

# Solnhofenské vápence a jejich prostředí

Nálezové vrstvy létajících plazů a archeopteryxe jsou jemné kalové vápence, solnhofenské deskovité „litografické břidlice“, které se usazovaly v tropických podmínkách na dně mělkých mořských lagun mezi útesy vytvářenými horninotvornými houbami a korály v období svrchní jury před asi 145–150 miliony let. Označení břidlice je překladem vžitého německého pojmu lithographische Schiefer – ve skutečnosti nejde o břidlice, ale o vápence zvrstvené buď v hrubých lavicích, nebo jemných deskách. V prohrátých mělkých vodách se v pravidelných cyklech přemnožovaly drobné jednobuněčné organismy a jejich vápnité schránky se po miliony let ukládaly na dně lagun jako jemný kal. Tak se utvářelo ideální prostředí pro vznik fosilií, které jsou zde zachovány vždy na dvou deskách jako otisk a protiotisk. Návštěvníci jsou ohromeni množstvím skvělých nálezů shromážděných v muzeích, a tak vzniká mylný dojem, že jde o bohatá naleziště. Avšak již první návštěva lomů nás vyvede z omylu, bohatství je výsledkem intenzivní těžby trávající přibližně 150 let.

Název proslulé horniny je odvozen od kamenotisku (litografie) – významné tiskařské metody, která dosáhla v 19. a na počátku 20. stol. nevídaného rozvoje; jejím vynálezcem byl pražský rodák Alois Senefelder (1771–1834). Nezaslužitelnou úlohu má právě hornina těžená v okolí měst Eichstätt a Solnhofen na jihu Německa. Zdejší jemnozrnný tence vrstevnatý vápenc svými vlastnostmi splňoval jako jediný na světě složité a náročné podmínky této metody tisku. Důsledek na sebe nedal dlouho čekat – nastal překotný růst těžby, vznikaly stále nové lomy a dosud chudá oblast se počala rozmáhát. Jakmile však oblība kamenotisku a poptávka po vápencových deskách klesala, těžba opět stejně rychle upadala a lomy se jeden po druhém

zavíraly. Jen málo jich doposud těží kámen pro dlaždice a obkladový materiál.

Velkou pozornost vzbuzovaly na deskách solnhofenských vápenců tzv. dendrity (obr. 3). Už švýcarský přírodovědec Johann Jacob Scheuchzer (1672–1733) se s nimi poprvé v r. 1695 setkal v lomech kolem Eichstättu a později nálezy svých desek zobrazil na tabuli díla *Herbarium diluvianum* (1709, 1723). Správně rozpoznal, že nejde o rostlinné zbytky, ale o anorganické výkvěty oxidů manganu a železa, které v roztocích pronikají podle vrstevních plošek a krystalují tam v rozmanitých obrazcích. Desky dendritů byly oblíbené ve všech tehdejších sbírkách přírodnin. Existuje o nich dokonce zmínka ve vytištěném Scheuchzerově korespon-



1 Pražský rodák Alois Senefelder (1771–1843) vynalezl kamenotisk (litografii) již r. 1798. Pamětní deska v Praze na budově tržnice v Rytířské ulici.

Foto O. Fejfar

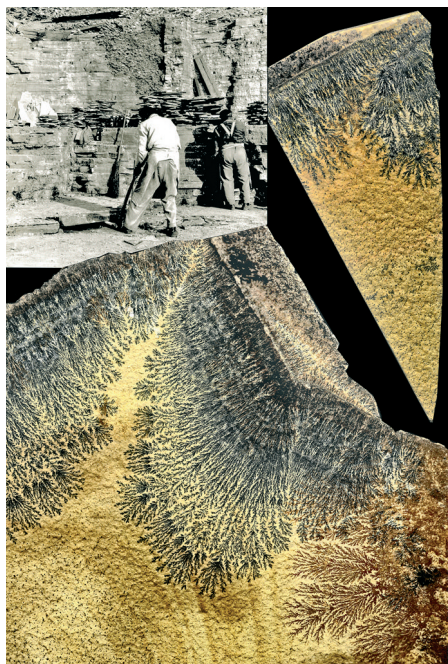
2 Obecní kamenolom v Solnhofenu kolem r. 1840 byl rozdělen na oddíly pronajaté jednotlivým lomařům. Roku 1861 jeden z nich – Wilhelm Kohler – objevil první doklad archeopteryxe – izolované pero křídla. Obrázky nahoře znázorňují oblíbenou činnost chudých domácností – zhotovování výšivek (paličkování). Podle P. Welnhofera (2008)

denci (Frankfurt 1700) *De dendritis aliisque lapidibus, qui in superficie sua plantarum figuras expriment* (O dendritech a jiných kamenech, které na svém povrchu připomínají obrazy rostlin). Stejný název zastával i Carl Linné v různých vydáních svého díla *Systema naturae*, kde v oddíle o neživé přírodě řadil dendrity mezi nepravé fosilie (*fossilia ficta*) a navrhl pro ně vědecké jméno *Graptolithus*.

Překotná těžba ovšem způsobila doslova záplavu jurských fosilií do muzeí celého světa. Konečkoncům to byl pro lomaře nezanedbatelný zdroj vedlejších příjmů. Hned zpočátku se našli i vášniví sběratelé, kteří nálezy vykupovali a dokázali dobře odhadnout jejich stále stoupající cenu. Patřil k nim od samého začátku např. místní lékař Karl Friedrich Häberlein z Pappenheimu. Zanedlouho on i jeho syn Ernst Otto Häberlein sehráli v příběhu vývoje ptáků významnou roli.

Jemné vodorovně vrstevnaté vápence vznikaly v klidném prostředí lagun mezi korálovými útesy teplého svrchnojurského moře, jehož břehy tvořily holé vápencové oblasti s roztroušenou suchomilnou vegetací. Doklady tohoto rostlinstva (např. zlomků větví cypřišovitých jehličnanů rodu *Brachyphyllum*) jsou však velmi vzácné (obr. 9). V důsledku vysokého výparu byla voda lagun při dně přesycena solí a chudá na kyslík – panovalo zde anoxické hypersalinární prostředí, v němž se na dně předpokládají povlaky sinic (cyanobakterií). Blízko hladiny však byla voda dobře okysličená, vhodná pro život drobných vznášejících se organismů – planktonu a aktivně pohyblivého nektonu.

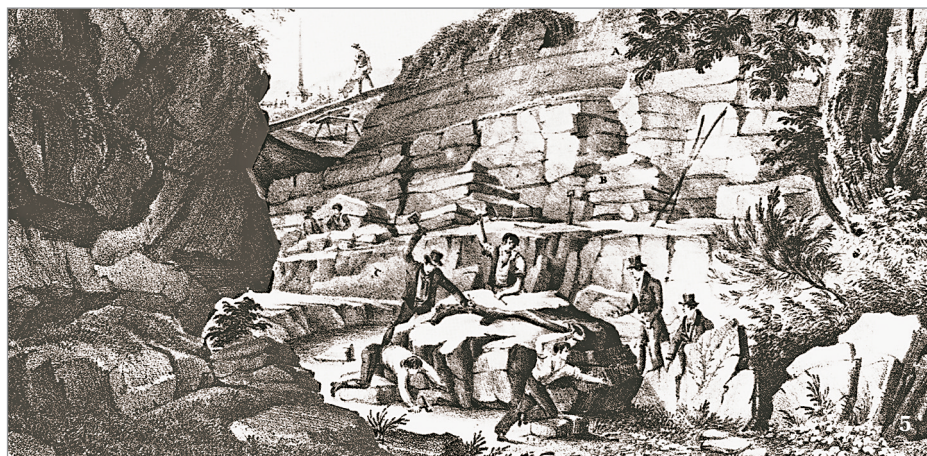
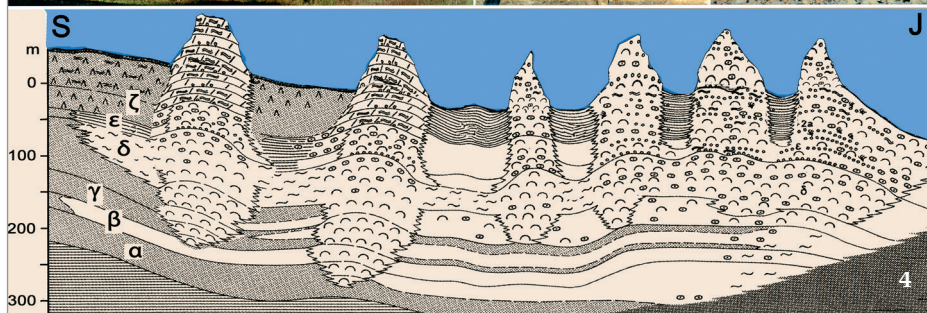




3 Na deskách solnhofenských litografických vápenců jsou proslulé keříkovité útvary – dendrity (anorganické výkvěty oxidů manganu a železa). Vlevo nahoře ukázka těžby desek v lomech solnhofenské oblasti kolem r. 1960. Těžba dnes pokračuje v několika lomech v omezenější míře hlavně pro stavební účely (dlaždice a obkladové desky), pouze jediný lom těží desky výlučně pro tiskařské účely historické litografie. Vpravo tabule s dendrity z díla Johanna J. Scheuchzera Herbarium diluvianum (Leiden 1723) s věnováním anglickému současníkovi Johnu Woodwardovi



4 Dva typy (facie) jurských vápenců v oblasti Solnhofenu a Eichstättu. Vlevo: Kavčí skála v obce Konstein jihozápadně od Eichstättu je budována bílými vápenci mořských útesů korálů a hub. Vápence v krajině vytvářejí nezvrstvené bloky neboli bradla, která do stran přecházejí do jemně vrstevnatých lagunárních facií. Vpravo: Vodorovně zvrstvené deskovité vápence vyšších poloh tzv. bílé jury se usazovaly v klidném prostředí v nepravidelných depresích (v tzv. vanách) mělkých lagun mezi korálovými útesy; to jsou proslulé deskovité solnhofenské litografické vápence. Vznikaly v teplých mořských lagunách chudých na kyslík, poměrně rychle se v nich usazoval jemný kal a vznikalo tak ideální prostředí pro zachování fosilií. Dole: Severojižní profil souvrstvím svrchnojurského moře. Podrobné členění vrstev je označeno písmeny řecké abecedy a je dodnes platné (Albert Oppel, více na str. 31). Nepravidelné věže masivních útesů korálů a hub se střídají s depresemi teplých lagun, kde se v klidných vodách s vysokou salinitou periodicky přemnožoval pasivně unášený vápnitý nanoplankton – jednobuněčné řasy bičíkovci ze skupiny *Coccolithophorida*. Jejich vápnitý obal se ukládal na dně jako jemný kal a vytvářel vrstvy deskovitých litografických vápenců. Při bouřích byl z blízké pevniny občas snášen jemný jíl, který mezi deskami tvořil pravidelné tenké mezivrstvy zvané v místním kamenicím žargonu Fäulen



5 Dobová ilustrace kamenolomu solnhofenské oblasti se skupinou sběratelů v cylindrech vypoovídá o tom, jak se již během 19. stol. rozvinulo nadšené sběratelství fosilií vyvolané velkým zájmem muzeí i soukromých sbírek vysoce postavené společnosti. Podle P. Welnhoffera (1991)



**6** Jemné desky organických solnhofenských vápenců vznikly z vápnatého nanoplanktonu přemnoženého během sezonního výkvětu – jednobuněčné řasy skupiny *Coccolithophorida* jsou obalené šluky terčíkovitých kotoučků – kokolitů. Ty i dnes žijí v teplých tropických mořích. Na obrázku šluk kokolitů na ploše desky solnhofenského vápence, který vytváří tzv. kokosféru, obklopující někdejší vápnitou řasu. Jednotlivé kotoučky rozpadlých kokosfér tvořící vlastní zdroj vzniku vápenců jsou roztroušeny na ploše desek. Průměr terčíků je 0,0005 mm

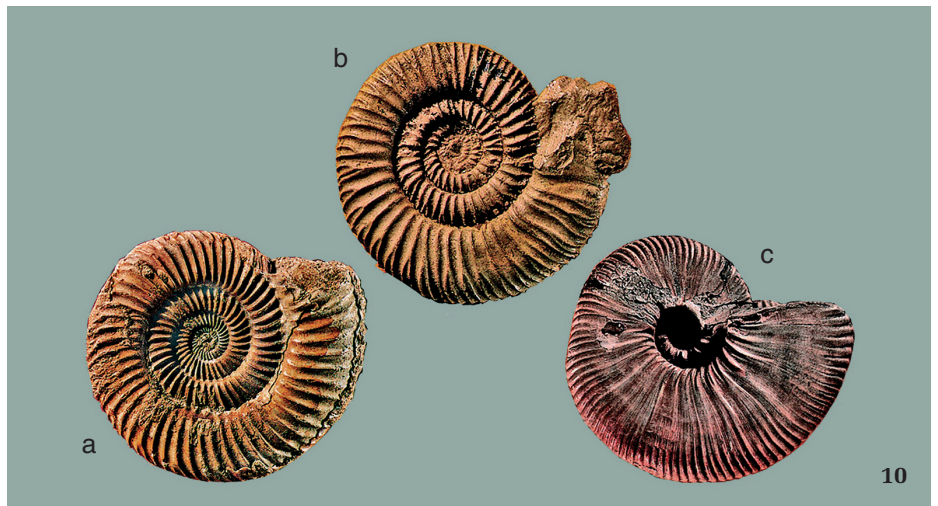
**7** V solnhofenských vrstvách jsou dobře zachovány četné stopy po lezení živočichů na mělkém dně lagun, občas odhaleném při odlivu moře – poslední cesta ostrorepa rodu *Mesolimulus* s uhynulým jedincem na konci stopy. Před nálezy současně uhynulých ostrorepů byly tyto stopy přisuzovány malým pterosaurům

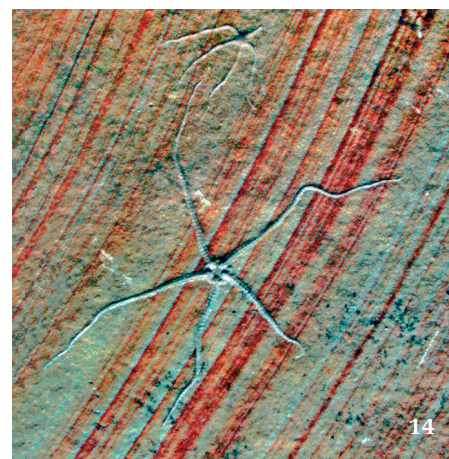
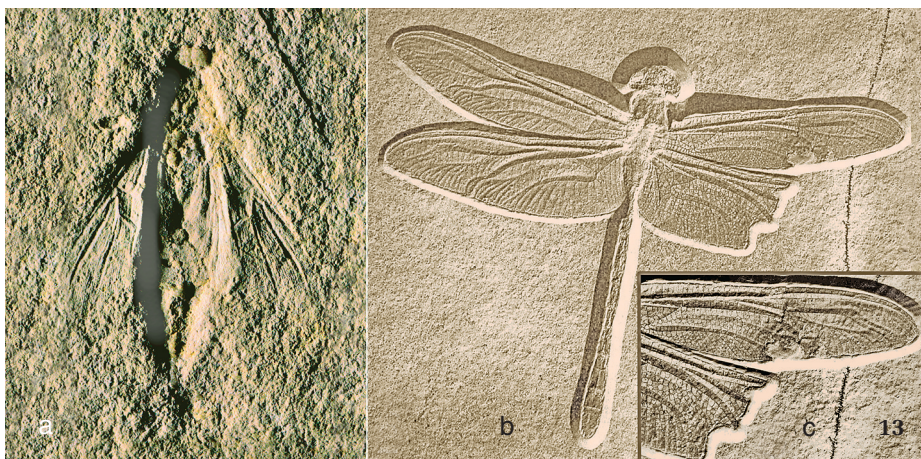
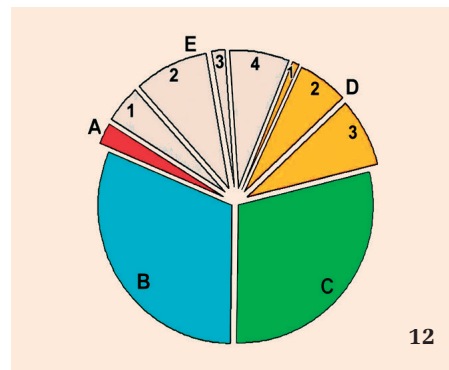
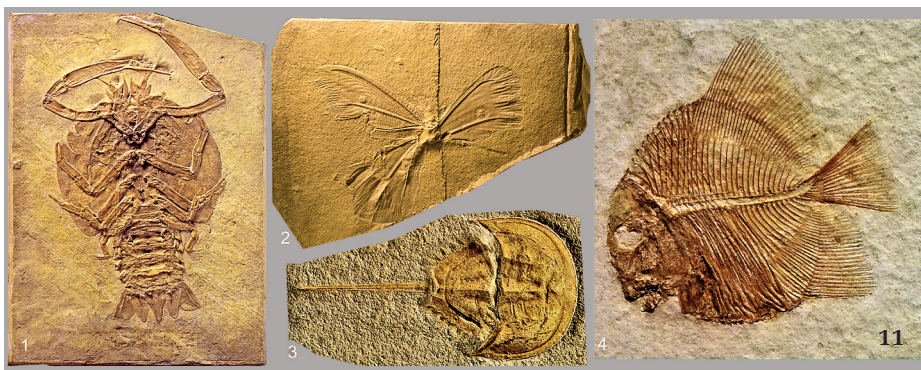
**8** Jedna z prvních odborných rekonstrukcí vymřelé přírody vůbec – život v solnhofenských lagunách a na jejich březích – je ukázkou snah o vystižení života jurského útvaru, kterému nechybí smysl pro humor i fantazie (např. vynořená hlava zubatého plesiosaura uprostřed, který vypouští z nozdr na temeni hlavy vodotrysk jako velryba). Znárodnění jednotlivých živočichů i okolní přírody je přesto v řadě detailů výstižné.

Dokonalá mědirytina Henryho de la Beche z r. 1830 zobrazuje pouze jednu tehdy známou skupinu pterosaurů – bezocasé pterodaktyly. Archeopteryx objevený až r. 1861 proto dosud chybí

**9** Rekonstrukce pobřeží lagun svrchnojurského moře, které bylo v oblasti přílivu a odlivu pokryto řídkými porosty slanomilných rostlin, v nichž převažuje jehličnan rodu *Brachyphyllum*. Rostlinné zbytky jsou v litografických vápencích poměrně vzácné a dokládají jednak místní flóru na březích, jednak olistěné větve a listy druhů, které přímo na březích lagun nerostly a byly přinášeny z okolí při občasných deštových přívalích a bouřích. Podle K. W. Barthela (1978), upraveno

**10** Tři rody typických fosilí druhohor – amonitů, dříve „rohů boha Ammona“, hlavonožců příbuzných dnešním loděnkám (*Nautilus*); a – *Parkinsonia* (střední jura), b – *Parapallasiceras* typický pro solnhofenského vápence (svrchní jura), c – *Neocomites* (spodní křída). Amoniti patří k tzv. vůdčím fosilím, na nichž je mj. založena stratigrafie druhohor





Na vzniku hornin se podíleli převážně jednobuněční bičíkovci ze skupiny *Coccolithophorida* se schránkami tvořenými vápnitými oválnými destičkami zvanými kokolity (obr. 6, T. H. Huxley je r. 1857 zařadil mezi živočichy, šlo ale o řasy). Vápnitý kal jejich schráněk se vznášel ve vodách jako suspenze a poměrně rychle se usazoval v jemných vrstvičkách, tzv. laminách – jedna odpovídá jednomu roku. Odlučnost desek pak představuje krátká období klidu, kdy se usazoval jemný anorganický (terigenní) jíl – ohlas splachů z pevniny během srážek. Jemně vrstevnaté solnhofenské vápence proto patří mezi nejdokonalejší typy geologického archivu či záznamu. Tyto vzájemně podobné, avšak různé staré druhohorní horniny jsou zachovány i jinde, např. v Kazachstánu nebo ve středním Španělsku a vyznačují se bohatstvím skvěle zachovaných fosilií. Jejich jihoněmecká podoba má však světový primát – vedle různých skupin obratlovců poskytla nejstarší doklady létajícího praptáka archeopteryxe, které se zatím nikde jinde nenašly.

Závažné jsou doklady náhlého úmrtí živočichů – např. nálezy s nestrávenou potravou nebo u ryb s čerstvě ulovenou kořistí v ústní dutině. Zvířata zřejmě ve spodních vodách lagun bez kyslíku hynula a jejich těla rychle klesala na dno. Ze stop činnosti živočichů na povrchu vrstev jsou např. dokonale zachovány schránky korýšů (ostreopů a mořských ráčků) – mnohdy na konci jejich předsmrtné stopy (obr. 7). Nejhojnější fosilií na deskách vápence jsou zástupci hadic (*Ophiura*, volně plovoucí rody *Saccocoma* a *Geocoma*, obr. 14) podobné malým pětiramenným hvězdicím; je možné, že byly na nehostinné podmínky dna lagun přizpůsobeny. Hojnou složkou těchto vápenců jsou i hlavonožci, včetně předků chobotnic. Velcí

mořští obratlovci (hlavně ryby, ojediněle dokonce několikametrový ještěr ichtyosaurus) byli zřejmými „zbloudilci“ v době, kdy se prostor lagun nakrátko spojil s okolním mořem a představoval zrádnou smrtící past.

Jinak je to s živočichy, kteří nad vodami lagun létali. Především to byl početný hmyz, jehož dokonale zachovaní jedinci a zvláště celá či poškozená křídla patří k hojnějším nálezům (obr. 13). Hmyz byl lákavou nábídka pro četné druhy létajících plazů – pterosaurů: velké množství hmyzích pozůstatků na dně lagun je určitě dokladem jejich hostiny přímo za letu. Pterosauři patřili ke stálým a početným obyvatelům okolních skalnatých útesů, kde odpočívali po lovu a kde rovněž hnízdili. Jak to ale bylo s archeopteryxem, který jistě nebyl tak vytrvalým letcem jako pterosauři? Soudíme, že jeho výskyt byl důsledkem vzácných náhod. Pravděpodobně ho k lagunám zanesl prudký vítr – třeba během bouře – ze vzdálenějšího nitra pevniny, kde bylo jeho vlastní životní prostředí. Předpokládáme, že to byly lesní porosty se sladkovodními jezery a bažinami nezbytnými pro vývin hmyzích larev. Zde v korunách araukárií, cykasů, jinanů a stromových kapradin lovil hmyz.

Shrneme-li poznatky o vzniku litografických vápenců, dojdeme k závěru, že původní (autochtonní, na místě žijící) složkou byly mikroorganismy nektonu a planktonu. Všechny ostatní nálezy živočichů i rostlin byly složkou sice soudobou, avšak cizí (allochtonní), která byla do lagun přemístěna druhotně. K těmto allochtonním nálezům patří i dosavadní kosterní doklady praptáka archeopteryxe.

11 Typické fosilie svrchnojurských litografických vápenců. 1 – mořský rak rodu *Cycleryon* z Mörsheimu (délka 16 cm) a 3 – ostreop rodu *Mesolimulus* (délka 10 cm) ze Solnhofenu žili v mělkých lagunách, 2 – sítkřídly hmyz rodu *Kalligramma* (rozpětí křídel 19,5 cm!) byl podobný motýlu, 4 – plochá kulozubá rybka rodu *Gyronchus* (délka 12 cm) žila v okolí korálových útesů. Podobné nálezy, dnes ve Státní bavorské paleontologické sbírce, byly kdysi pro skvělé zachování chlubou šlechtických sbírek

12 Poměrné zastoupení čtvernožců v solnhofenských litografických vápencích. Rod *Archaeopteryx* (A) a létající plazi – pterosauři: rody *Rhamphorhynchus* (B) a *Pterodactylus* (C) představují přes 60 % celé fauny. Pozoruhodné je téměř rovnocenné zastoupení pterosaurů; E – plazi žijící v moři (1 – *Pliosaurus*, *Ichthyosaurus*) či v blízkosti mořských břehů (2 – poměrně hojný *Pleurosaurus*, 3 – vzácný *Teleosaurus* a 4 – vcelku hojně želvy); D – rody drobných suchozemských plazů (1 – vzácný *Atoposaurus*, hojnější 2 – *Lepidosaurus* a 3 – *Homoesaurus*). Toto složení se v různých oblastech (resp. faciích) litografických vápenců vzájemně lišilo

13 Možná kořist pterosaurů – poměrně velký zástupce blanokřídlého hmyzu rodu *Myrmicium* (Hymenoptera) s délkou 75 mm (a) a vážka rodu *Cymatophlebia* (Odonoptera, rozpětí až 14 cm) mívá křídla poškozená pterosaury (b). Skvěle zachovaný nálezu z lomu u Eichstättu odhalilo na křídlech i stopy zubů při skousnutí čelistí (c).

14 Hadice rodů *Saccocoma* a *Geocoma* jsou nejhojnějšími fosiliemi na deskách litografických vápenců