

Identifikácia a charakteristika lalokov turbiditných systémov v odkryvoch: príklad z oblasti Piwniczna – Muszyna, Poľsko

Lubomír Štrba¹ a Daniela Mihal'ová

Identification and characterization of ancient turbidite system lobes: an example from area Piwniczna – Muszyna, Poland

The analysis of a deep-marine system relies heavily on the identification of the type and distribution of architectural elements (e.g. channels, lobes) within the system. Nowadays, lobes are intensively studied because of their hydrocarbon potential, therefore, the right and accurate identification of this element is necessary. The area between Piwniczna-Zdroj and Muszyna of the Western Outer Carpathians, Poland, gives a good example of a well-identified ancient lobe of turbidite system. Mainly massive sandstones were mapped during sedimentological research. All the features of the studied sediments from this area (e. g. compensation cycles, normal grading) highly indicate an environment of the turbidite lobe.

Keywords: massive sandstones, turbidites, lobe, Outer Western Carpathians

Úvod

V podmorských depozičných prostrediach predstavujú turbiditné laloky rozsiahle pieskovcové telesá, ktoré vznikli usadzovaním v relatívne neobmedzenom priestore podmorského sedimentačného bazéna. Geometria a architektúra lalokov sa môže odlišovať v rôznych smeroch, v závislosti od mnohých faktorov, medzi ktoré patria napr. typ turbiditného prúdu, ktorým bol materiál transportovaný na miesto depozície, typ zdrojovej oblasti sedimentov, či topografia morského dna. Z morfológického hľadiska predstavujú laloky telesá konvexného tvaru, s tendenciou usadzovať sa v prirodzenej depresii, tvorené tabulárnymi pieskovecami bez kanálov s hrúbkou 3 – 15 m (Mutti a Normark, 1987).

Štúdiom odkryvov je možné získať značné množstvo informácií o stavbe lalokov. Pre ich identifikáciu v teréne je však potrebné použiť viac kritérií, na základe ktorých je možné s určitou povedať, že sa jedná o lalok podmorského kužľa vytvorený turbiditným prúdom. Hlavnými znakmi, ktoré charakterizujú laloky na odkryvoch (v teréne) sú (Mutti a Normark, 1987, obr. 1):

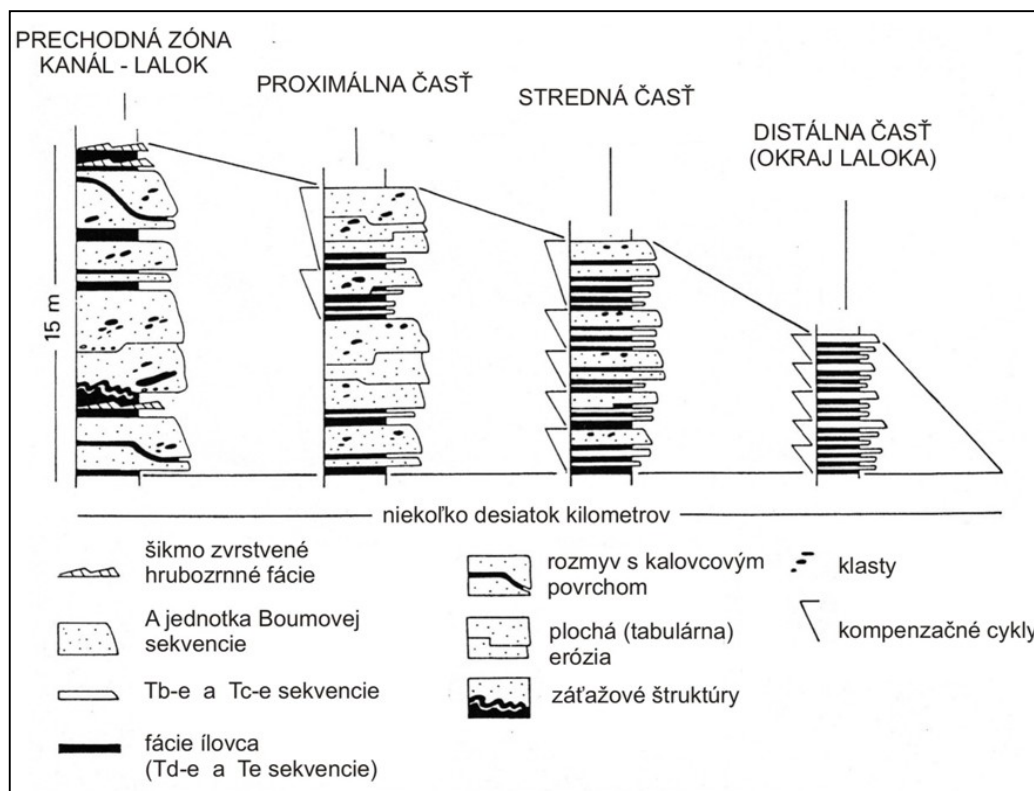
- súbor tvorený relatívne paralelnými vrstvami pieskovca hrúbky 3 – 15 m,
- izolované telesá medzi kalovcovými sekvenciami tiahnuce sa smerom do bazéna (niekoľko km až desiatky km),
- náhle onlapové zakončenie svahových fácií a formovanie telies konvexného tvaru smerom nahor, postupne sa stenčujúcich smerom k vonkajšiemu okraju laloka,
- výskyt gradácie (Boumova sekvencia) a vertikálneho vývoja štruktúr v rámci vrstvy,
- postupné narastanie hrúbky jednotlivých vrstiev pieskovcov (< 10) smerom nahor, tzv. *kompenzačné cykly*, ako výsledok prednostného ukladania sedimentu do prirodzenej depresie.

Výsledná veľkosť a geometria (tvar) sedimentov lalokov je funkciou veľkosti celého systému, v rámci ktorého sa laloky formujú, konfigurácie daného systému a objemu (množstva) jednotlivých turbiditných prúdov. Na základe toho môžu mať tieto sedimenty rôzne rozmery a tvary (Mutti and Normark, 1987, 1991; Normark et al., 1993; Reading a Richards, 1994).

Metodika práce

Počas výskumu boli použité metódy, ktorých výsledkom je celkový obraz o študovanej oblasti z hľadiska danej problematiky. Samotnému terénemu výskumu predchádzalo štúdium archívnych údajov a prác z oblasti. Detailné získavanie údajov v teréne je základným predpokladom sedimentologického výskumu. Na odkryvoch v oblasti medzi mestami Piwniczna a Muszyna boli na jednotlivých profiloch merané hrúbky jednotlivých vrstiev s popisom ich sedimentologických znakov a graficky zaznamenané do sedimentárnych profilov – logov. Pri každom opise sedimentu bola pozornosť sústredená na výskyt jednotlivých litofácií, ich prípadné opakovanie a typ hranice medzi nimi. Taktiež boli popisované textúry jednotlivých sedimentov a ich sedimentárne štruktúry.

¹ Ing. Lubomír Štrba, Daniela Mihal'ová, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geovied (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 14. 6. 2009)



Obr. 1. Faciálne zmeny v rámci lalokového komplexu (podľa Muttiho & Normarka, 1987).

Fig. 1. Facial changes in lobe complex (after Mutti & Normark, 1987).

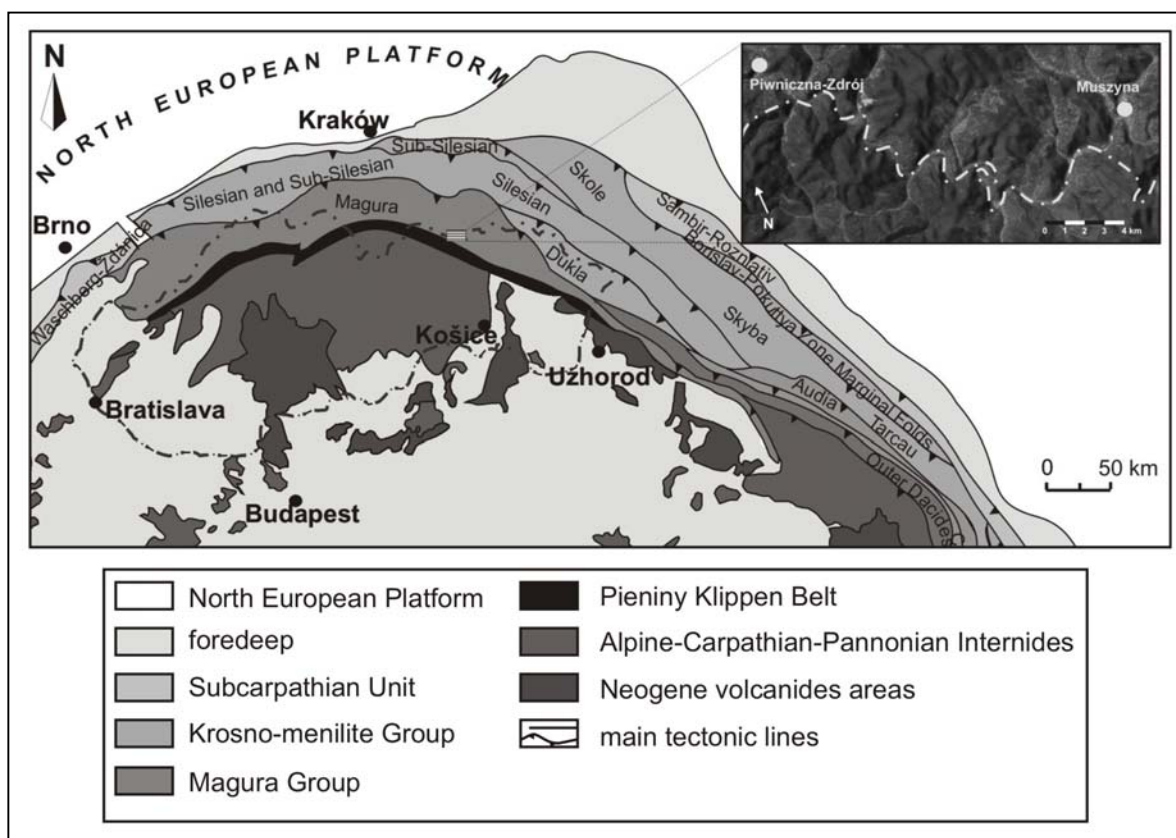
Lokalizácia a geologická charakteristka

Študované územie sa nachádza v pohraničnej oblasti medzi Slovenskou republikou a Poľskom, pozdĺž rieky Poprad, medzi mestami Piwniczna a Muszyna (obr. 2), kde samotná hranica je tvorená práve riekou Poprad. Z geologického hľadiska toto územie patrí magurskej jednotke vonkajšieho flyšového pásma (napr. Lexa et al., 2000; Oszcypko, 2006; obr. 2). Podľa Nemčoka et al. (1990) je územie súčasťou krynickej tektono-faciálnej jednotky. Pre túto jednotku je charakteristický hrubopieskovcový vývoj, ktorý predstavuje jeden z najviac hruboklastických vývojev celého magurského flyšu, indikujúci proximálnu pozíciu sedimentov vzhľadom k ich zdrojovej oblasti. Z toho dôvodu aj vyhranenosť litofácií v superpozíčnom slede nie je taká zreteľná ako v externejších čiastkových litofaciálnych jednotkách magurského flyšu.

Stratigraficko – litologická náplň krynickej jednotky je tvorená nasledujúcimi súvrstviami (Potfaj et al. in Biely et al., 1996):

- *belovežské súvrstvie*, tvorené najmä tenkorytmickým flyšom s polohami červených ílovcov,
- *čergovské súvrstvie*, ktoré je reprezentované polohami stredno- až hrubozrných pieskocov o hrúbke do 3,5 m, ktoré sa striedajú s vrstvami sivých ílovcov s hrúbkou do 30 cm,
- *pestré súvrstvie*, zastúpené predovšetkým červenými, sivými a zelenými ílovcami striedajúcimi sa s tenkými vrstvami jemnozrných pieskocov,
- *strihovské súvrstvie*, s prevahou pieskocov nad ílovcami, a rovnako s časťami polohami konglomerátov na báze vrstiev alebo v tvoriace samostatné vrstvy,
- *menilitové súvrstvie* s typickými rohovýchými vrstvami a tmavými kalovcami,
- *malcovské súvrstvie*, tvorené predovšetkým tenkorytmickým striedaním jemnozrných pieskocov a kalocov.

Tektonický vývoj oblasti je komplexný, komplikovaný proces tvorby akrečného klinu od eocénu, resp. paleocénu (napr. Oszcypko, 1999; Golonka et al., 2000; Janočko a Jacko, 1999).



Obr. 2. Geologická mapa severnej časti východoalpsko-karpatisko-panónskeho systému s lokalizáciou skúmaného územia (podľa Kováča et al., 1998).

Fig. 2. Geological map of northern part of the East Alpine-Carpathian-Pannonian basin system with localization of studied area (after Kováč et al., 1998).

Charakteristika a opis sedimentov

Sedimentárna stavba danej oblasti je tvorená prevažne vrstvami jemno- až strednozrných pieskovcov, ktorých hrúbka dosahuje v priemere 1,5 – 2 m. Pieskovce majú svetlohnedú, hnedosivú a miestami sivú farbu, sú prevažne masívne zvrstvené, miestami s výskytom gradačného zvrstvenia, paralelnej laminácie, čerín alebo šikmého výmoľového zvrstvenia. Výskyt týchto sedimentárnych štruktúr je vo veľkej miere viazaný na vrchné časti niektorých pieskovcových vrstiev, len vo veľmi zriedkavých prípadoch boli identifikované vrstvy, v ktorých bolo možné sledovať tieto štruktúry v celej hrúbke vrstvy. Niektoré pieskovcové vrstvy obsahujú polohy klastov (prevažne kremeňa) subangulárneho až suboválného tvaru s priemernou veľkosťou 3 – 4 mm, max. 1 cm (obr. 3). Ďalším znakom týchto pieskovcov je výskyt kalovcových klastov v rámci vrstvy, ako aj horizontálne či vertikálne bioturbácie (obr. 3). Laterálny priebeh jednotlivých pieskovcových vrstiev, pozorovaný vo vzdialenostiach od 5 do 20 m, je stály, bez zmeny ich hrúbky. Len zriedkavo boli identifikované také vrstvy, ktorých hrúbka laterálne narastala, resp. klesala, prípadne vrstva celkom vykľiňovala. Spomínané pieskovcové vrstvy sú oddelené tenkými polohami kalovcov a ojedinele prachovcov, s priemernou hrúbkou 10 až 15 cm (obr. 4). Kalovce majú sivú až tmavosivú farbu, sú ľahko rozpadavé najmä po plochách laminácie.

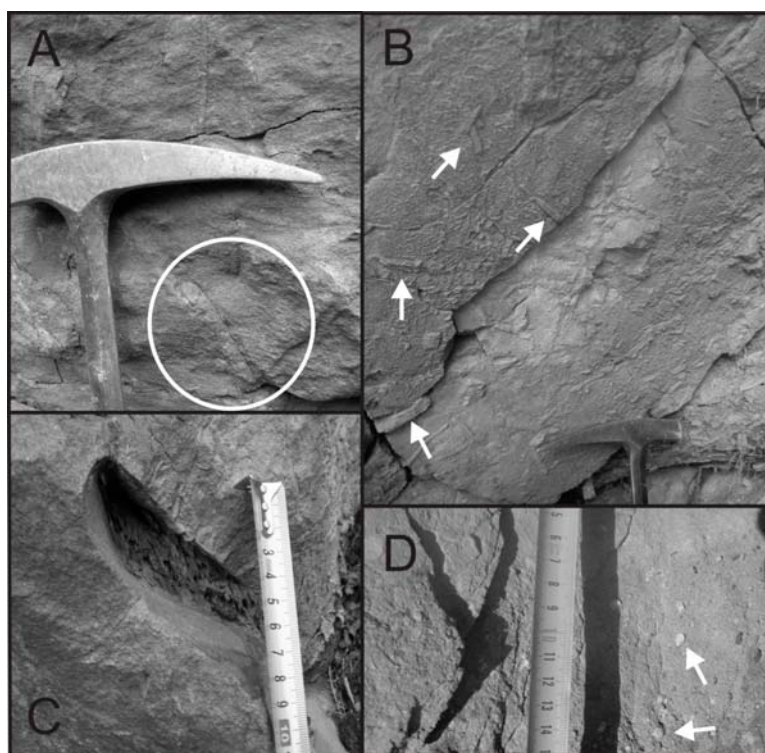
Počas prác v teréne bolo zo sedimentologického hľadiska odlišených a popísaných päť litofaciálnych typov sedimentov (tab. 1).

Interpretácia sedimentárnych štruktúr:

Litofaciálny vývoj študovaných sedimentov, typ ichnofácií nájdených v sedimentoch, ako aj geologická pozícia sedimentov naznačujú, že analyzované sedimenty vznikali v hlbokomorskom prostredí. Táto interpretácia je plne v zhode s názormi ďalších autorov pracujúcich v tejto oblasti (napr. Oszycko, 1999; Janočko a Jacko in Janočko et al. 2003, Janočko in Polák et al., 2007). Jednotlivé typy štruktúr interpretujeme nasledovne:

Masívne zvrstvenie: pieskovce s masívnym zvrstvením interpretujeme ako sedimenty hustých gravitačných prúdov (high-density turbidity flows, Mulder a Alexander, 2001) vznikajúce v oblasti

podmorského svahu a rozlievajúce sa do priľahlých širokomorských rovín, kde došlo k strate unášacej schopnosti prúdu a následnej náhlej sedimentácii. Napriek tomu, že vrstvy masívneho pieskovca majú predovšetkým ostrú bázu, občasná prítomnosť gravelitu alebo kalovcových klastov poukazuje na schopnosť erózie prúdov, zrejme v oblasti hydraulického skoku na hranici svahu a priľahlej podmorskej roviny.



Obr. 3. Príklady niektorých zistených znakov študovaných sedimentov. A – subvertikálna bioturbácia v pieskovci, B – bioturbácia báze pieskovcovej vrstvy, C – kalovcový klast vo vrstve masívneho pieskovca, D – obliaky (prevažne kremeňa) v rámci jednej pieskovcovej vrstvy.

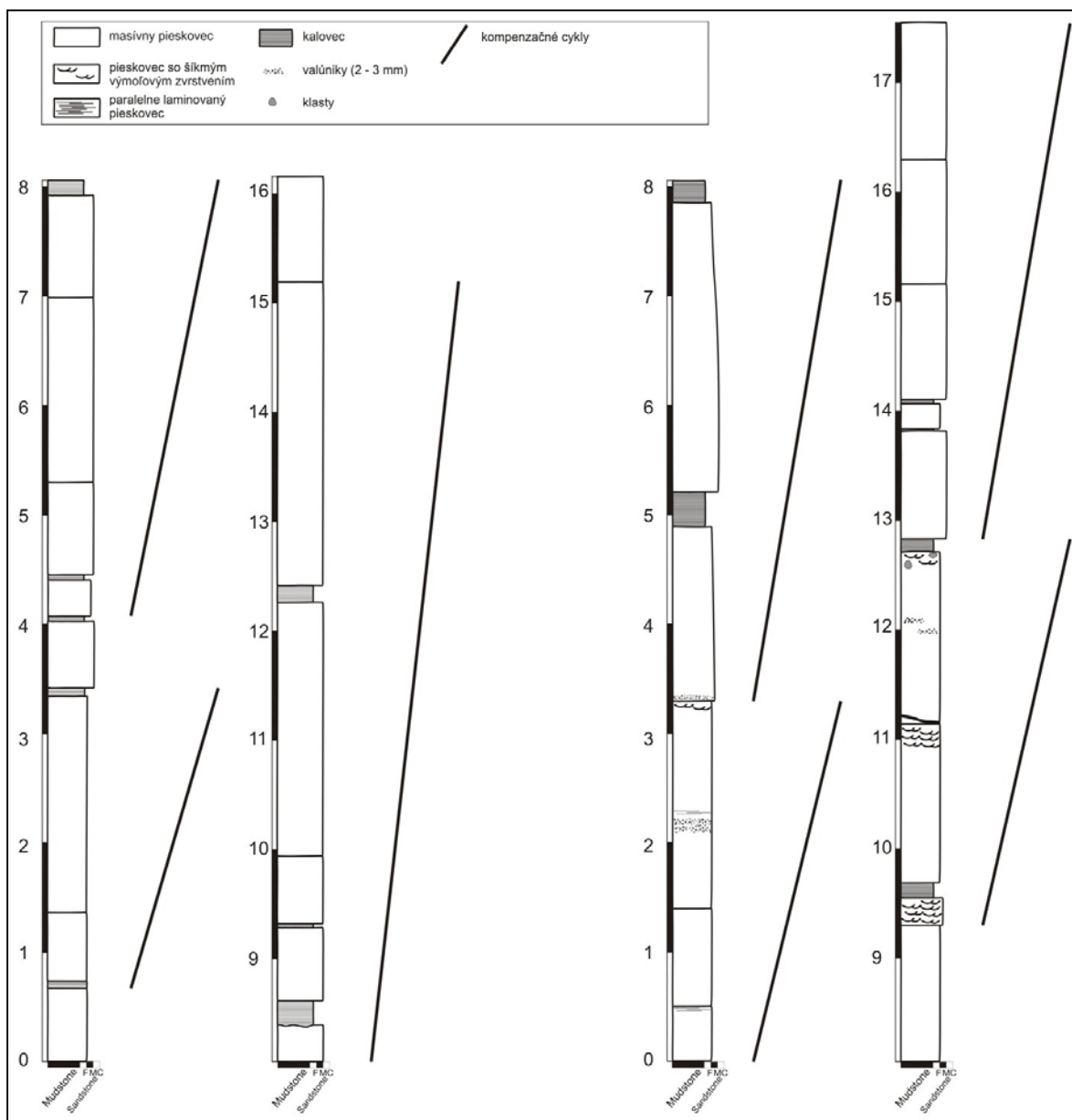
Fig. 3. Examples of studied sediment features. A – subvertical bioturbation, B – bioturbation on the base of the sandstone layer, C – mud clast within the massive sandstone, D – granule (mainly quartz) floating in sandstone layer.

Tab. 1. Litofaciálne typy sedimentov študovanej oblasti s ich základnou charakteristikou.
Tab. 1. Lithofacial types of sediments in studied area with basic characteristics.

litofaciálny typ	značka	popis
kalovec	Fhl	Litofácia sa vyskytuje len zriedkavo, hrúbka polohy tvorenej laminami kalovca dosahuje max. 25 cm
pieskovec masívne zvrstvený	Sm	dominujúci litofaciálny typ, tvorený prevažne jemno- až strednozrnným pieskovcom, niektoré vrstvy obsahujú polohy 2-3 mm veľkých klastov prevažne kremeňa, subangulárneho až suboválneho tvaru, bez viditeľných znakov gradácie
pieskovec paralelne laminovaný	Sp	paralelne laminované pieskovce tvoria stredne hrubé vrstvy (do 40 cm), prípadne sa tento typ zvrstvenia vyskytuje vo vrchnej časti masívnych pieskovcov
pieskovec čerinovo zvrstvený	Sr	veľmi zriedkavá sedimentárna štruktúra, ktorá sa vyskytuje len v tenkých vrstvách pieskovcov, náznaky tohto typu zvrstvenia boli pozorované tiež vo vrchnej časti (max. 15 cm) vrstiev jemnozrnných masívnych pieskovcov
pieskovec so šikmým výmoloňovým zvrstvením	St	Vyskytuje sa len zriedkavo, prevažne vo vrchnej časti vrstvy, len občasne tvorí celé vrstvy

Šikmé zvrstvenie: počas prác v teréne boli identifikované dva druhy šikmého zvrstvenia, a to šikmé čerinové zvrstvenie a výmoľové šikmé zvrstvenie. Šikmé čerinové zvrstvenie vzniká migráciou 2D čerín pri pohybe piesku po dne účinkom trakčného (unášajúceho) prúdu. Šikmé výmoľové zvrstvenie vzniká migráciou 3D dún trakčnými prúdmi (Janočko et al., 1999). Tieto zvrstvenia nie sú priamym indikátorom depozičného prostredia, pretože v mnohých prostrediach existujú podobné trakčné prúdy spôsobujúce migráciu čerín (Janočko et al., 1999). V spojitosti s hlbokomorským prostredím a ostatnými opisovanými fáciami však pravdepodobne vznikli v určitom štádiu transformácie hustých turbiditných prúdov vznikajúcich na podmorskom svahu, do pomalších zriedených prúdov formujúcich čeriny.

Paralelná laminácia: paralelná laminácia pieskovcov často vzniká v spodnom prúdovom režime translačným posunom pieskovcových zrn. Spodný prúdový režim pravdepodobne vznikal pri spomaľovaní a zriedovaní pôvodne hustého turbiditného prúdu. Túto interpretáciu podporuje aj superpozícia jednotlivých zvrstvení v rámci niektorých opisovaných vrstiev, kde sú masívne pieskovce, predstavujúce pôvodne husté turbiditné prúdy sú prevrstvené čerinovo zvrstvenými a nakoniec paralelne laminovanými pieskovecami. Táto sukcesia naznačuje na postupné zriedovanie gravitačných prúdov.



Obr. 4. Sedimentárne profily (logy) zo študovanej oblasti s naznačenými kompenzačnými cyklami.
Fig. 4. Sedimentary profiles (logs) of studied area with suggested compensation cycles.

Prevažne doskovitá geometria analyzovaných pieskovcových telies bez výrazného laterálneho stenčovania vrstiev a erózie, spoločne s výskytom sedimentárnych štruktúr, ichnofácií, ale aj nahor

hrubnicích sedimentárných cyklov naznačuje, že prevládajúcim depozičným prostredím bolo prostredie podmorských lalokov (lobes). Opakujúce sa nahor hrubnice cykly sedimentov možno interpretovať ako kompenzačné cykly lalokov, ktoré sú z podobných prostredí často opisované (napr. Nelson a Nilsen, 1997).

Záver

K jedným z prvotných krokov pri výskume a štúdiu hlbokomorských sedimentov v teréne patrí správna identifikácia študovaného stavebného prvku, predstavujúceho časť celého podmorského kužela. Základným krokom pre správnu identifikáciu lalokov je potrebné poznať ich charakteristické znaky, ktorými sú jednoznačne odlišiteľné od ostatných častí podmorského kužela. Aj napriek tomu, že je známe, že flyšové pásmo sa vyvíjalo v hlbokomorskom prostredí, poznanie jednotlivých architektonických prvkov a ich správny popis je základným krokom pre bližšie pochopenie procesov, ktoré sa podieľali na tvorbe a formovaní sedimentov v tejto oblasti. V lalokoch, podobne ako aj v kanáloch, sú v rámci turbiditných systémov splnené základné podmienky pre možné vytvorenie uhl'ovodíkových pascí (Galloway, 1998). Výskum týchto typov sedimentov preto považujem, či už z geologického alebo ekonomického hľadiska, za vysoko aktuálny.

Ako vidieť z priložených sedimentárných profilov (obr. 4), je možné v rámci niekoľkých sekvencií pozorovať postupný nárast hrúbky jednotlivých vrstiev pieskovecov. Tieto nahor hrubnice vrstvy je možné priradiť niekoľkým kompenzačným cyklom, ktoré spolu s ďalšími popísanými charakteristikami (napr. výskyt gradácie, monotónny priebeh vrstiev, bez zmeny ich hrúbky) patria k jedným z významných identifikačných znakov pri rozoznávaní lalokov turbiditných systémov v teréne.

Článok je príspevkom grantového projektu
VEGA č. 1/3061/06.

Literatúra - References

- Biely, A., Bezák, V., Elečko, M., Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Mello, J., Nemčok, J., Potfaj, M., Rakús, M., Vass, D., Vozár, J., Vozárová A.: Geologická mapa Slovenskej republiky. *Ed. by Geological Survey of Slovak Republic, 1996.*
- Galloway, W., E.: Siliciclastic Slope and Base-of-Slope Depositional Systems: Component Facies, Stratigraphic Architecture, and Classification, *AAPG Bulletin, V. 82, No. 4, p. 569 – 595, 1998.*
- Golonka, J., Oszczypko, N. and Slaczka, A.: Late Carboniferous - Neogene geodynamic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region and adjacent areas. *Ann. Soc. Geol. Pol., 70, 107-136, 2000.*
- Janočko, J., Jacko, S.: Marginal and deep sea deposits of Central Carpathian Paleogene Basin, Spišská Magura Region, Slovakia: Implication for basin history. *Slovak Geological Magazine. Slovak Geol. Mag. 4, 1999.*
- Janočko, J., Žec, B., Karoli, S., Baráth I.: Základy environmentálnej sedimentológie, *Vydavateľstvo Michala Vaška, Prešov 1999.*
- Janočko, J., Elečko, M., Karoli, S., Konečný, V., Kováč, M., Nagy, A., Vass, D., Jacko, S. Jr., Kaličiak, M.: Sedimentary evolution of Western Carpathian Tertiary basins., In: Janočko, J. and Elečko, M. (Eds.): Tectono-sedimentary Evolution of Western Carpathian Tertiary Basins. *Mineralia Slovaca, 3-4, 35, 2003.*
- Kováč, M., Nagymarosy, A., Oszczypko, N., Slaczka, A., Csontos, L., Marunteanu, M., Mateno, L. and Marton E.: Palinspastic reconstruction of the Carpathian-Pannonian region during the Miocene. In: Geodynamic Development of the Western Carpathians (ed. M. Rakuš): 189–217. *Slovak Geol. Surv., Bratislava 1998.*
- Lexa, J., Bezák, V., Elečko, M., Eliáš, M., Konečný, V., Less, Gy., Mandl, G.W., Mello, J., Pálenský, P., Pelikán, P., Polák, M., Radócz, Gy., Rylko, W., Schnabel, G.W., Straník, Z., Vass, D., Vozár, J. and Zelenka, T.: Geological map of Western Carpathians and adjacent areas. *Ministry of Env. of Slovak Rep. and Geological Survey of Slovak Rep 2000.*
- Mutti, E., Normark, W. R.: Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts, *Marine Clastic Sedimentology, pp 1-38, 1987.*
- Mutti, E., Normark, W. R.: An integrated approach to the study of turbidite systems, in P. Weimer and M. L. Link, eds., Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems: *Springer-Verlag, New York, p. 75-106, 1991.*

- Nelson, C. H., Nilsen, T. H.: Modern and ancient deep-sea fan sedimentation. Lecture Notes for SEPM Short Course No. 14. *SEPM, Tulsa, Oklahoma 1997*.
- Nemčok, J., Zakovič, M., Gašpariková V., Ďurkovič, T., Snopková P., Vranam, K., Hanzel V.: Vysvetlivky ku geologickej mape Pienín, Čergova, Ľubovnianskej a Ondavskej vrchoviny, *GÚDŠ, Bratislava 1990*.
- Normark, W. R., Moore, J. G., Torresan, M. E.: Giant volcano-related landslides and the development of the Hawaiian Islands. 1993, In W. C. Schwab, H. J. Lee, and D. C. Twichell, Submarine landslides: selected studies in the US Exclusive Zone, *US Geological Survey Bulletin 2002, pp. 184-196*.
- Oszczypko, N.: From remnant oceanic basin to collision - related foreland basin - a tentative history of the Outer Western Carpathians. *Geol. Carpathica, 50 special issue, 161 – 163, 1999*.
- Oszczypko, N.: Palaeotectonic evolution of the Outer Carpathian and Pieniny Klippen Belt basin. *Kraków: Inst. Nauk Geol. Uniw. Jagiellon., 2006. s. 9-18*.
- Polák, M. et al.: Vysvetlivky k mape 1 : 200 000, list Poprad, in Press 2007.
- Reading, H. G. a Richards, M.: Turbidite Systems in Deep-Water Basin Margins Classified by Grain Size and Feeder System. *AAPG Bulletin, V.78, No.5, 792-822, 1994*.