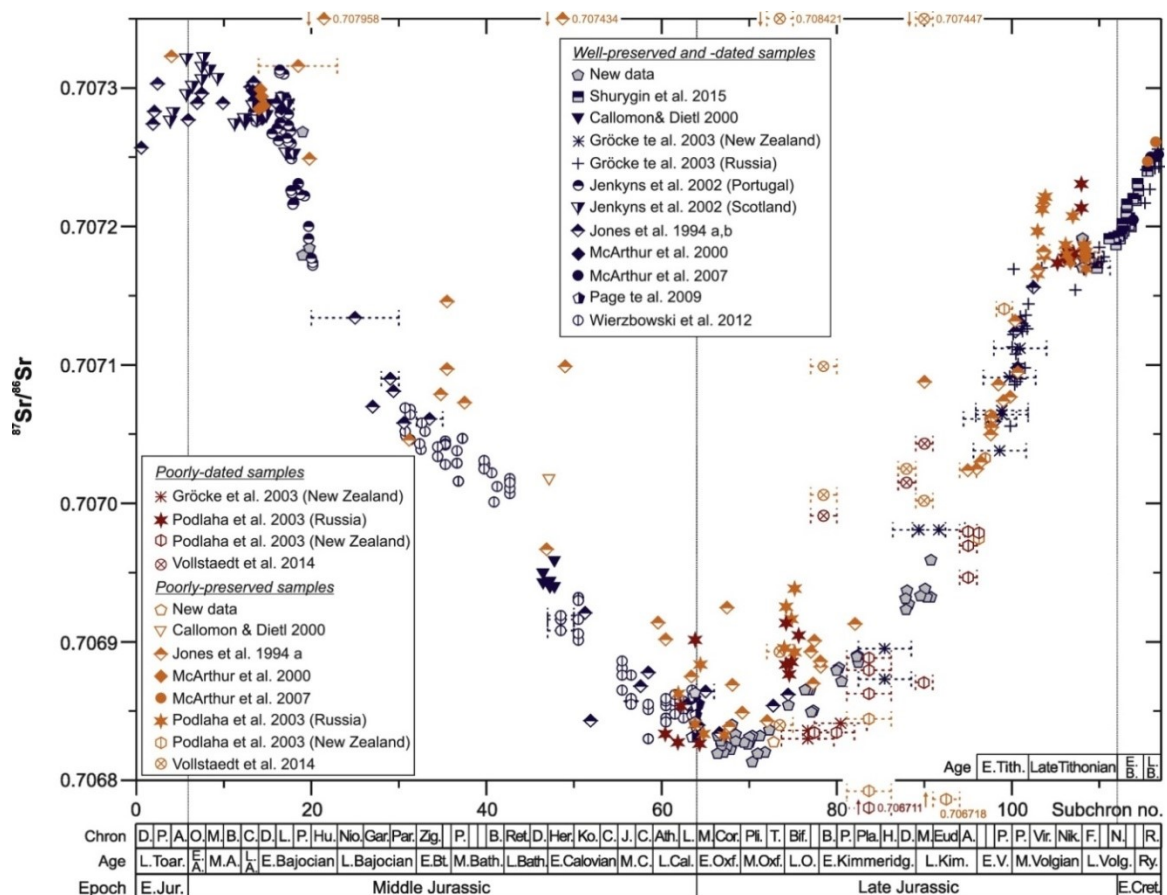
Obrázek 12: Analýza sedimentárního záznamu izotopů uhlíku z lokality Staffin Bay, Isle of Skye, Skotsko. Porovnání horninových sledů z dvou paleogeografických oblastí- Tethydní a Boreální. V této práci bylo použito dat z jiných prací (Nunn et al. 2009).

Pro lepší korelaci křivky $\delta^{13}\text{C}$ se přistupuje také k analýze samotných hornin. Ta může napovědět mnohé o zvýšené bioprodukci v povrchových vodách tehdejšího oceánu. Snosem

odumřelých organismů do hlubších vod se do sedimentačního prostoru dostává více ^{12}C , který organismy preferují. Tento jev poté může značně ovlivnit křivku $\delta^{13}\text{C}$ karbonátů získanou z hornin vzniklých v hlubších vodách. Analýzou obojího najednou se asymetrie a rozdílnost křivek ukáže.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Poměry izotopů stroncia nám mohou ukázat relativní stáří zkoumaných hornin. Během mnoha let došlo k systematickému zkoumání karbonátů za účelem vytvoření různých křivek poměrů $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Pro jurské období je tato křivka dobře korelovatelná mezi mnoha různými lokalitami a ve vědeckých kruzích panuje s její interpretací většinou všeobecná shoda.



Obrázek 13: Poměry izotopů stroncia od konce spodní jury do začátku spodní křídý (Wierzbowski et al. 2017). Modrou barvou jsou označeny dobře zachovalé a datované vzorky, špatně datované vzorky jsou označeny tmavě červenou a špatně zachovalé oranžovou. Na obrázku je také vidět hlavní propad křivky poměru v období keloveje a oxfordu.

Existují dva hlavní zdroje stroncia- přínos z pevniny vlivem zvětrávání (dnes poměr ca 0,712) a mořské hydrotermální prameny při zlomech a riftech (ca 0,703) (Jones et al. 1994; Kuznetsov, Semikhatov, and Gorokhov 2014). Dále se na malém množství stroncia podílí také rozklad karbonátů (ústní sdělení doc. Košťák). Výsledný poměr izotopů je tvořen ze

všech hodnot zároveň a ukazuje vývoj zdrojů stroncia v mořské vodě v průběhu geologické minulosti. Jedná se tedy o jakousi průměrnou hodnotu přínosu stroncia z pevniny a marinních zdrojů. Tento poměr je charakteristický pro období, v kterém sedimenty či karbonáty vznikaly. Pokud nedochází k diagenetickým procesům, přetrvává nezměněný až do recentu. Není ovšem znám mechanismus, který by potvrdil či vyvrátil skutečnost, zda-li se poměry izotopů stroncia v jeho zdrojích v minulosti neměnily. Neprobádaná je také intenzita obou dvou zdrojů stroncia v průběhu času.

Při diagenезi dochází k nahrazování stroncia v krystalových mřížkách především rubidiem a jinými prvky, které mají téměř shodnou velikost izotopů, stejnou vaznost, ale především v případě rubidia stejný počet nukleonů (^{87}Rb). ^{87}Rb se navíc β^- rozpadem na ^{87}Sr přeměňuje, tento izotop stroncia je tedy radiogenní. Při geochemické analýze na tuhle problematiku byl dán zřetel a k odlišení rubidia bylo použito ICP-MS (hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem). Stroncium se ve všech sloučeninách vyskytuje pouze s oxidačním číslem Sr^{+2} a může tak celkem snadno nahradit vápník, či případně hořčík v karbonátech. Malé obsahy rubidia ve vzorcích nemají na výsledný poměr izotopů stroncia výraznější vliv.

$\delta^{87}\text{Sr}$ je číslo bez jednotek udávané pouze jako desetinné. Je zvykem zaokrouhlovat výsledky poměrů na čtyři až šest desetinných míst. Tato analýza slouží pouze k doplnění či zlepšení již proběhlých výzkumů. Nelze ji použít bez identifikace fosilií či metody absolutního datování, neboť se průměrné hodnoty $\delta^{87}\text{Sr}$ v průběhu minulosti Země opakují a jsou závislé na globálním podnebí té doby. Shodné hodnoty poměru se mohou vyskytnout v paleontologickém záznamu opakovaně (viz Obr. 13).

Analýza vhodnosti vzorků

Profit geologických analýz je závislý na mnoha různých faktorech. Diagenetické procesy mohou výsledky pozměnit nebo dokonce zcela zkreslit.

Z mnoha desítek vzorků jurských belemnitů ze severních Čech a Saska bylo vybráno jen deset potencionálně použitelných roster. Nepoužitelné jsou vzorky rekrystalizované, tektonicky postižené a nekompletní. Vzhledem k návaznosti jurských hornin v této oblasti na lužickou poruchu byl výběr vzorků na geochemické analýzy izotopů velice obtížný.

Z vybraných roster a fragmentů byly vytvořeny leštěné výbrusy o tloušťce 50 μm . Jako nejlepší část rostra pro tvorbu výbrusů se používá část vzdálenější od alveoly směrem k apexu. Alveola a části rostra s rýhami jsou části náchylné k rupturám a tudíž pro případnou geochemickou analýzu nevhodné (např. Ullmann et al. 2015). Výbrusy poté byly blíže

analyzovány pod katodoluminiscenčním mikroskopem na Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty UK.

Katodoluminiscence je metoda všeobecně používaná na zkoumání nejen stupně diagenese karbonátů. Základem přístroje je vývěva, která odčerpává z komory pro výbrusy vzduch. Vakuum umožňuje správné fungování přístroje. Z výbojky pod určitým napětím a proudem jsou emitovány elektrony, které prochází vzorkem uvnitř vakuové komory. Součástí přístroje je také zdroj stejnosměrného elektrického proudu. Velikost napětí a proudu vedených do výbojky je potřebné upravit podle zkoumaného materiálu. Rozdílné horniny vyzařují fotony pod různou intenzitou proudu elektronů vzorkem.

Zkoumané výbrusy vykázaly občasná tektonická poškození, mikrotrhlíky a rekrystalizaci kalcitu (Příloha B, Tab. I., 1-2). Z deseti zkoumaných vzorků bylo vybráno pět pro pozdější geochemickou analýzu poměrů stabilních izotopů.

Zbytky rostra, z jejichž částí byly připraveny výbrusy, byly očištěny v ultrazvukové čističce a z vybraných míst z nich byl odvrtán vzorek. Použitelnými místy by neměly procházet žádné trhliny. Nejperspektivnější části rostra pro odběr materiálu jsou vždy místa mezi jeho povrchem a apikální linií (např. Wierzbowski and Joachimski 2009). Apikální linií vedou často kanálky, skrz které mohlo dojít k narušení prvkové integrity kalcitu. Povrch rostra je zase přímým donorem případných diagenetických procesů v hornině. U některých vzorků bylo nutné obrousit povrch rostra, aby se dalo odvrtat větší množství materiálu.

Katodoluminiscence ukázala na pět potenciálně vhodných vzorků pro geochemickou analýzu obsahu prvků a jejich izotopů.

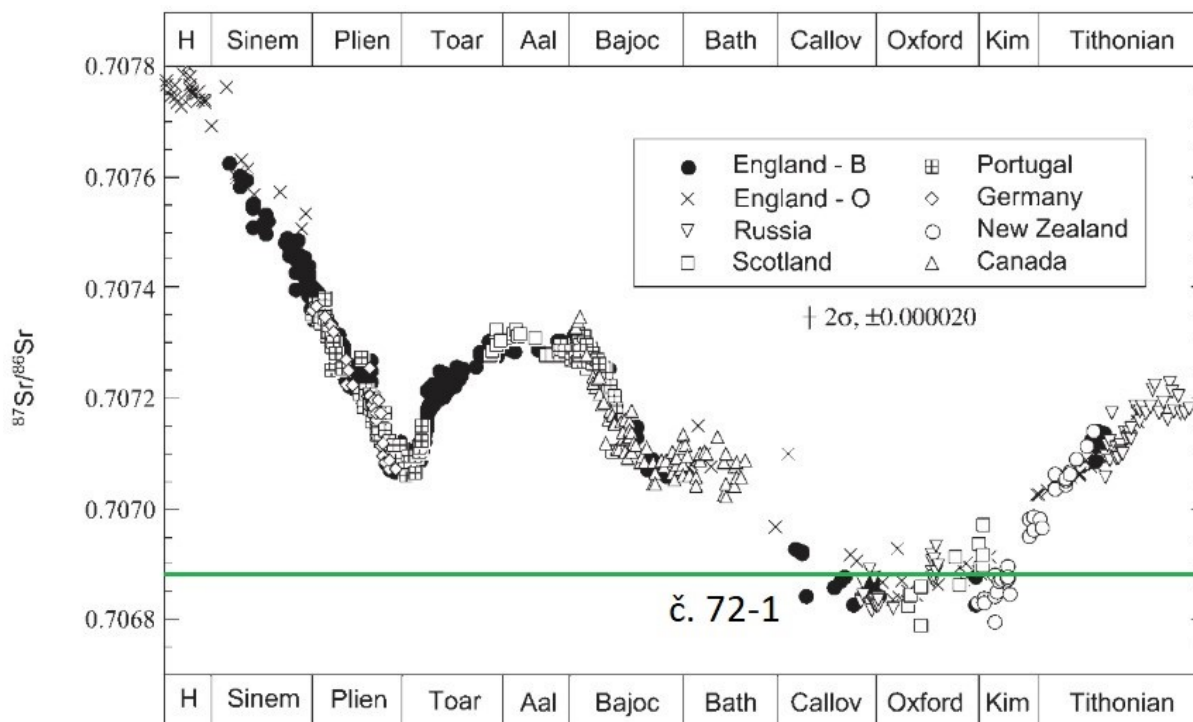
Výsledky geochemických analýz

| No. | Číslo vzorku | Druh: | δSr^{87} | Ca (ppm) | Fe (ppm) | Mg (ppm) | Mn (ppm) | Rb (ppm) | Sr (ppm) |
|-----|--------------|------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 3* | <i>Inc. sed.</i> | 0,707280 | 328000 | 540 | 2710 | 40 | – | 1380 |
| 2 | 67/2* | <i>Meg. gig.</i> | 0,707229 | 422000 | 1380 | 3200 | 160 | – | 1670 |
| 3 | 72* | <i>Hib. has.</i> | 0,707255 | 164000 | 1740 | 1100 | 80 | 10 | 190 |
| 4 | 72-1 | <i>Hib. has.</i> | 0,706886 | 341000 | 300 | 3110 | 30 | – | 1380 |
| 5 | 72/2p* | <i>Hib. has.</i> | 0,706868 | 207000 | 530 | 1840 | 30 | – | 650 |

Tabulka 1: Výsledky geochemických analýz zkoumaných prvků. Vzorky označené (*) jsou především pro stronciové analýzy nepoužitelné. Mají nízký obsah Sr (pod 1000 ppm) a vysoké obsahy Fe (vysoce nad 150 ppm) a Mn (nad 40 ppm).

Z pěti vzorků byl pro následné použití při zjištění relativního stáří na základě izotopů stroncia vhodný pouze jeden (72-1). Analýza Sr z primárního kalcitu u vzorku 72-1 potvrzuje stáří hranice střední/svrchní jury. V tomto období se křivka poměrů Sr pohybuje kolem velice podobných hodnot a bližší stanovení relativního stáří není možné (Jenkyns et al. 2002).

Použitý vzorek má však vyšší obsah železa, než je všeobecně přijímáno jako zanedbatelné, a tak pravděpodobně mohlo dojít k lehkému zkreslení poměrů izotopů stroncia a jiných prvků.



Obrázek 14: Graf hodnot poměrů izotopů stroncia s jedním vzorkem zmíněným v této práci - 72-1; 0,706886 (převzato z Jenkyns et al. 2002)

Výsledky možných izotopových analýz kyslíku a uhlíku bylo v době uzávěrky odevzdávání diplomových prací nemožné zjistit. Důvodem byla momentální porucha přístroje

na izotopové analýzy $^{13/12}\text{C}$ a $^{18/16}\text{O}$ na Ústavu geologie a paleontologie PřF UK a předchozí omezení provozu laboratoře způsobené koronavirovou krizí..

Diskuze

Rostra belemnitů byla většinou dobře zařaditelná do rodů, často také do jednotlivých druhů. Pouze menší část fosilií nešla správně determinovat. Nálezy celých kusů roster jsou poměrně vzácné. Ve většině případů se však jedná o fragmenty jednoho jedince, které je možné poskládat dohromady a rekonstruovat tak původní podobu rostra.

Geologie studovaných hornin byla dlouhá léta předmětem sporů a dohad. Bylo tomu tak především kvůli absenci fosiliferních výchozů. Jediné odkryté výchozy jurských karbonátů se nachází na lokalitě Vápenka u Doubice. Na Vápence jsou však horniny kontaktně metamorfovány a dolomitizovány, většinou bez fosilního obsahu. V některých částech této lokality lze však nalézt nepřeměněné či málo dotčené horniny, které jsou fosiliferní. Je možné je najít například v průzkumných a dopravních štolách a důležitou úlohu zde hraje vzdálenost mezi horninou a sopouchem třetihorního vulkánu, či lužickým zlomem.

Již první ucelená práce o jurských horninách severních Čech a Saska od Oskara Lenze (1870) předpokládala počátek sedimentace nejstarších zachovaných hornin již ve střední juře (*dogger*). V jeho díle je popsáno několik fosilií přiřazených do stáří střední jury, belemnity nevyjímaje. Další, a na dlouhou dobu posledním výzkumníkem, který diskutoval možné středně jurské stáří zdejších fosilií, byl Georg Bruder (např. 1882). Ten také popsal několik fosilií z tohoto období. Nicméně je většina jím popsaných vzorků pravděpodobně ztracená nebo nedohledatelná. Fosilie v mnoha případech totiž patřily jistému malíři Strohbachovi z Krásné Lípy, jehož potomci byli po Druhé světové válce odsunuti a o vzorcích do dnešních dnů neexistují žádné prokazatelné záznamy.

Později začalo zdejší horniny zkoumat několik odborníků, např. Chrt (1957), Eliáš (1981), Hrbek (2014), Valečka (2019). Postupně se názory na největší stáří zachovaných vápnitých fosiliferních hornin ustálily na nejspodnějším oxfordu. Starší horniny (kelovej) byly řazeny k řídce fosiliferním a písčitém brtnickým vrstvám. Na tuto formaci by pak měly nasedat slínito-vápenité až dolomitické doubické vrstvy. Nejnovější výzkum však prokázal, že je časový rozsah zachovaného stáří hornin více než dvojnásobný a toto rozlišení vrstev nemůže být platné (jednak zahrnuje několik stupňů, a také neznámé množství hiátů, res. intervalů s přerušenu sedimentací + ? erozí).

Bývalé doubické vrstvy, rozdělené na světlejších amonitové a tmavší brachiopodové vápence (např. Holcová and Holcová 2016), ve skutečnosti tvoří větší množství periodicky se střídajících vápnitých a slínitých či písčitých horninových sledů, které jsou pravděpodobně způsobené vlivem Milankovičových cyklů. Původní brtnické vrstvy mohou být jen projevem

periodicity sedimentace různých materiálů v tehdejší šelfovém moři. Dle nálezů roster belemnitů (tato práce) a jednoho kusu amonita (ústní sdělení doc. Košťáka) sedimentace vápenců prokazatelně začíná již ve stupni bathon, popř. bajok.

Georg Bruder ve své práci (1882) definoval nový druh rodu *Belemnites* (dnes *Belemnopsis*), *B. postcanaliculatus* Bruder, 1882. Značné množství vzorků pochází především z lokality Šternberk. Důkladnou analýzou vzorků byla validnost tohoto taxonu popřena a rostra rozřazena do druhů *Belemnopsis canaliculatus* a *Belemnopsis subhastatus*. Vzorky roster jsou rozdílné zejména z důvodu tektonického rozpukání a zohýbání vlivem lužického zlomu. Toto mohlo mít na chybnou determinaci taxonů značný vliv. Nedokonalé jsou také Bruderovy nákresy popisující v práci zmíněné taxony (viz Příloha A této práce).

Taxonomie rodu *Belemnopsis* Bayle, 1878 je velice nesourodá. Existuje mnoho různých názorů na klasifikaci těchto roster. Bylo definováno veliké množství druhů, které si jsou morfologicky velice podobné. Morfologie belemnitů je velice proměnlivá, pravděpodobně také pohlavně dimorfní. Během let došlo k redukci mnoha druhů rodu *Belemnopsis* a přiřazení k druhům jiným (např. Schlegelmilch 1998). Tento progres je dobrou známkou vývoje znalostí nejen o tomto rodu belemnitů.

V této práci je popsáno celkem osm různých taxonů belemnitů. Většinou patří ke kosmopolitním či široce rozšířeným taxonům. V závislosti na paleogeografické provincii převažuje afinita k Tethydni oblasti. V období oxfordu však došlo k výraznějšímu ochlazení a druhová skladba se výrazně změnila. V tomto období přestaly dominovat druhy rodu *Belemnopsis* a pravděpodobně z tohoto stratigrafického intervalu pochází také exotický boreální druh *Cylindroteuthis puzosi*. Jeho nález prokázal jasné boreální vlivy studované oblasti, která se nacházela u rozhraní boreální a Tethydni paleobiogeografické provincie. Tato domněnka je diskutována také Hrbkem (2014), který revidoval či popsal větší množství sub-boreálních amonitů ve své práci. Jurské horniny severních Čech a Saska mají charakter sub-mediteránní oblasti, resp. Peri-Tethydniho šelfu.

Izotopový záznam zkoumaných roster belemnitů je neprůkazný. Jurské horniny jsou tektonicky postižené a místy kontaktně metamorfované. Na některých lokalitách nacházíme dokonce dolomity (např. Vápenka u Doubice). Časté jsou někdy i téměř kompletní rekrystalizace primárního kalcitu z rostra.

Závěr

Společenstvo belemnitů z jurských hornin severních Čech tvoří minimálně osm různých druhů. Ve svrchní juře dochází k tzv. kimmeridžské krizi, což je výrazný pokles druhové rozmanitosti belemnitů (Dera, Toumoulin, and de Baets 2016). Tento fenomén je dobře zřetelný v horninách jižního Německa a pravděpodobně použitelný také v ostatních oblastech Tethydy a Peri-Tethydy. Krizi lze použít také v případě jurských hornin severních Čech, kdy se nám ve stupni kimmeridž z paleontologického záznamu vytrácí téměř všechny druhy zmíněné v této práci.

Velká část roster belemnitů pochází již ze střední jury (především druhy rodu *Belemnopsis*). Fosiliferní rozsah hornin byl rozšířen až do stupně bathon (možný bajok) především na základě několika nálezů druhu *Megateuthis gigantea* v karbonátových horninách. Tímto zjištěním byla vyvrácena teorie počátku karbonátové sedimentace až ve svrchní juře (např. Eliáš 1981; Hrbek 2014). Litostratigrafické členění na brtnické a doubické vrstvy podle charakteru litologie tedy zřejmě není relevantní, mimo jiné s ohledem na délku sedimentačního cyklu i pravděpodobná častá přerušení sedimentace.

Díky nálezům několika fragmentů boreálního druhu *Cylindroteuthis puzosi* lze dokázat občasné zintenzivnění a nástup boreálních vlivů na zkoumaných lokalitách ve svrchní juře. Boreální vlivy jsou dobře zdokumentovány také na amonitových faunách z jury severních Čech (Hrbek 2014).

Horninové sledy tvoří pravidelné střídání karbonátových a nekarbonátových vrstev sedimentů. Cyklicita je pravděpodobně způsobena Milankovičovými cykly a v současnosti je viditelná pouze ve štolách na lokalitě Vápenka.

Studované horniny jsou pro geochemické analýzy málo vhodné. Je tomu především z důvodu přítomnosti lužické poruchy, která svoji reaktivací způsobila diagenezi a dolomitizaci zkoumaných hornin. Nejsilněji byly horniny diageneticky postiženy pravděpodobně v souvislosti s neogenním riftovým vulkanismem při lužické poruše. Vzorky lze také studovat většinou jen z muzejního materiálu s výjimkou štol v lomu Doubice, reliktu lomu Šternberk a valounů hornin v korytě potoka na Peškově stráni, neboť se v této oblasti nenachází téměř žádné použitelné výchozy pro odběr vzorků.

Z deseti potencionálně vybraných vzorků pro očekávané relevantní výsledky analýz izotopů stroncia byl vhodný pouze jeden. Ten měl však vyšší hodnoty obsahu železa (přes 150 ppm), než zmiňují současné vědecké práce jako ideální. Hodnota poměru izotopů stroncia

byla dosazena do období konce střední jury a začátku svrchní jury, což odpovídá stáří studovaných hornin stanovenému na základě analýz paleontologického záznamu.

Citovaná literatura

- Abel, Othenio. 1916. *Paläobiologie Der Cephalopoden Aus Der Gruppe Der Dibranchiaten*. Jena: Verlag Gustav Fischer.
- Agassiz, Louis. 1843. *Recherches Sur Les Poissons Fossiles, 15th and 16th Livraisons (March 1843)*.
- Alberti, Matthias, Franz T. Fürsich, and Dhirendra K. Pandey. 2012. “The Oxfordian Stable Isotope Record (δ 18O, δ 13C) of Belemnites, Brachiopods, and Oysters from the Kachchh Basin (Western India) and Its Potential for Palaeoecologic, Palaeoclimatic, and Palaeogeographic Reconstructions.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 344–345: 49–68. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.05.018>.
- Alth, Alojzi. 1874. *Rzecz o Belemnitach Krakowskich (Abhandlung von Den Krakauer Belemniten.)*.
- Arkhipkin, Alexander, Robert Weis, Nino Mariotti, and Zhanna Shcherbich. 2014. “‘Tailed’ Cephalopods.” *Journal of Molluscan Studies* 81 (3): 345–55. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyu094>.
- Bather, Francis Arthur. 1888. “Shell-Growth in Cephalopoda (Siphonopoda).” *The Annals and Magazine of Natural History; Zoology, Botany, and Geology* 6 (1): 298–310.
- Bayle, Claude-Émile. 1878. *Explication de La Carte Géologique de La France, Publiée Par Ordre de M. Le Ministre Des Travaux Publics Tome Quatrième, Atlas [Texte Imprimé] : Fossiles Principaux Des Terrains : Végétaux Fossiles Du Terrain Houiller*. Paris: Imprimerie nationale.
- Benecke, Ernst Wilhelm. 1910. “Über Belemnites Latesulcatus Und Pronoella Lotharingica.” *Centralblatt Für Mineralogie, Geologie Und Paläontologie*, 129–33.
- Blainville, Henri-Marie Ducrotay de. 1827. *Mémoire Sur Les Bélemnites, Considérés Zoologiquement et Géologiquement*. Paris: F.-G. Levrault.
- Boulila, Slah, Marc de Rafélis, Linda A. Hinnov, Silvia Gardin, Bruno Galbrun, and Pierre Yves Collin. 2010. “Orbitally Forced Climate and Sea-Level Changes in the Paleoeceanic Tethyan Domain (Marl-Limestone Alternations, Lower Kimmeridgian, SE France).” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 292 (1–2): 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.03.026>.
- Bruder, Georg. 1881. “Zur Kenntniss Der Juraablagerung von Sternberg Bei Zeidler in Böhmen.” *Zeitschrift Für Naturwissenschaften*, 47–99.
- . 1882. “Neue Beiträge Zur Kenntniss Der Juraablagerungen Im Nördlichen Böhmen.” *Zeitschrift Für Naturwissenschaften*, 450–89.
- . 1885. “Die Fauna Der Juraablagerung von Hohnstein in Sachsen.” *Denkschriften Der Akademie Der Wissenschaften* 50 (2): 233–283.
- . 1886a. “Palaeontologische Beiträge Zur Kenntniss Der Juraablagerungen Im Nördlichen Böhmen II.” *Zeitschrift Für Naturwissenschaften*, 193–215.
- . 1886b. “Über Die Juraablagerungen an Der Granit- Und Quadersandsteingrenze in Böhmen Und Sachsen.” *Lotos* 35: 74–110.
- Brzák, Přemysl, Otakar Fabiánek, and Petr Havránek. 2007. *Podzemí Šluknovska a Lužických Hor*. Varnsdorf: ZO ČSOP Netopýr Varnsdorf ve spolupráci s Klubem českých turistů Krásná Lípa.
- Bülow-Trummer, Ernst Karl Christian Wilhelm Ulrich von. 1920. *Fossilium Catalogus I: Animalia, II: Cephalopoda, Dibranchiata*. Neubrandenburg.
- Česká geologická služba. 2019. “Geologická Mapa 1 : 50 000, Klad Listů ZM50. In: Geovědní Mapy 1 : 50 000 [Online]. Praha: Česká Geologická Služba [Cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>.” 2019.

- Chrt, Jan, and a kolektiv. 1957. "Závěrečná Zpráva o Vyhledávacím Průzkumu 'Lužická Porucha.'"
- Chung, Ming Tsung, Ching Yi Chen, Jen Chieh Shiao, Saulwood Lin, and Chia Hui Wang. 2020. "Temperature-Dependent Fractionation of Stable Oxygen Isotopes Differs between Cuttlefish Statoliths and Cuttlebones." *Ecological Indicators* 115 (2): 106457. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106457>.
- Combémoré, Raymond. 1972. "Position Systematique de Castellanelus Nov. Gen. et de Trois Especies de Belemnites Du Cretace Inferieur Francais." *Géobios*, 67–81.
- Combémoré, Raymond, and Philip Howlett. 1993. "Le Genre Hibolites : Hibolites Mayer-Eymar, 1883, Non Hibolithes Monfort, 1808, Bélemnite Du Jurassique." *Geobios* 15: 67–72.
- Craig, Harmon. 1957. "Isotopic Standards for Carbon and Oxygen and Correction Factors for Mass-Spectrometric Analysis of Carbon Dioxide." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 12 (1–2): 133–49.
- Cuvier, Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert. 1797. *Tableau Élémentaire de l'histoire Naturelle Des Animaux*. Paris: François-Jean Baudouin.
- d'Orbigny, Alcide. 1842. *Paléontologie Française. Description Zoologique et Géologique de Tous Les Animaux Mollusques & Rayonnés Fossiles de France*. Paris: Chez Arthus Bertrand.
- Delattre, Maurice. 1952. "Caractères et Position Systématique de Berriasibelus Extinctorius (RASPAIL) n. g. (Bélemnites)." *Bulletin Du Muséum National d'Histoire Naturelle* 24: 321–27.
- Dera, Guillaume, Agathe Toumoulin, and Kenneth de Baets. 2016. "Diversity and Morphological Evolution of Jurassic Belemnites from South Germany." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 457: 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.05.029>.
- Diggelen, Jurriaan van. 1986. "Belemniten." *Gea Driemaandelijks Tijdschrift van de Stichting Geologische Activiteiten Voor Belangstellenden in de Geologie En Mineralogie* 19 (1): 1–36.
- Douvillé, Joseph Henri Ferdinand. 1879. "Note Accompagnant Le Présentation de l'Atlas de t. Iv de l'explication de La Carte Géologique de France de E. Bayle & R. Zeiller." *Bulletin de La Société Géologique de France* 7 (3): 91–92.
- Doyle, Peter. 1987. "Lower Jurassic-Lower Cretaceous Belemnite Biogeography and the Development of the Mesozoic Boreal Realm." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 61: 237–54.
- . 1992. "The British Toarcian (Lower Jurassic) Belemnites. Part 2. Monograph of the Palaeontographical Society." *Monograph of the Palaeontographical Society* 145: 50–79.
- Doyle, Peter, and Matthew R. Bennett. 1995. "Belemnites in Biostratigraphy." *Palaeontology* 38: 815–29.
- Dzyuba, Oksana S. 2005. "Systematics and Phylogeny of the Boreal Family Cylindroteuthidae: Problems Solved and Unsolved." In *2nd International Symposium - Coleoid Cephalopods Through Time*. Prague.
- . 2011. "Subfamily Classification Within The Cylindroteuthididae (in Russian)." *Paleontology and Stratigraphy* 52 (16–17): 103–8.
- Dzyuba, Oksana S., Anna A. Goryacheva, Dmitry A. Ruban, Victoria V. Gnezdilova, and Pavel P. Zayats. 2016. "New Data on Callovian (Middle Jurassic) Belemnites and Palynomorphs from the Northern Caucasus, Southwest Russia." *Geologos* 22 (1): 49–59. <https://doi.org/10.1515/logos-2016-0004>.
- Dzyuba, Oksana S., and Benoît de Lagausie. 2018. "New Belemnites (Megateuthididae, Cylindroteuthididae) from the Bajocian and Bathonian of the Yuryung-Tumus Peninsula,

- Northern Siberia, Russia and Their Palaeobiogeographic Implications.” *PalZ* 92 (1): 87–105. <https://doi.org/10.1007/s12542-017-0380-6>.
- Eliš, Mojmír. 1981. “Facies and Paleogeography of the Jurassic of the Bohemian Massif.” In *Sborník Geologických Věd*, 35:75–140. Ústřední ústav geologický.
- Fishman, Neil S., Paul C. Hackley, Heather A. Lowers, Ronald J. Hill, Sven O. Egenhoff, Dennis D. Eberl, and Alex E. Blum. 2012. “The Nature of Porosity in Organic-Rich Mudstones of the Upper Jurassic Kimmeridge Clay Formation, North Sea, Offshore United Kingdom.” *International Journal of Coal Geology* 103: 32–50. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.07.012>.
- Fözy, István, Nico M.M. Janssen, and Gregory D. Price. 2011. “High-Resolution Ammonite, Belemnite and Stable Isotope Record from the Most Complete Upper Jurassic Section of the Bakony Mts (Transdanubian Range, Hungary).” *Geologica Carpathica* 62 (5): 413–33. <https://doi.org/10.2478/v10096-011-0030-y>.
- Gray, John Edward. 1849. *Catalogue of the Mollusca in the Collection of the British Museum I: Cephalopoda Antepedia*. London.
- Gustomesov, V. A. 1958. “New Upper Jurassic Belemnites from the Russian Platform (in Russian).” *Bulleten Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody, (Seriya Geologicheskikh)* 33 (4): 158–59.
- . 1964. “Boreal Late Jurassic Belemnites (Cylindroteuthinae) of the Russian Platform, ve Zprávě Mikhailov, N. P. & Gustomesov, V. A. (Eds) Boreal Late Jurassic Cephalopods (in Russian).”
- Hoffmann, René, and Kevin Stevens. 2020. “The Palaeobiology of Belemnites – Foundation for the Interpretation of Rostrum Geochemistry.” *Biological Reviews* 95 (1): 94–123. <https://doi.org/10.1111/brv.12557>.
- Holcová, Katarína, and Magdalena Holcová. 2016. “Calcareous Nannoplankton in the Upper Jurassic Marine Deposits of the Bohemian Massif: New Data Concerning the Boreal–Tethyan Communication Corridor.” *Geological Quarterly* 60 (3): 624–36. <https://doi.org/10.7306/gq.1282>.
- Holub, Vlastimil, Vladimír Skoček, and Radko Tásler. 1978. “Palaeogeography of the Late Palaeozoic in the Bohemian Massif.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 18: 313–32.
- Hrbek, Jan. 2014. “The Systematics and Paleobiogeographic Significance of Sub-Boreal and Boreal Ammonites (Aulacostephanidae and Cardioceratidae) from the Upper Jurassic of the Bohemian Massif.” *Geologica Carpathica* 65 (5): 375–86. <https://doi.org/10.2478/geoca-2014-0026>.
- Janssen, Nico M. M. 2003. “Mediterranean Neocomian Belemnites, Part 2: The Berriasian–Valanginian Boundary in Southeast Spain (Río Argos, Cañada Lengua and Tornajo).” *Scripta Geologica*, no. 126: 121–83.
- Jeletzky, Jurij Alexander. 1965. “Late Upper Jurassic and Early Lower Cretaceous Fossil Zones of the Canadian Western Cordillera, British Columbia.” In *Bulletin 103*, 70. Geological Survey of Canada.
- Jenkyns, Hugh C., Charles E. Jones, Darren R. Gröcke, Stephen P. Hesselbo, and D. Neil Parkinson. 2002. “Chemostratigraphy of the Jurassic System: Applications, Limitations and Implications for Palaeoceanography.” *Journal of the Geological Society* 159 (4): 351–78. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-130>.
- Jenkyns, Hugh C. 1987. “Relative Sea-Level Change and Carbon Isotopes : Data from the Upper Jurassic (Oxfordian) of Central and Southern Europe,” 75–85.
- Jones, Charles E., Hugh C. Jenkyns, Angela L. Coe, and Hesselbo P. Stephen. 1994. “Strontium Isotopic Variations in Jurassic and Cretaceous Seawater.” *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58 (14): 3061–74. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90179-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90179-1).

- Klein, Jacob Theodor. 1773. *Descriptiones Tubulorum Marinorum: In Quorum Censum Relati Lapides Caudae Cancrini, Gesneri, & His Similes; Belemnitae; Eorumque Alveoli*. Knoch.
- Klug, Christian, Günter Schweigert, Dirk Fuchs, and Gerd Dietl. 2010. "First Record of a Belemnite Preserved with Beaks, Arms and Ink Sac from the Nusplingen Lithographic Limestone (Kimmeridgian, SW Germany)." *Lethaia* 43 (4): 445–56. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2009.00203.x>.
- Kriwet, Jürgen, and Stefanie Klug. 2004. "Late Jurassic Selachians (Chondrichthyes, Elasmobranchii) from Southern Germany: Re-Evaluation on Taxonomy and Diversity." *Zitteliana Reihe A: Mitteilungen Der Bayerischen Staatssammlung Für Paläontologie Und Geologie* 44: 67–95.
- Kuznetsov, Anton Borisovich, Aleksei Mikhailovich Semikhatov, and Igor M. Gorokhov. 2014. "The Sr Isotope Chemostratigraphy as a Tool for Solving Stratigraphic Problems of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian)." *Stratigraphy and Geological Correlation* 22 (6): 553–75. <https://doi.org/10.1134/S0869593814060033>.
- Lenz, Oskar. 1870. "Ueber Das Auftreten Jurassischer Gebilde in Böhmen." *Zeitschrift Für Die Gesamten Naturwissenschaften, Neue Folge* 1 (35): 41 s.
- Lissajous, Marcel. 1915. "Quelques Remarques Sur Les Bélemnites Jurassiques." *Bull. de La Soc. d'Histoire Naturelle de Mâcon*, no. leden: 1–173.
- . 1925. "Répertoire Alphabétique Des Bélemnites Jurassiques, Précédé d'un Essai de Classification: Ouvrage Posthume De." *Mémoire / Laboratoire de Géologie* 7: 173.
- Loriol, Perceval de. 1900. "Étude Sur Les Mollusques et Brachiopodes de l'oxfordien Inférieur Ou Zone à 'Ammonites Renggeri' Du Jura Lédonien, Par P. de Loriol, Accompagnée d'une Notice Stratigraphique Par M. Abel Girardot." *Mémoires de La Société Paléontologique Suisse* 27 (4): 196.
- MacGillivray, William. 1840. *A Manual of Geology*. London.
- Mariotti, Nino. 2002. "Upper Callovian - Middle Oxfordian Belemnite Assemblage from Monte Kumeta (Jurassic of Western Sicily, Italy)." *Bollettino Della Società Paleontologica Italiana* 41 (1): 13–35.
- Mariotti, Nino, Robert Weis, Mostafa Falahatgar, Horacio Parent, and Mojtaba Javidan. 2013. "Oxfordian Belemnites and Ammonites from Rostam Kola, Northern East Alborz, North Iran." *Boletín Del Instituto de Fisiografía y Geología* 83 (December).
- Mattioli, Emanuela, Claude Colombié, Fabienne Giraud, Nicolas Olivier, and Bernard Pittet. 2011. "Comment on "Orbitally Forced Climate and Sea-Level Changes in the Paleoeceanic Tethyan Domain (Marl-Limestone Alternations, Lower Kimmeridgian, SE France) " by S. Boulila, M. de Raféls, L. A. Hinnov, S. Gardin, B. Galbrun, P.-Y. Collin [Palaeogeography Pa." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306 (3–4): 249–51. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.12.028>.
- Mayer-Eymar, Karl David Wilhelm. 1883. "Systematisches Verzeichniss Der Fauna Des Unteren Saharianum (Marines Quartaer) Der Umgegend von Kairo, Nebst Beschreibung Der Neuen Arten." *Palaeontographica - Beiträge Zur Naturgeschichte Der Vorzeit* 30: 61–94.
- McArthur, John M., Peter Doyle, Melanie J. Leng, Kevin Reeves, Carpenter T. Williams, R. Garcia-Sanchez, and Richard J. Howarth. 2007. "Testing Palaeo-Environmental Proxies in Jurassic Belemnites: Mg/Ca, Sr/Ca, Na/Ca, $\Delta 18\text{O}$ and $\Delta 13\text{C}$." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 252 (3–4): 464–80. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.05.006>.
- McArthur, John M., Nico M. M. Janssen, Stéphane Reboulet, Melanie J. Leng, Matthew F. Thirlwall, and Bas van de Schootbrugge. 2007. "Palaeotemperatures, Polar Ice-Volume, and Isotope Stratigraphy (Mg/Ca, $\Delta 18\text{O}$, $\Delta 13\text{C}$, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$): The Early Cretaceous

- (Berriasian, Valanginian, Hauterivian).” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 248 (3–4): 391–430. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.12.015>.
- McArthur, John M., Jörg Mutterlose, Gilbert D. Price, Peter F. Rawson, Alastair Ruffell, and Matthew F. Thirlwall. 2004. “Belemnites of Valanginian, Hauterivian and Barremian Age: Sr-Isotope Stratigraphy, Composition ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{18}\text{O}$, Na, Sr, Mg), and Palaeo-Oceanography.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 202 (3–4): 253–72. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00638-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00638-2).
- Miková, Jitka, and Petra Denková. 2007. “Modified Chromatographic Separation Scheme for Sr and Nd Isotope Analysis in Geological Silicate Samples.” *Journal of Geosciences* 52 (3–4): 221–26. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.015>.
- Miller, Johan Samuel. 1826. “Observations on Belemnites.” *Transactions of the Geological Society of London* 2: 45–62.
- Mitchell, Simon F. 2015. “A Reassessment of the Validity and Affinities of Belemnites Sulcatus MILLER 1826, Belemnopsis EDWARDS in GRAY, 1849, and Belemnopsis BAYLE, 1878.” *Carnets de Géologie* 15: 31–39. <https://doi.org/10.4267/2042/56399>.
- Montfort, Pierre Denys de. 1808. *Conchyliologie Systématique, et Classification Méthodique Des Coquilles : Offrant Leurs Figures, Leur Arrangement Géométrique, Leurs Descriptions Caractéristiques, Leurs Noms, Ainsi Que Leur Synonymie En Plusieurs Langues : Ouvrage Destinée À Faciliter*. Paris: Frédéric Schoell.
- Morton, Samuel George. 1830. *Synopsis of the Organic Remains of the Ferruginous Sand Formation of the United States, with Geological Remarks*. American Journal of Science.
- Münster, Georg Ludwig Friedrich Wilhelm Graf zu. 1830. *Über Einige Ausgezeichnete Fossile Fischzähne Aus Dem Muschelkalk Bei Bayreuth, S.*
- Mural, Mykhailo. 2011. “First Finds Upper Jurassic Belemnites in Ukrainian Carpathians (in Ukrainian).” *Paleontological Collection* 43: 72–76. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Mutterlose, Jörg, Hans Brumsack, Sascha Flögel, William Hay, Christian Klein, Uwe Langrock, Marcus Lipinski, et al. 2003. “The Greenland-Norwegian Seaway: A Key Area for Understanding Late Jurassic to Early Cretaceous Paleoenvironments.” *Paleoceanography* 18 (1). <https://doi.org/10.1029/2001PA000625>.
- Neaf, Adolf. 1922. *Die Fossilen Tintenfische. Eine Paläozoologische Monographie*. Jena: Gustav Fischer.
- Nikitin, Sergei Nikolaevich. 1881. “Die Jura-Ablagerungen Zwischen Rybinsk, Mologa Und Myschkin an Der Oberen Wolga.” *Mémoires de l'Académie Impériale Des Sciences de St. Pétersbourg* 28 (5): 1–98.
- Noël, Denise, Georges Busson, Annie Cornée, Yves Bodeur, and Anne Marie Mangin. 1994. “Contribution Fondamentale Des Cocolithophoridées à La Constitution Des Calcaires Fins Pélagiques Du Jurassique Moyen et Supérieur.” *Geobios* 27 (SUPPL. 3): 701–21. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(94\)80233-5](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(94)80233-5).
- Nunn, Elizabeth V., Gregory D. Price, Malcolm B. Hart, Kevin N. Page, and Melanie J. Leng. 2009. “Isotopic Signals from Callovian-Kimmeridgian (Middle-Upper Jurassic) Belemnites and Bulk Organic Carbon, Staffin Bay, Isle of Skye, Scotland.” *Journal of the Geological Society* 166 (4): 633–41. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-067>.
- Olóriz, Federico, and Francisco J. Rodríguez-Tovar. 1998. “Multifactorial Control on Deposition of Epicontinental Hemi-Pelagic Carbonates during the Earliest Kimmeridgian (Prebetic Zone, Southern Spain).” *Sedimentary Geology* 119 (1–2): 123–39. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(98\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(98)00059-1).
- Oppel, Albert. 1857. *Die Juraformation Englands, Frankreichs Und Des Südwestlichen Deutschlands. Nach Ihren Einzelnen Gliedern Eingetheilt Und Verglichen*. Stuttgart: Ebner & Seubert.

- Oschmann, Wolfgang. 1988. "Kimmeridge Clay Sedimentation - A New Cyclic Model." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 65 (3–4): 217–51. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90025-9](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90025-9).
- Pavlov, Alexei Petrovich. 1914. "The Jurassic and Lower Cretaceous Cephalopoda of Northern Siberia (in Russian)." *Zapiski Imperatorskoi Akademii Nauk* 8 (21): 1–68.
- Phillips, John. 1865. *Monograph of British Belemnitidae*. Edited by Palaeontographical Society.
- Pugaczewska, Halina. 1957. "O Dwóch Gatunkach Belemnitów Rodzaju Rhopaloteuthis z Jury Polski." *Acta Palaeontologica Polonica* 2 (4): 383–404.
- . 1961. "The Belemnoids Described in the Present Paper Come from the Middle and Upper Jurassic of the Krakow-Czestochowa Highlands and from the North-Eastern Margin of the Holy Cross Mountains . They Have Be En Collected by the Writer between 1954 and 1958" VI.
- Quenstedt, Friedrich August von. 1849. *Die Cephalopoden*. Tübingen.
- . 1857. *Der Jura*. Tübingen: Laupp'schen Buchhandlung.
- "Reference and Intercomparison Materials for Stable Isotopes of Light Elements." 1995. In *Proceedings of a Consultants Meeting Held in Vienna*, 165 s. Vienna.
- Riche, Attale. 1893. *Étude Stratigraphique Sur Le Jurassique Inférieur Du Jura Méridional*.
- Riegraf, Wolfgang. 1981. "Revision Der Belemniten Des Schwäbischen Jura. Teil 8 (Schluß)." *Palaeontographica Abteilung A Band A173 Lieferung 1-4*, 64–139.
- . 1999. "Taxonomic Status of the Belemnite Genus Belemnopsis BAYLE 1878." *Palaontologische Zeitschrift* 73 (1/2): 59–76.
- . 2000. "The Belemnites Described by Baron ERNST FRIEDRICH VON SCHLOTHEIM." *Paläontologische Zeitschrift* 74 (3): 281–303.
- Riegraf, Wolfgang, Nico M. M. Jensen, and Cornelia Schmitt-Riegraf. 1998. "Cephalopoda Dibranchiata Fossiles (Coleoidea) II." In *Fossilium Catalogus. I: Animalia*, 519. Leiden: Backhuys Publishers.
- Rosales, Idoia, Santiago Quesada, and Sergio Robles. 2001. "Primary and Diagenetic Isotopic Signals in Fossils and Hemipelagic Carbonates: The Lower Jurassic of Northern Spain." *Sedimentology* 48 (5): 1149–69. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2001.00412.x>.
- Rosales, Idoia, Sergio Robles, and Santiago Quesada. 2004. "Elemental and Oxygen Isotope Composition of Early Jurassic Belemnites: Salinity vs. Temperature Signals." *Journal of Sedimentary Research* 74 (3): 342–54. <https://doi.org/10.1306/112603740342>.
- Różycki, Stefan Zbigniew. 1953. *Górny Dogger i Dolny Malm Jury Krakowsko-Częstochowskiej*. Wydawnictwa Geologiczne.
- Sachs, V. N., and Tamara I. Nal'njaeva. 1964. "Upper Jurassic and Lower Cretaceous Belemnites of the Northern USSR. The Genera *Cylindroteuthis* and *Lagonibelus* (in Russian)." *Nauka*. Leningrad.
- . 1967. "On the Systematics of Jurassic and Cretaceous Belemnites (in Russian). V Článku Sachse: Problems of Paleontologic Substantiation of Detailed Mesozoic Stratigraphy of Siberia and the Far East of USSR." In *Materials for the 2nd International Colloquium on the Jurassic System*, 6–27. Luxembourg.
- Schlegelmilch, Rudolf. 1998. *Die Belemniten Des Süddeutschen Jura: Ein Bestimmungsbuch Für Geowissenschaftler Und Fossiliensammler*.
- Schlotheim, Ernst Friedrich von. 1820. *Die Petrefactenkunde Auf Ihrem Jetzigen Standpunkte Durch Die Beschreibung Seiner Sammlung Versteinerter Und Fossiler Überreste Des Thier- Und Pflanzenreichs Der Vorwelt*. Gotha: Becker'sche Buchhandlung.
- Simpson, Martin. 1855. *The Fossils of the Yorkshire Lias; Described from Nature*. London and Whitby.
- Soua, Mohamed. 2014. "A Review of Jurassic Oceanic Anoxic Events as Recorded in the

- Northern Margin of Africa, Tunisia.” *Journal of Geosciences and Geomatics* 2 (3): 94–106. <https://doi.org/10.12691/jgg-2-3-4>.
- Sowerby, James de Carle. 1829. *The Mineral Conchology of Great Britain. Volume 6*.
- Stolley, Ernst. 1911. *Zur Kenntnis Der Arktischen Trias. Neues Jahrbuch Für Mineralogie, Geologie Und Paläontologie*. Stuttgart.
- Ullmann, Clemens Vinzenz, Robert Frei, Christoph Korte, and Stephen P. Hesselbo. 2015. “Chemical and Isotopic Architecture of the Belemnite Rostrum.” *Geochimica et Cosmochimica Acta* 159: 231–43. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.03.034>.
- Urey, Harold C. 1947. “The Thermodynamic Properties of Isotopic Substances.” *Journal of the Chemical Society* April: 562–81.
- Valečka, Jaroslav. 2019. “Jurassic Pebbles in the Cretaceous Sandstones of the Bohemian Basin as a Possible Tool for Reconstruction of the Late Jurassic and Late Cretaceous Palaeogeography.” *Volumina Jurassica*, no. 17: 17–38. <https://doi.org/10.7306/vj.17.2>.
- Vaňková, Lucie, Tiiu Elbra, Petr Pruner, Zdeněk Vašíček, Petr Skupien, Daniela Reháková, Petr Schnabl, et al. 2019. “Integrated Stratigraphy and Palaeoenvironment of the Berriasian Peri-Reefal Limestones at Štramberk (Outer Western Carpathians, Czech Republic).” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 532 (January): 109256. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109256>.
- Voltz, Philippe Louis. 1832. “V Článku Julese Thurmanna: Essai Sur Les Soulèvements Jurassiques de Porrentruy.” *Mémoires de La Société Du Muséum d’histoire Naturelle de Strasbourg* 1 (27).
- Weis, Robert, Nino Mariotti, and Wolfgang Riegraf. 2012. “The Belemnite Family Holcobelidae (Coleoidea) in the European Jurassic: Systematics, Biostratigraphy, Palaeobiogeography and Evolutionary Trends.” *Paleodiversity* 5 (May 2014): 13–49.
- Wetzel, Walter. 1911. “Faunistische Und Stratigraphische Untersuchung Der Parkinsonienschichten Des Teutoburger Waldes Bei Bielefeld, Beiträge Zur Paläontologie Und Stratigraphie Des Nordwestdeutschen Jura. Unter Mitwirkung von Fachgenossen Hrsg. von J. F. Pompecky.” In *Palaeontographica: Beiträge Zur Naturgeschichte Der Vorzeit*, 458. E. Schweizerbart.
- Wierzbowski, Hubert, Robert Anczkiewicz, Jacek Pawlak, Mikhail A. Rogov, and Anton B. Kuznetsov. 2017. “Revised Middle–Upper Jurassic Strontium Isotope Stratigraphy.” *Chemical Geology* 466 (June): 239–55. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.06.015>.
- Wierzbowski, Hubert, Krzysztof Dembicz, and Tomasz Praszkiel. 2009. “Oxygen and Carbon Isotope Composition of Callovian – Lower Oxfordian (Middle – Upper Jurassic) Belemnite Rostra from Central Poland : A Record of a Late Callovian Global Sea-Level Rise ?” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 283 (3–4): 182–94. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.09.020>.
- Wierzbowski, Hubert, and Michael M. Joachimski. 2009. “Stable Isotopes, Elemental Distribution, and Growth Rings of Belemnopsid Belemnite Rostra: Proxies for Belemnite Life Habitat.” *Palaios* 24 (6): 377–86. <https://doi.org/10.2110/palo.2008.p08-101r>.
- Wignall, Paul. B., and Alastair. H. Ruffell. 1990. “The Influence of a Sudden Climatic Change on Marine Deposition in the Kimmeridgian of Northwest Europe.” *Journal of Geological Society, London* 147 (2): 365–71. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.147.2.0365>.
- Žák, Karel, Martin Košťák, Otakar Man, Victor A. Zakharov, Mikhail A. Rogov, Petr Pruner, Jan Rohovec, Oksana S. Dzyuba, and Martin Mazuch. 2011. “Comparison of Carbonate C and O Stable Isotope Records across the Jurassic/Cretaceous Boundary in the Tethyan and Boreal Realms.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 299 (1–2): 83–96. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.10.038>.
- Zieten, Karl Hartwig Friedrich Daniel von. 1830. *Die Versteinerungen Württembergs Oder*

Naturgetreue Abbildungen Der in Den Vollständigsten Sammlungen, Namentlich Der in Dem Kabinet Des Oberamts-Arzt Dr. Hartmann Befindlichen Petrefacten, Mit Angabe Der Gebirgs-Formationen, in Welchen Dieselben Vorkommen. Verlag & Lithographie Der Expedition Des Werkes Unserer Zeit.

———. 1831. *Die Versteinerungen Württembergs Oder Naturgetreue Abbildungen Der in Den Vollständigsten Sammlungen, Namentlich Der in Dem Kabinet Des Oberamts-Arzt Dr. Hartmann Befindlichen Petrefacten, Mit Angabe Der Gebirgs-Formationen, in Welchen Dieselben Vorkommen. Verlag & Lithographie Der Expedition Des Werkes Unserer Zeit.*

Zittel, Karl Alfred Ritter von. 1895. *Grundzüge Der Palaeontologie (Palaeozoologie)*. München: Oldenbourg.

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Mapa znázorňující umístění lokalit, ze kterých pochází vzorky roster belemnitů. Červenou barvou znázorněny vybraná sídla. 1- Hohnstein, 2- Šternberk a Brtníky, 3- Kyjov (Peškova stráň). 7
- Obrázek 2: Možné paleogeografické situace v období svrchní jury na území Českého masivu (upraveno podle Kriwet and Klug 2004). Šedou barvou je znázorněna předpokládaná pevnina. 9
- Obrázek 3: Biozóny definované na základě amonitové fauny z dvou různých paleobiogeografických oblastí- boreální a tethydní (upraveno podle Hrbek 2014). 9
- Obrázek 4: Převrácené jurské vrstvy na lokalitě Vápenka, s charakteristickým střídáním dolomitických (světlejší) a jemnozrnějších nekarbonátových (tmavší) vrstev (foto Aleš Novák). 10
- Obrázek 5: Srovnání vyfotografovaného poběleného vzorku (2019) a nákresu v práci Brudera (1881). Struktura na povrchu rostra je vytvořena ústřicí rodu *Liostrea Douvillé*, 1904, kterou Bruder chybně vyobrazil a nepopsal (vzorek č. N 03 ze sbírek NM) 12
- Obrázek 6: Rekonstrukce těla belemnita. Komplexní rekonstrukce zachycující pevné i měkké části, některé použité termíny a materiál, ze kterého je tělo tvořeno (Hoffmann and Stevens 2020). 18
- Obrázek 7: Schématický nákres hlavních typů průřezů roster (cross-sections); A- kulatý, B- oválný (depressed), C- oválný (compressed), D- vejčitý, E- kvadratický, F- ledvinovitý. 19
- Obrázek 8: Nejčastější typy roster a některé používané termíny; a- cylindrické, b-hastátní, c- kónické, d- cylindrické schématicky popsané; AR- apikální rýha, VR- ventrální rýha, LR- laterální rýhy (několik typů), MLD- místo maximální šíře rostra, D- dorsum, V- ventrum, A- alveola, MŠ- mukronátní špička; (a-c) ventrální pohled, d) laterální pohled. 21
- Obrázek 9: Sub-pyriformní až sub-kvadratický tvar rostra v řezu. Trojúhelníkovitý průřez je méně výrazný, než u rostra pyriformního. Tečka značí umístění apikální linie v rámci rostra. 34
- Obrázek 10: Stratigrafický rozsah popsaných taxonů. Šedou barvou je znázorněn možný maximální časový rozsah zachovaných jurských hornin při lužické poruše na

základě analýzy amonitů (Hrbek 2014), vápňitého nanoplanktonu (Holcová and Holcová 2016) a belemnitů (tato práce). 35

Obrázek 11: Výsledky izotopových analýz hornin svrchní jury pánve Kachchh s použitím schránek ramenonožců, ústřic a roster belemnitů. Porovnání s výsledky studií hornin Skotska (belem.), západního Ruska (belem.), Polska (belem.) a Francie (ústřice). Fluktuace křivky $\delta^{18}\text{O}$ je dle autorů způsobena nedostatečným zachováním několika amonitových zón, pravděpodobněji však změnami prostředí. Data z terebratulidních brachiopodů pánve Kachchh je nutné dle autorů ještě upravit. Křivka $\delta^{18}\text{O}$ ze SZ Tethydy založená na rostrech belemnitů dobře ukazuje hlavní transgresní trend hladiny světového oceánu začínající v období keloveje. Znatelný je také rozdíl mezi bentickými (ramenonožci, ústřice) a palegickými živočichy (Alberti, Fürsich, and Pandey 2012). 38

Obrázek 12: Analýza sedimentárního záznamu izotopů uhlíku z lokality Staffin Bay, Isle of Skye, Skotsko. Porovnání horninových sledů z dvou paleogeografických oblastí Tethydní a Boreální. V této práci bylo použito dat z jiných prací (Nunn et al. 2009). 39

Obrázek 13: Poměry izotopů stroncia od konce spodní jury do začátku spodní křídly (Wierzbowski et al. 2017). Modrou barvou jsou označeny dobře zachovalé a datované vzorky, špatně datované vzorky jsou označeny tmavě červenou a špatně zachovalé oranžovou. Na obrázku je také vidět hlavní propad křivky poměru v období keloveje a oxfordu. 40

Obrázek 14: Graf hodnot poměrů izotopů stroncia s jedním vzorkem zmíněným v této práci-72-1 (převzato z Jenkyns et al. 2002) 43

Přílohy

Příloha A (Fototabule)

Příloha B (Katodoluminiscence)

Příloha C (DVD s výsledky Mikro CT analýzy vzorku N-207; NM Praha)