



VÝSLEDKY VÝZKUMU HRANICE KŘÍDA/TERCIÉR V MAGURSKÉM FLYŠI U UZGRUNĚ

Results of the investigations at the Cretaceous/Tertiary boundary in the Magura Flysch near
Uzgruň

Miroslav Bubik¹, Marie Adamová², Marta Bąk³, Juraj Franců¹, Przemyslaw Gedl⁴,
Radek Mikuláš⁵, Lilian Švábenická⁶, Alfred Uchman³

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, e-mail: mbubik@egi.utah.edu

² Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

³ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Oleandry 2a, 30-063 Krakow, Poland

⁴ Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Senacka 1, 31-002 Krakow, Poland

⁵ Geologický ústav AVČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6

⁶ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

(25-24 Turzovka)

Key words: *KT boundary, stratigraphy, Ir anomaly, extinction, palaeoenvironmental analysis,
Outer Carpathian Flysch, Rača Unit*

Abstract

The Cretaceous/Cenozoic transition was studied in the deep-sea/sub-CCD flysch sediments of the Carpathian Flysch using micropaleontology, sedimentology and geochemistry. The position of the boundary was estimated in the section based on integrated stratigraphy (chemostratigraphy and biostratigraphy: calcareous nannofossils, dinocysts, foraminifers, and radiolarians). The boundary layer itself was not found, but a weak Ir enrichment in three muddy turbidites is interpreted as reworking of it. The base of the benthic foraminifer *Rzehakina fissistomata* zone was recorded 2.5 m below the boundary. The last occurrence of the nannofossil *Micula prinsii* and planktonic foraminifer *Abathomphalus mayaroensis* was recorded in the highest calcareous turbidite mudstone 0.65 m below the boundary, and Maastrichtian radiolarian assemblage of the *Amphipyndax tylotus* Zone 1.45 m below the boundary. The dinocyst index species *Carpatella cornuta* was found just 35 cm above the base of the Ir bearing turbidite layer. No extinctions among benthic foraminifers were observed at the boundary. The dinocyst record shows prolonged stepwise return across the whole studied section (uppermost Maastrichtian - basal Danian). This multidisciplinary study has allowed the modelling of paleoenvironmental changes across the Cretaceous/Tertiary transition. The changes in the deep sea Magura Flysch Basin result from the interplay between a trend of increasing bottom-water oxygenation with two low-oxygen episodes in the uppermost Maastrichtian, the formation of an oxygen minimum zone in the water column above, increasing plankton productivity, possible upwelling, and shifts in the level of the CCD. At the boundary itself there was no sudden change, but rather a prolonged trend of increasing primary as well as benthic

Úvod

V roce 2001 byl ukončen výzkum hranice křída/terciér (K/T) prováděný v rámci projektu „Hraniční eventy paleocénu v magurském flyši“ (GAČR 205/00/218). Situace, geologický kontext a předběžný popis hraničního profilu podal Bubik et al. (1999). Během prvního roku výzkumů u Uzgruň byla definitivně prokázána tektonická neporušenost vstevního sledu a zároveň pomocí dinocyst ohraničen interval 40 cm, ve kterém by mohla být nalezena hranice K/T (Bubik et al., 2001). V průběhu následujícího roku 2001 se výzkum zaměřil na co nejpřesnější stanovení hranice v profilu a rekonstrukci paleoenvironmentálních změn napříč hranicí všemi dostupnými metodami mikropaleontologie, sedimentologie, geochemie a mineralogie, což byly hlavní cíle vytčené projektem. Během dosavadních výzkumů bylo z hraničního profilu celkem odebráno a zpracováno 51 vzorků na mikrofaunu, 11 vzorků na vápnité

nanofosilie, 43 palynologických vzorků (na dinocysty), 18 vzorků na vybrané analýzy organické i anorganické geochemie, 22 vzorků na chemostratigrafii (platinoidy aj.) a 5 vzorků na mineralogické studium. Mimo jiné byla provedena detailní ichnopalaeontologická analýza hraničního profilu vrstvu po vrstvě metodou orientovaných nábrusů v terénní laboratoři přímo na lokalitě (121 dokumentovaných vzorků). Ichnopalaeontologická analýza prokázala, že eroze na bázi jednotlivých turbiditů je relativně zanedbatelná a pro daný typ sedimentace je hraniční profil velice kompletní. Níže jsou shrnuty hlavní výsledky výzkumu s ohledem na cíle projektu. Zároveň jsou připravovány dílčí studie s podrobnými výsledky některých specializací a shrnující článek pro publikaci v zahraničních časopisech. Rozsáhlejší dokumentace (popis profilu, datové tabulky apod.), která nebude přímo publikována, bude uložena v archivu Českého geologického ústavu spolu se závěrečnou zprávou projektu.

Stratigrafie hranice K/T

Hranice K/T ve studovaném profilu byla stanovena s použitím přístupu integrované stratigrafie kombinující biostratigrafická data všech přítomných fosilních skupin s chemostratigrafií (geochemické anomálie). Biostratigrafie na základě dinocyst a chemostratigrafie (iridiová anomálie) přispěly k řešení rozhodujícím způsobem. Obecně lze konstatovat, že chemostratigrafická i biostratigrafická data různých fosilních skupin nejsou ve vzájemném rozporu, a to včetně dat z turbiditů, které je nutno považovat za redepozici. Níže jsou uvedena výchozí fakta pro celkovou stratigrafickou syntézu hraničního profilu.

Vápnité nanofosilie. Všechny tafocenózy vápnatých nanofosilií získané z hraničního profilu jsou složeny z křídových druhů, druhů přecházejících do terciéru (tzv. „survivors“) a starších redeponovaných nanofosilií. Nebyly zjištěny žádné nanofosilie s prvním výskytem v paleocénu ani zvýšený výskyt *Thoracosphaera* sp. nebo *Braarudosphaera bigelowii* (tzv. „blooming taxa“). V tafocenózách byl zaznamenán výskyt druhu *Biantholithus sparsus* známého jako marker paleocénu v četných K/T profilech. Četné křídové výskyty tohoto druhu jsou však již dobře dokumentovány a nově je třeba jej klasifikovat mezi tzv. „survivors“ (Švábenická, 2001). Výskyt *Micula prinsii* dovoluje zařazení tafocenóz z hraničního profilu do nejvyšší maastrichtské zóny UC20d^{PP}. Na základě vápnatých nanofosilií lze K/T hranici předpokládat nad nejvyšším vzorkem (19E) ve zcela nevápnité vyšší části profilu.

Dinocysty. Spodní část profilu mezi vzorky 20B3-19D1 lze na základě výskytu *Disphaerogena carposphaeropsis*, *Palynodinium* cf. *grallator*, *Palynodinium grallator*, *Dinogymnium* a *Amphigymnium* zařadit do maastrichtu. Poslední výskyt zástupců komplexu *Dinogymnium-Amphigymnium* byl zjištěn ve vzorku 19D1, který je tudíž nejvyšším doloženým maastrichtským vzorkem. První výskyt vůdčího druhu danu *Carpatella cornuta* byl zaznamenán 35 cm nad chemostratigraficky stanovenou hranicí (vz. 19E4). Globální první výskyt tohoto druhu nekoinciduje přesně s K/T hranicí, ale patří o něco výše (viz Brinkhuis *et al.*, 1998). Interval mezi prvním výskytem *C. cornuta* a posledním výskytem *Palynodinium grallator* ve vzorku 19F6 může být předběžně s jistou dávkou opatrnosti korelován s foraminiferovými zónami Pá až bazální P1a podle korelace provedené Brinkhuisem *et al.* (1998). Hranice K/T na základě dinocyst může být situována kdekoli mezi vzorky 19E4 a 19D1.

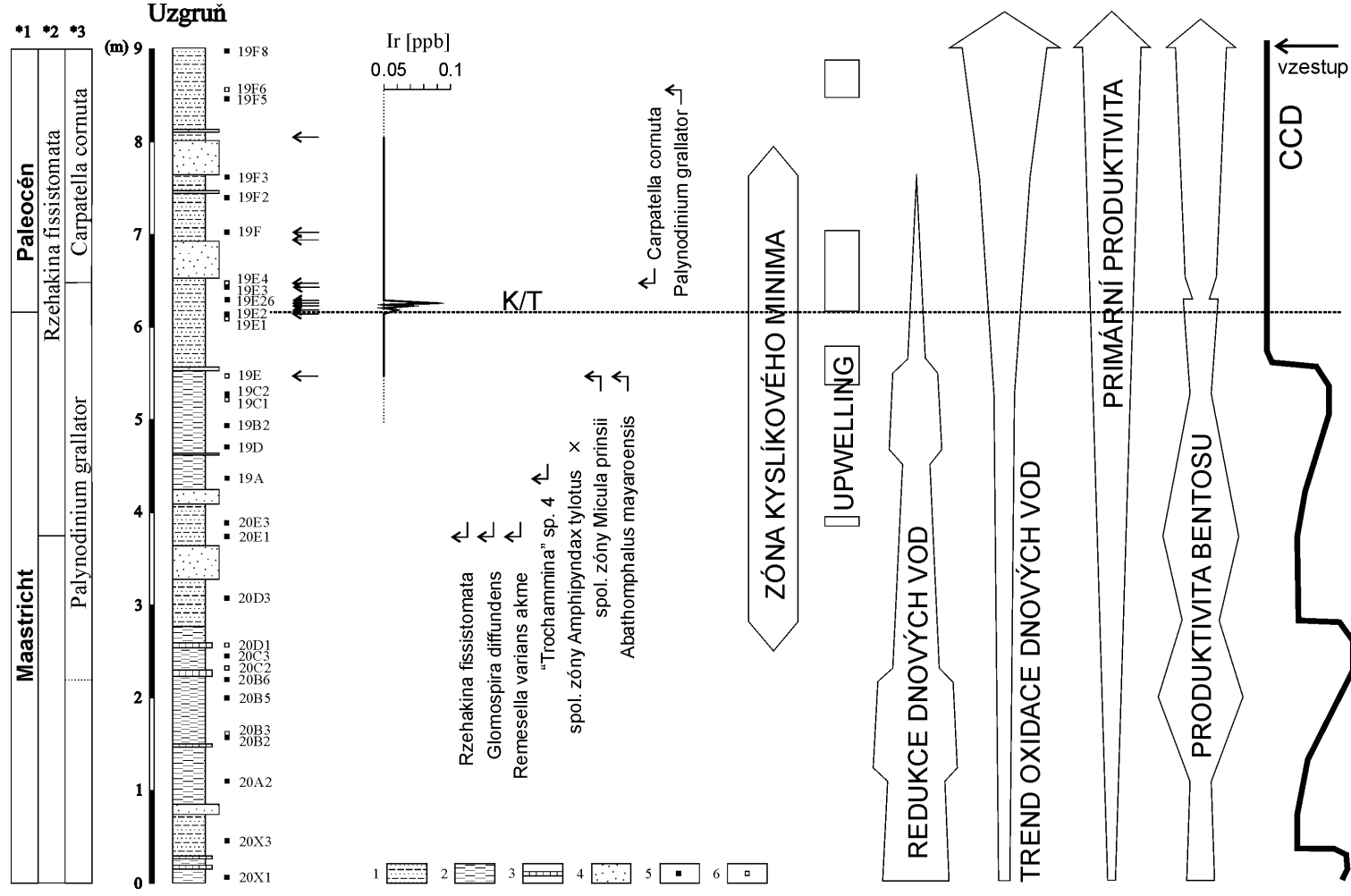
Foraminifery. Planktonické foraminifery jsou velice vzácné a vyskytují se výhradně ve vápnatých turbiditních sedimentech spolu s křídovými nanofosiliemi. Za zmínku stojí pouze nález ojedinělého jedinca *Abathomphalus mayaroensis* - indexového druhu stejnojmenné zóny nejvyššího maastrichtu ve vzorku 19E. Aglutinované foraminifery obecně nedovolují tak vysoké rozlišení jako plankton, ale zato jsou autochtonní a některé bioeventy

mají význam pro stanovení K/T hranice. První výskyt druhu *Rzehakina fissistomata* - indexu stejnojmenné zóny Gerocha & Nowaka (1984) - byl zaznamenán ve vzorku 20E1. Báze této zóny je zhruba korelována s hranicí K/T, kalibrace však dosud chyběla. První výskyt ve studovaném profilu spadá asi 2.5 m pod hranici K/T stanovenou chemostratigraficky (viz níže). Ve stejné stratigrafické úrovni byl v profilu zaznamenán nástup (lokální znovu-objevení) druhu *Glomospira diffundens* a báze intervalu souvislého výskytu *Remesella varians* (ekvivalent akmezóny *R. varians* sensu Kuhnt *et al.*, 1996). Jen o 0.8 m výše byla nalezena ojediněle „*Trochammina*“ sp. 4 sensu Bubik (1995), považovaná za vůdčí druh paleocénu. Kumulace uvedených bioeventů v přibližně stejném stratigrafickém horizontu pod hranicí K/T naznačuje, že představují odraz změn předcházejících K/T a nemajících žádný vtaž k hraničnímu eventu.

Radiolarie. Diversifikované a průkazné společenstvo radiolárií zóny Amphipyndax tylotus sensu Foreman (1977) bylo zatím získáno a zhodnoceno z jediného vzorku 19D odebraného 1.45 m pod chemostratigraficky stanovenou hranicí (viz Bağ, 1999). Společenstvo umožňuje zařazení v rámci intervalu svrchní campan - maastricht. V nejbližší době bude vyhodnocen další fosilní materiál získaný i paleocénní části profilu.

Chemostratigrafie. Geochemický výzkum se soustředil na vyhledání anorganických anomálií známých z jiných K/T profilů celosvětově, jako zvýšení koncentrací Cr, Ni, Co, siderofilních prvků a U, a zároveň ochuzení Ba a prvků vzácných zemin. Tyto anomálie jsou tvořeny produkty impaktového eventu, případně následných paleo-environmentálních změn a jsou považovány za izochronní. Žádná z uvedených anomálií však nebyla v biostratigraficky vymezeném hraničním intervalu profilu u Uzgruně uspokojivě prokázána. Tyto anomálie bývají vázány na hraniční K/T polohu („boundary clay“). Ta nebyla v profilu u Uzgruně identifikována, takže absence anomálií může být výsledkem eroze této polohy a částečně i hustoty analýz v K/T intervalu. Nejvýznamnější geochemickou anomálií K/T hranice je Ir anomálie. 22 vzorků z Uzgruně bylo analyzováno na obsah Ir a některých dalších prvků platinové skupiny (Pt, Pd, Rh, Ru). Koncentrace platinoidů byly měřeny na spektrometru VG PQ3 (PřF UK, Praha). Koncentrace byly velice nízké ve všech vzorcích a slabé zvýšení koncentrace Ir (0,06-0,09 ppb) bylo zjištěno pouze ve třech následujících turbiditních polohách (vz. 19E21, 19E23, and 19E25) uvnitř biostratigraficky vymezeného hraničního intervalu. Poslední dva vzorky poskytly rovněž měřitelné koncentrace Rh. Ačkoli naměřené koncentrace jsou velice nízké a nepřekračují hodnoty pozadí na známých K/T profilech, zjištěné zvýšení koncentrace Ir považujeme za redepozici hraniční vrstvičky. V takovém případě lze K/T hranici na Uzgruni položit na bázi nejnižší turbiditní polohy.

Organická geochemie. V sérii vzorků zkoumaného profilu byly provedeny analýzy obsahu organického a minerálního uhlíku, pyrolýza RockEval a analýza nasycených uhlovodíků v extraktech hornin.



Obr. 1 - Složený litologický profil hranic K/T u Uzgruň s vyznačením křivky koncentrace Ir v jílovcích a vybraných bioeventů. Šipky vyznačují situaci vzorků na chemostratigrafii. Stratigrafie: *1 - chronostratigrafie, *2 - zóny aglutinovaných foraminifer sensu Geroch - Nowak (1984), *3 - zóny dinocyst sensu Hansen (1977). Legenda: 1 - převážně peltické sekvence s nevápnnými turbiditami, 2 - převážně peltické sekvence s vápnnými turbiditami, 3 - turbiditní slínovce, 4 - pískovce, 5 - vzorky z hemipelagitů, 6 - vzorky z turbiditů.

Fig. 1 - Composed lithological chart of the K/T section near Uzgruň with plotted Ir-concentration curve and selected bioevents. Arrows indicate the situation of samples for chemostratigraphy. Stratigraphy: *1 - chronostratigraphy, *2 - agglutinated foraminifer zones sensu Geroch - Nowak (1984), *3 - dinocyst zones sensu Hansen (1977). Explanation: 1 - predominantly shaly sequences with non-calcareous turbidites, 2 - predominantly shaly sequences with calcareous turbidites, 3 - turbidite marlstones, 4 - sandstones, 5 - samples from hemipelagites, 6 - samples from turbidites.

Mineralogie. Jílovce tří turbiditních poloh se zvýšeným obsahem Ir byly podrobeny mineralogickému studiu s cílem najít případné produkty impaktu. Rozbor jílových minerálů rentgenovou difrakcí však vůbec neprokázal skupinu smektitu, která bývá zastoupena v tzv. „hraničním jílu“. Rovněž mikroskopické studium psamitické frakce separované z jílovců neprokázalo šokový křemen a sferuly přítomné v hraniční lamině na mnoha K/T profilech.

Paleoenvironmentální rekonstrukce

Multidisciplinární studium hraničního profilu u Uzgruně umožnilo rekonstruovat prostředí a jeho změny v magurské hlubokomořské pánvi na rozhraní křídly a terciéru. Sedimentologická pozorování dovolují situovat sedimentaci nejspíše do mezikanálové části středního vějíře, která fungovala patrně občas i jako „by-pass“ zóna turbiditních proudů vzhledem k výskytu neúplných rytmiů (Ta, Tab) a izolovaných chodeb *Ophiomorpha* vyplněných pískem. Kvantitativní zhodnocení tafocenóz bentózních foraminifer v turbiditech dovolilo situovat zdrojovou oblast turbiditů do bathyálu odpovídajícímu hloubkám středního svahu. Změny prostředí v pánvi byly výslednicí měnicích se a různým způsobem navzájem provázaných faktorů.

Epizody snížení obsahu kyslíku u dna. Dvě epizody snížení obsahu kyslíku v dnových vodách jsou doloženy zvýšenými obsahy Corg a síry a především zvýšenými hodnotami vodíkového indexu (HI) organické hmoty. Postižena byla nejen oblast vlastního „soláňského“ turbiditního vějíře, ale zároveň i zdrojová oblast turbiditů v oblasti středního svahu, jak dokládají shodné trendy zjištěné v hemipelagických a turbiditních jílovcích. Ochuzení kyslíku nedosáhlo hodnot anoxie a bylo omezeno na intersticiální vody dna, neboť společenstva bentózních foraminifer a hrabavý makrobentos zjevně nebyl postižen.

Trend zvyšování obsahu kyslíku u dna. V rámci celého studovaného profilu byl prokázán obecný trend přechodu k více oxickým podmínkám u dna na základě rostoucího poměru pristan/fytan, zvýšení obsahu Fe_2O_3 a snížení obsahu síry. Trend byl zaznamenán jak v turbiditních, tak i hemipelagických jílovcích.

Vytvoření zóny kyslíkového minima. Podle velice jemného typu pyritizace radiolarií lze usuzovat, že pyritizace proběhla v anoxickém prostředí ve vodním sloupci přímou substitucí opálu pyritem (viz Bąk & Sawłowicz, 2000). K takové pyritizaci mohlo dojít při klesání koster radiolarií napříč zónou kyslíkového minima. Podle distribuce radiolarií pyritizovaných daným způsobem, zóna kyslíkového minima přetrvávala od nejvyššího maastrichtu do bazálního paleocénu napříč hranicí K/T.

Růst primární produktivity. Trend rostoucí produktivity marinního fytoplanktonu vyplývá z rostoucího podílu lehkých k těžkým homologům n-alkanů (LHCP) v organické hmotě z turbiditních jílovců. Ve svrchní části profilu tento trend koinciduje s růstem produktivity

foraminiferového bentosu a se zvyšováním obsahu Corg.

Změny produktivity bentosu. Relativní změny produktivity bentosu mohou být pozorovány na křivce hustoty bentózních foraminifer (počet jedinců na 1 g suchého sedimentu). Ve srovnání s jednoduchým trendem primární produktivity, křivka hustoty bentosních foraminifer ukazuje složitější chování. Dramatické výkyvy hustoty spolu se změnami složení společenstev ve spodní části profilu jsou interpretovány jako střídání oligotrofních období s obdobími dostatečného přísunu potravy. Jedna z oligotrofních epizod byla zjištěna přímo nad K/T hranicí. Počínaje nejvyšším maastrichtem však bentózní produktivita roste, jak už bylo zmíněno výše.

Výkyvy úrovně kompenzační hloubky CCD. Ačkoli sedimentace soláňského souvrství probíhala trvale pod lokální CCD, několik výkyvů CCD je doloženo především změnami obsahu $CaCO_3$ v pelitech a rovněž indikátory rozpouštění karbonátů v turbiditech. Významným indikátorem rozpouštění je zastoupení odolné nanofosilie *Micula decussata* v tafocenózách, které se pohybovalo mezi 20 a 80 %.

Výstupné proudy (upwelling). Hojný výskyt peridinoidních dinocyst v některých polohách vyšší části profilu může svědčit o upwellingu během sedimentace. Proudění pravděpodobně nebylo příliš stabilní a výrazné a nezanechalo další charakteristické projevy ve fosilním a sedimentárním záznamu.

Dnové proudy. Uvnitř některých silnějších poloh hemipelagických jílovců byly pozorovány prachovité vločky s neostrou bází případně s negativní gradací na bázi a pozitivní v horní části. Takové polohy nelze považovat za turbidity, ale spíše za sedimenty dnových proudů (? konturových).

Závěr

Výzkum provedený v soláňském souvrství magurského flyše u Uzgruně představuje vůbec první detailní multidisciplinární zpracování hranice K/T v sedimentech uložených pod CCD. Dosavadní výzkumy K/T hranice a hraničního eventu se soustředily na mělkovodnější facie, kde se mohly opřít o biostratigrafii na základě planktonických foraminifer a vápnitých nanofosilií. Ačkoli flyšová facie je obecně pro podobné výzkumy velice nepříznivá ze sedimentologického, paleontologického a tafonomického hlediska, profil u Uzgruně se ukázal být relativně velmi kompletním z hlediska sedimentárního i fosilního záznamu.

Vlastní hraniční lamina (Ir vrstvička), známá z mnoha K/T profilů ve světě nebyla bohužel nalezena a s nejvyšší pravděpodobností byla rozmyta. Eroze celkově však nebyly příliš významné z hlediska celého profilu a představovaly patrně drobné procento původní mocnosti. Turbiditní polohy se zvýšeným obsahem Ir lze považovat za redepozici hraniční laminy a hranice K/T je formálně stanovena na bázi nejnižší polohy. Biostratigrafická data na základě

různých fosilních skupin nejsou v rozporu s takto formálně stanovenou hranicí ani mezi sebou navzájem. Výzkum přinesl nové biostratigrafické poznatky (např. pro bentózní foraminifery), avšak potenciál profilu není dosud vyčerpán (především pro radiolariovou biostratigrafii).

Z paleoenvironmentální rekonstrukce je zřejmé, že žádná ze zaznamenaných změn nemá souvislost s impaktem extraterestrického tělesa a masovým vymíráním, protože spolu časově nekoincidují. Bezprostředně napříč hranicí v hlubokomořské magurské pánvi patrně přetrvávaly nevýznamný upwelling a zóna kyslíkového minima. Zároveň napříč hranicí pokračoval dlouhodobější trend rostoucí primární i bentózní produktivity.

Studium mikrofosilií se souvislým fosilním záznamem napříč hranicí K/T (bentózní foraminifery, dinocysty) neprokázalo vymření jediného druhu, které by přímo koincidovalo s hranicí. Zaznamenané bioeventy aglutinovaných foraminifer výrazně předbíhají K/T hranici a nemají rovněž s hraničním eventem žádnou souvislost.

Jedinou změnou zachycenou ve fosilním záznamu nad K/T hranicí je pokles hustoty foraminiferového bentosu a změna složení společenstva interpretované jako oligotrofní epizoda. Obdobné změny však byly zaznamenány opakovaně v nejvyšším maastrichtu, takže souvislost s předpokládaným zhroucením povrchové produktivity oceánu je nejistá. Rovněž ichnopaleontologický záznam napříč hranicí nevykazuje žádné ochuzení ani kvalitativní změny.

Ačkoli společenství hlubokomořského bentosu jsou závislá na primární produktivitě (fytoplanktonu), zdá se, že nebyla vůbec trvale postižena na rozdíl od bioty povrchových vrstev oceánu a šelfů. Možným vysvětlením je přehlížení významu fytoplanktonu s organickou stěnou (dinocysty) v globálním potravním řetězci a přečeňování podílu vápnatého nanoplanktonu a planktonických foraminifer. Dinocysty oproti uvedeným vápnatému planktonu nebyly hraničním eventem negativně zasaženy a mohly žít bentózní společenstva oceánského dna.

Literatura:

- Bąk, M. (1999): Uppermost Maastrichtian radiolaria from the Magura Nappe deposits, Czech Outer Carpathians. - *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 69, 3-4, 137 - 159. Krakow.
- Bąk, M. - Sawłowicz, Z. (2000): Pyritized radiolarians from the Mid-Cretaceous deposits of the Pieniny Klippen Belt – a model of pyritization in an anoxic environment. *Geologica Carpathica*, 51 (2): 91-99.
- Brinkhuis, H. - Bujak, J.P. - Smit, J. - Versteegh, G.J.M. - Visscher, H. (1998): Dinoflagellate-based sea surface temperature reconstructions across the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 141: 67-84.
- Bubik, M. (1995): Cretaceous to Paleogene agglutinated foraminifera of the Bílé Karpaty unit (West Carpathians, Czech Republic). - In: Kaminski, M. A. - Geroch, S. - Gasinski, M. A. (eds.): *Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera*, Krakow, Poland, September 12 - 19, 1993. Grzybowski Foundation Special Publication no. 3, 71 - 116.
- Bubik, M. - Bąk, M. - Švábenická, L. (1999): Biostratigraphy of the Maastrichtian to Paleocene distal flysch sediments of the Rača Unit in the Uzgruň section (Magura group of nappes, Czech Republic). - *Geologica Carpathica*, 50, 1, 33 - 48. Bratislava.
- Bubik, M. - Adamová, M. - Franců, E. - Franců, J. - Gedl, P. - Švábenická, L. (2001): Výzkum hranice křída/terciér v magurském flyši v roce 2000. - *Geol. výzk. Mor. Slez. v roce 2000*, 22 - 26.
- Foreman, H.P. (1977): Mesozoic Radiolaria from the Atlantic basin and its borderlands. In: Swain, F.M. (Ed.): *Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderlands*, 305-320pp.
- Geroch, S. & Nowak, W. (1984): Proposal of zonation for the Late Tithonian - Eocene, based upon the arenaceous foraminifera from the outer Carpathians, Poland. - In: Oertli, H. (Ed.): *Benthos '83; 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera*, Pau (France), April 11 - 15, 1983. Elf Aquitaine, ESSO REP and TOTAL CFP, pp. 225-239.
- Kuhnt, W. - Moullade, M. - Kaminski, M. A. (1996): Cretaceous palaeoceanographic events and abyssal agglutinated foraminifera. - In: Moguilevsky, A. - Whatley, R. (eds): *Microfossils and Oceanic Environments*. - University of Wales, Aberystwyth Press, 63-77.
- Švábenická, L. (2001): Late Campanian/Late Maastrichtian penetration of high-latitude calcareous nannoflora to the Outer Western Carpathian depositional area. – *Geologica Carpathica*, 52, 1, 23-40.