

Termální historie vrtu Slušovice-1

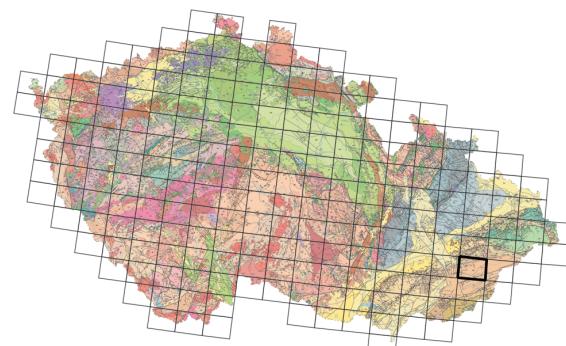
Thermal history of the Slušovice-1 borehole

PETR JIRMAN – MAREK GOLDBACH – EVA GERŠOVÁ

Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; p.jirman@seznam.cz

Key words: 1D model, Slušovice-1 borehole, thermal gradient, heat flow, Outer Western Carpathians, subsidence

Summary: The one dimensional model (1D) of thermal history and subsidence of the Slušovice-1 borehole was created in order to determine the thickness of missing units and determine temperature range reached during the Carpathian nappes thrusting. The reliability of the model was verified using vitrinite reflectance R_f [%] and the stabilized temperature T [°C] measured during pumping tests as calibration parameters. The comparison of modelled and measured data (Fig. 4) provided good fit. The final 1D model represents gradual thrusting of the Miocene infill allochthonous part of the Carpathian Foredeep, comprising the Soláň, Beloveža and Zlín Formation on the autochthonous basement (Fig. 1) from 16.5 to 12 Ma (Picha et al. 2006). The Slušovice-1 borehole has specific maturation trend with depth and each individual nappe has own geothermal gradient and has to be modelled independently (Hantschel – Kauerauf 2008; Gusterhuber et al. 2013). The resulting thickness of the missing parts for Zlín Formation is 3 200 m, for Beloveža Formation is 3 200 m, and



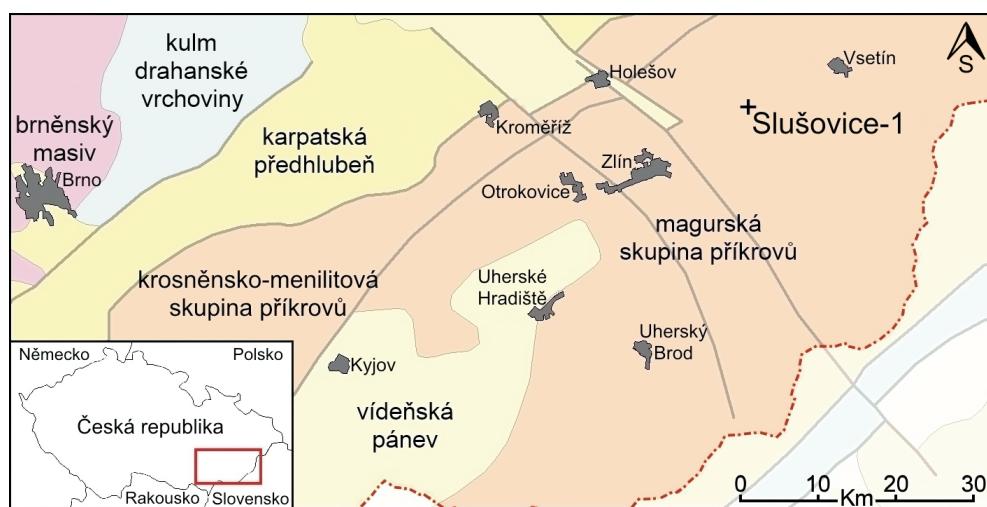
(25-32 Zlín)

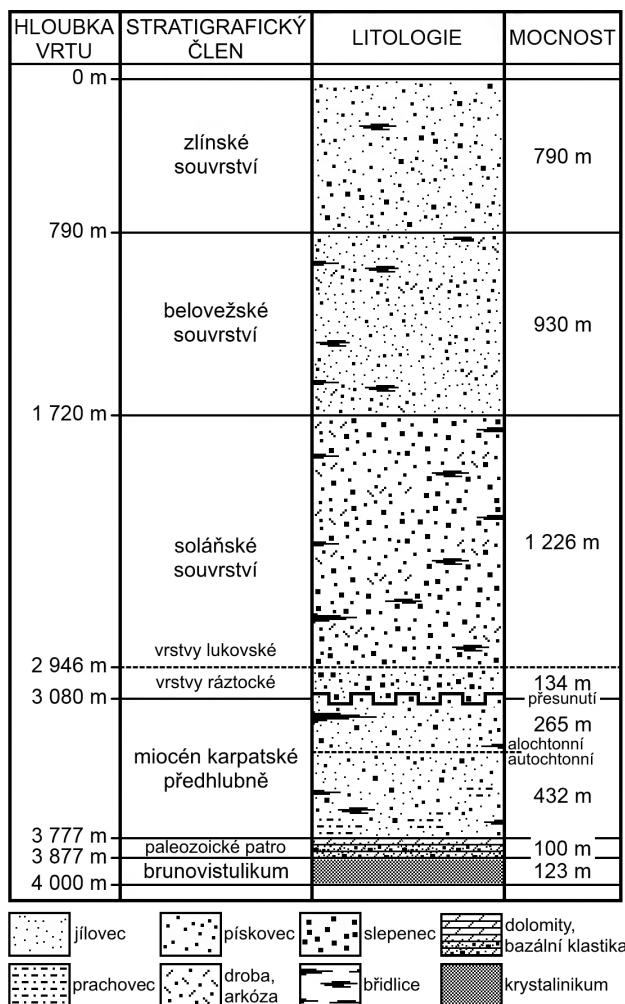
for Soláň Formation is 4 920 m. The basal heat flow (HF) scenario during strata sedimentation (Fig. 3) respect published geological concept presented in Picha et al. (2006). Maximum modelled HF 95 mW/m² was achieved during Paleozoic (Fig. 3). From that time the heat flow gradually decrease to 48 mW/m². Following thrusting of the Carpathians nappes decreased the HF values to 40 mW/m². The highest temperature ranging between 110 and 115 °C was achieved in bottom part of the Paleozoic floor at the depth of 4 600 m from 12 to 11 Ma (Fig. 5).

Vrt Slušovice-1 leží v prostoru račanské jednotky (obr. 1), která je součástí magurské skupiny příkrovů flyšového pásmá Vnějších Západních Karpat nasunutých od JV na paleozoické horniny a neogenní sedimenty karpatské předhlubně. Ve vrtu Slušovice-1 (obr. 2) byly zastiženy sedimentární horniny račanské jednotky, výplně karpatské předhlubně a paleozoika. Autochtonní podklad, označovaný Dudkem (1980) jako brunovistulikum, byl zachycen v hloubce 3 877 m (Krejčí et al. 1988). Stáří jednotlivých

stratigrafických členů bylo převzato z prací Dudka (1980) a Píchy et al. (2006). Litologická náplň jednotlivých stratigrafických členů vychází z vrtného profilu (Krejčí et al. 1988). Zlinské souvrství (střední až vyšší eocén) je složeno především z pískovců, slepenců a jílovů. Souvrství belověžské dominantně tvoří jílovce a tenké vrstvy pískovců včetně arkóz. Věk belověžského souvrství je datován na paleocén až střední eocén (Hanzlíková in Matějka – Roth 1956). Níže položené soláňské souvrství (svrchní křída –

Obr. 1. Mapa studované oblasti s lokalizací vrtu Slušovice-1 (vytvořeno podle Chába et al. 2007) / Fig. 1. Studied area map with Slušovice-1 borehole (modified after Cháb et al. 2007).





Obr. 2. Sedimentární profil vrtu Slušovice-1 (upraveno podle Krejčího et al. 1988) / Fig. 2. Sedimentary profile of Slušovice-1 bore-hole (modified after Krejčí et al. 1988).

maastricht až paleocén) se dělí na mladší vrstvy lukovské a starší vrstvy ráztocké. Lukovské vrstvy tvoří tenké položky pískovců, včetně arkóz a drob, až slepenců, ráztocké vrstvy především jílovce a pískovce. Soláňské souvrství je na jílových a pískových karpatské předhlubně (stáří karpat) uloženo diskordantně. Pod sedimenty karpatské předhlubně jsou uloženy paleozoické pískovce, prachovce, slepence a písčité dolomity, které přecházejí do dolomitů

kavernózních. Stáří brunovistulika se předpokládá 550–600 Ma (Dudek 1980).

Metodika

Jednorozměrný (1D) model subsidenční a termální historie vrtu Slušovice-1 byl vytvořen v programu PetroMod®. Vstupní databáze modelu vychází z vrtného profilu podle Krejčího et al. (1988). Pro kalibraci modelu bylo využito 26 hodnot odraznosti vitrinitu R_r [%] a 10 hodnot ustálené teploty (archiv MND, a.s.). Scénář vývoje bazálního tepelného toku (HF) v geologické minulosti (obr. 3A) byl pro období extenze vytvořen podle McKenzie (1978) a pro období kompresní tektoniky manuálně podle hodnot v párových podobného typu (Allen – Allen 2005, Gusterhuber et al. 2013). Změny hloubky moře a teploty na rozhraní sediment/voda v geologickém čase vycházejí z paleogeografických map a předpokládaných teplot v minulosti (Picha et al. 2006).

Výsledky a diskuse

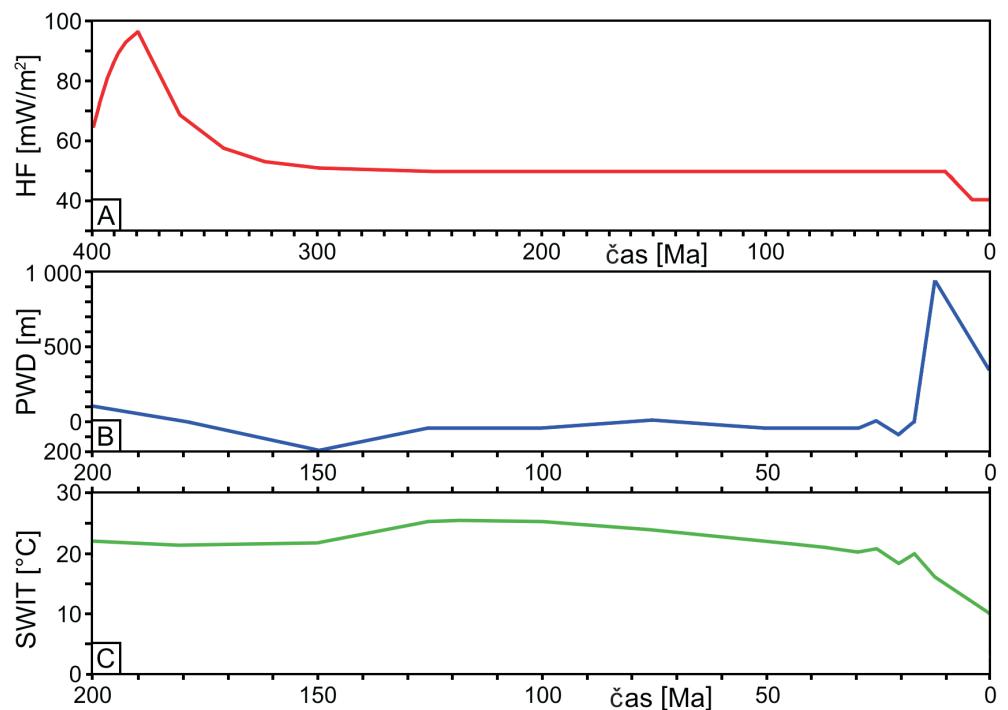
Průběh tepelné zralosti ve vrtu Slušovice-1 vyjádřený odrazností vitrinitu R_r odráží příkrovovou stavbu zastižených jednotek (obr. 4). Každá jednotlivá nasunutá šupina reprezentuje odlišný geotermální gradient. Odraznost vitrinitu sedimentů belovežského souvrství odpovídá hloubce poříbení 3 990 m. Podle obecně akceptovaného geologického scénáře (Hantschel – Kauerauf 2009, Picha et al. 2006, Krejčí et al. 1996) nelze předpokládat dosažení takových hloubek v dnešní pozici. Tepelná přeměna musela být získána v původním sedimentačním prostoru. 1D model vrtu Slušovice-1 (obr. 5) předpokládá postupné přesunutí části karpatské předhlubně a následné nasunutí soláňského, belovežského a zlinského souvrství na podložní sled neogenních a paleozoických sedimentů. Model byl kalibrovaný pro jednotlivé nasunující se stratigrafické členy nezávisle. Počátek nasouvání alochtonní části výplně karpatské předhlubně se klade do období od 16,5 Ma, kdy došlo k ukončení sedimentace v autochtonní části karpatské předhlubně (Picha et al. 2006). Počátek nasouvání nadložního soláňského souvrství se podle scénáře předpokládá na 16 Ma, belovežského souvrství na 14 Ma a zlinského souvrství na

Tabulka 1. Základní vstupní databáze modelu / Table 1. Main input database

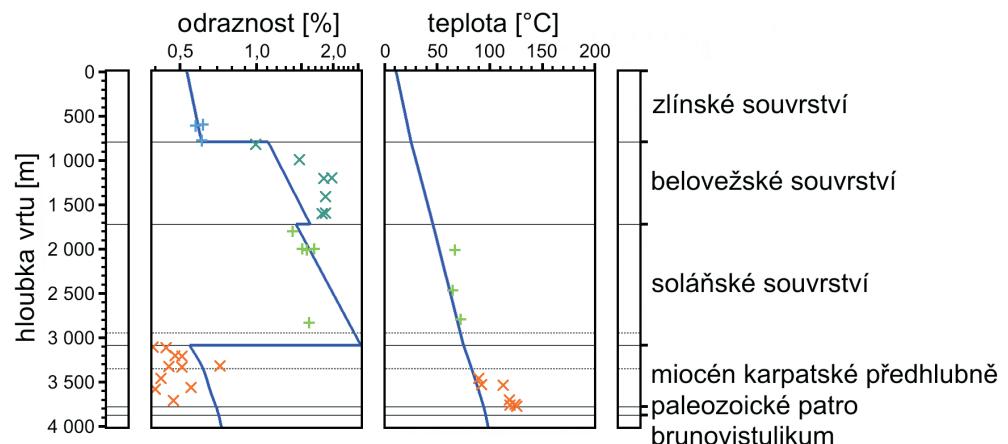
stratigrafický člen	strop	báze	mocnost	depozice	
				[m]	[m]
zlinské souvrství	-345*	445	790	42,0	25,0
belovežské souvrství	445	1 375	930	52,2	42,0
soláňské souvrství	1 375	2 735	1 360	62,0	52,2
karpatská předhlubně	2 735	3 432	697	17,5	16,5
paleozoické patro	3 432	3 532	100	416	299
brunovistulikum	3 532	3 655	123	600	550

* referenční výškou je mořská hladina

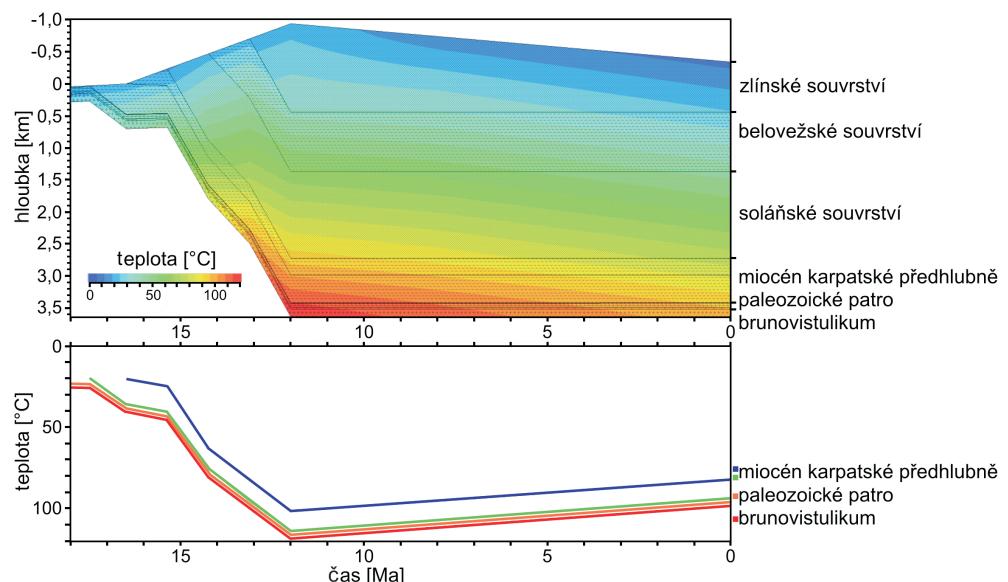
Obr. 3. Modelový průběh bažinného tepelného toku (HF), paleohloubky moře (PWD) a teploty na rozhraní sedimentu a vody (SWIT) v geologickém čase / Fig. 3. Basal heat flow scenario (HF), paleowater depth scenario (PWD) and sediment water interface temperature scenario (SWIT).



Obr. 4. Shoda měřených parametrů a modelové křivky pro odraznost vitrinitu podle EASY%Ro (vlevo) a ustálené teploty (vpravo) / Fig. 4. Calibration of modeled vitrinite reflectance EASY%Ro (left) and bottom hole temperature (right).



Obr. 5. Výsledný 1D model termální a subsidenční historie vrtu Slušovice-1 / Fig. 5. Borehole Slušovice 1 burial and thermal model.



13 Ma. Scénář předpokládá ukončení nasouvání příkrovů ve 12 Ma. Výsledná simulace odhaduje původní mocnost zlínského souvrství v magurské pánvi na 3 990 m, z čehož bylo 2 600 m erodováno do ukončení nasunutí a dalších 600 m po dosunutí příkrovů. U belovežského souvrství se předpokládá výsledná mocnost erodovaného nadloží 3 990 m. Strmý nárůst odraznosti vitrinitu v rámci soláňského souvrství prokazuje přítomnost řady tektonických šupin. V uvedeném intervalu nebyl dostatek vrtných jader vhodných pro detailní kalibraci modelu, proto byla kalibrace provedena na horní interval, který reprezentuje opakující se sled v rámci celého soláňského souvrství. Výsledná modelová mocnost nadloží soláňského souvrství je 4 920 m. Odraznost vitrinitu sedimentů karpatské předhlubně je nižší než nadložních příkrovových jednotek (obr. 4) a vykazuje reverzní trend, který potvrzuje předpokládanou paraautochtonní pozici svrchní části sedimentárního sledu.

Závěr

Termální historie modelu je stabilní s vyrovnanou tendencí růstu teploty v závislosti na hloubce. Nejvyšších teplot, které dosahují hodnot v rozmezí 110–115 °C, bylo dosaženo na bázi sedimentárního pokryvu v hloubce 4 600 m mezi 12–11 Ma, tedy v rozmezí 1 Ma po ukončení nasouvání. Toto časové zařazení souvisí s maximální hloubkou pohřbení (obr. 5). Model respektuje izostatické kompenzace – scénář předpokládá nasunutí příkrovů o celkové mocnosti téměř 4 000 m, přičemž relativní výška studované oblasti vzrostla pouze o 900 m. Před nasouváním byla nadmořská výška studované oblasti rovna mořské hladině a nebyla tudíž zatížena sloupcem vody, který by kompenzaci ovlivnil.

Poděkování. Vznik tohoto článku byl umožněn díky grantu MUNI/M/0081/2013 Energetická infrastruktura a její vliv na

energetickou bezpečnost. Autoři děkují za připomínky editorovi M. Rackovi a recenzentům.

Literatura

- ALLEN, P. A. – ALLEN, J. R. (2005): Basin Analysis. – 549 str. Blackwell Publ. sec. ed.
- DUDEK, A. (1980): The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Bruno-Vistulicum. – Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd 90, 8, 1–85.
- GUSTERHUBER, J. – HINSCH, J. – LINZER, H-G. – SACHSENHOFER, R. F. (2013): Hydrocarbon generation and migration from sub-thrust source rocks to foreland reservoirs: The Austrian Molasse basin. – Austrian J. Earth Sci. 106/2, 115–136.
- HANTSCHL, T. – KAUERAUF, A. (2009): Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. – Springer, 131–148. Berlin.
- HANZLÍKOVÁ, E. (1956): In: MATĚJKA, A. – ROTH, Z.: Geologie magurského flyše v severním povodí Váhu mezi Bytčou a Trenčínem. S mikrobiotrafickou statí Evy Hanzlíkové. – Rozpr. Ústř. geol. 22, 322.
- CHÁB, J. – STRÁNÍK, Z. – ELIÁŠ, M. (2007): Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. – Čes. geol. služba. Praha.
- KREJČÍ, J. – BRYCHTOVÁ, J. – ČERVENKA, J. – DVORÁKOVÁ, V. – HLADIL, J. – HOLZKNECHT, M. – JANDOVÁ, B. – KALVODA, J. – KOTÁSEK, V. – KUDĚLÁSKOVÁ, J. – MOTKOVÁ, V. – MÜLLER, P. – PLIČKA, M. – POLESNÁK, P. – RÁČEK, F. – ŠELLE, M. – TŮMA, P. – VÍCHOVÁ, E. – ZÁDRAPA, M. (1988): Závěrečná zpráva o vrtu vyhledávacího průzkumu Slušovice-1. – MS Morav. naft. doly, a.s., 1–52. Hodonín.
- KREJČÍ, O. – FRANCÚ, J. – POELCHAU, H. – MÜLLER, P. – STRÁNÍK, Z. (1996): Tectonic evolution and oil and gas generation at the border of the North European Platform with the West Carpathians (Czech Republic). In: WESSEL, G. – LIEBL, W. (1996): Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe. – AEGE Spec. Publ. 5, 177–186.
- MCKENZIE, D. (1978): Some remarks on the development of sedimentary basins. – Earth Planet. Sci. Lett. 40, 25–32.
- PICHA, F. – STRÁNÍK, Z. – KREJČÍ, O. (2006): Geology and Hydrocarbon Resources of the Outer Western Carpathians and Their Foreland, Czech Republic. In: GOLONKA, J. – PICHA, F., ed.: The Carpathians and Their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources – AAPG Memoir 84. – Amer. Assoc. Petrol. Geologists 49–175.