Středočeská pánev jako potenciální úložiště oxidu uhličitého

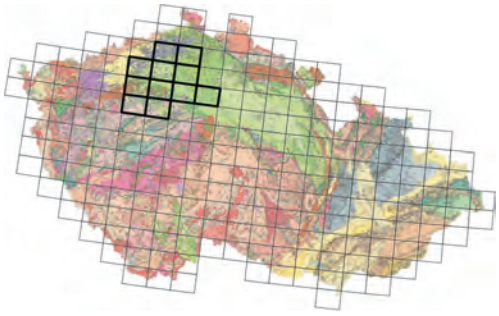
Central Bohemian Basin as a potential carbon dioxide storage site

Vít Hladík [1] – Dimitrios Hatzignatiou [2] – Fridtjof Riis [2] – Roman Berenblyum [2] – Eva Geršlová [1] – Juraj Franců [1] – Richard Lojka [3] – Vladimír Kolejka [1] – Milan Geršl [1]

[1] Česká geologická služba, pobočka Brno, Leitnerova 22, 658 69 Brno
[2] International Research Institute of Stavanger, Prof. Olav Hanssensvei 15, 4021 Stavanger
[3] Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha

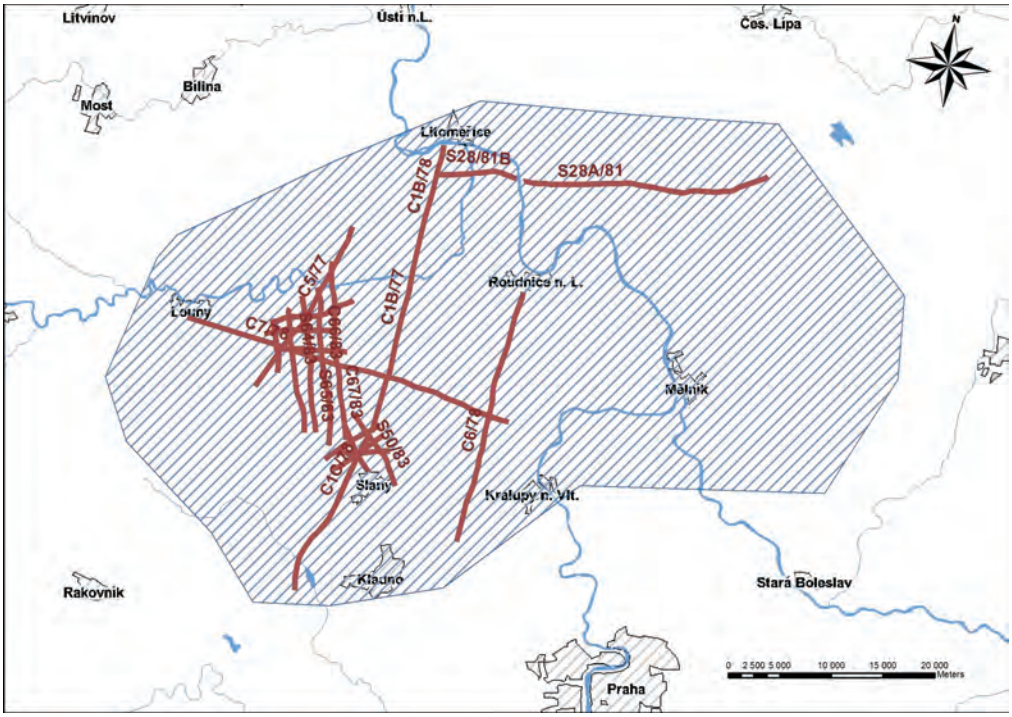
Key words: *Central Bohemian Basin, carbon dioxide geological storage, deep saline aquifers, reservoir modeling, injection simulation*

Abstract: The Central Bohemian Basin was evaluated as a potential carbon dioxide storage site. Based on available archive and newly acquired data, a 3D reservoir model of the basin was constructed, and a simulation of CO_2 injection was performed using a selected part of the model. The results show the structure being at the edge of suitability for CO_2 storage, especially due to relatively low rock permeability. Further research will be needed to make a well-based final decision upon this topic.



(02-12 Louny, 02-34 Bílina, 02-41 Ústí nad Labem, 02-42 Česká Lípa, 02-43 Litoměřice, 02-44 Štětí, 12-14 Rakovník, 12-21 Kralupy nad Vltavou, 12-22 Mělník, 12-23 Kladno, 13-11 Benátky nad Jizerou)

Geologické ukládání oxidu uhličitého je finálním článkem technologického procesu CCS (carbon dioxide capture and storage, zachytávání a ukládání CO_2) – metody, která je v poslední době obecně uznávána jako jedna z klíčových technologií vedoucích ke snížení emisí skleníkových plynů a tím ke zmírnění změny klimatu. Cílem tohoto procesu je bezpečně a trvale uložit oxid uhličitý zachycený na velkých stacionárních zdrojích emisí – tepelných elektrárnách, ocelárnách, rafineriích apod. – a zamezit tak jednou provždy jeho uvolnění do atmosféry. Jako vhodná úložiště připadají



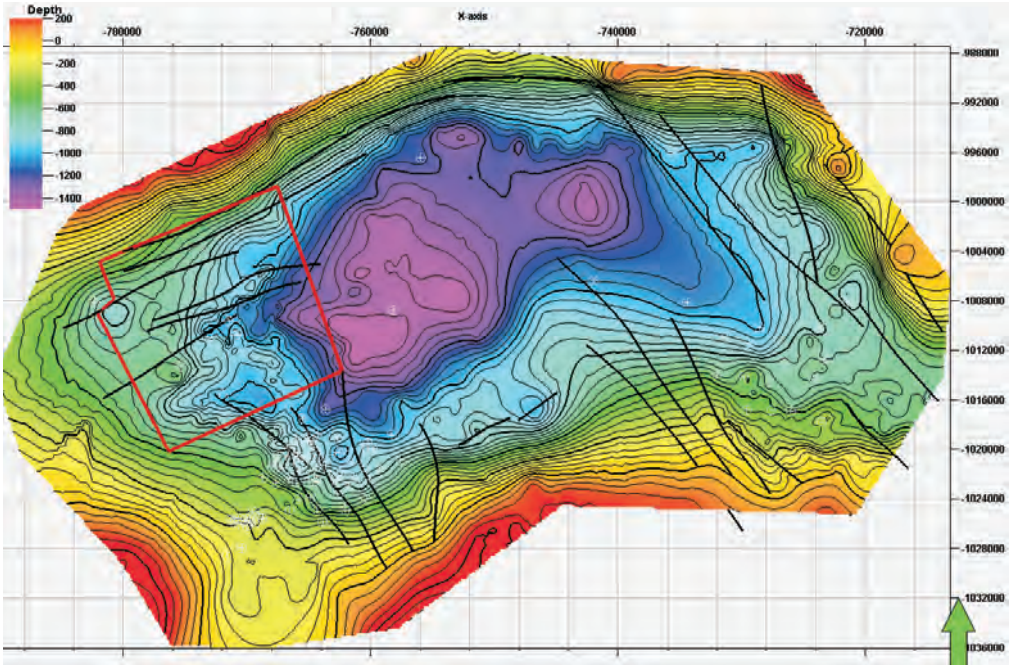
Obr. 1. Mapa zkoumané oblasti s vyznačením území zahrnutého do trojrozměrného geologického modelu (modrá šrafa) a seizmických profilů použitých pro modelování (hnědé linie).

Obr. 2. Průzkumný vrt Cvr-1; situace vrtu je patrná z mapky vpravo nahoře (červený křížek).

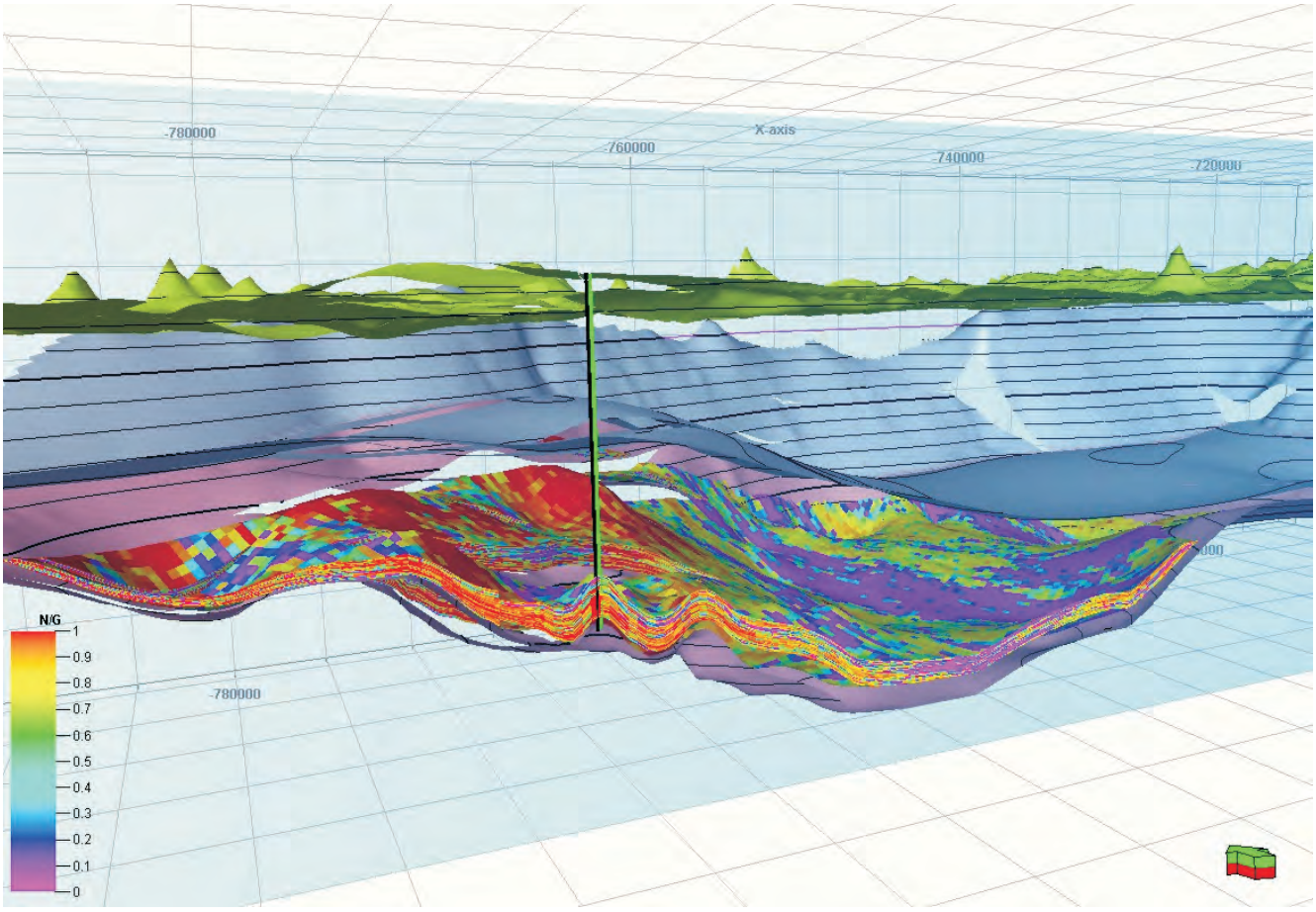
Obr. 3. Měření permeability hornin v laboratořích IRISu ve Stavangeru.

v úvahu zejména hluboké slané akvifery a vytěžená ložiska ropy a zemního plynu v hloubkách přes 800 m pod povrchem, kde se CO_2 dostává do superkritického stavu, vyznačujícího se vysokou hustotou a nízkou viskozitou.

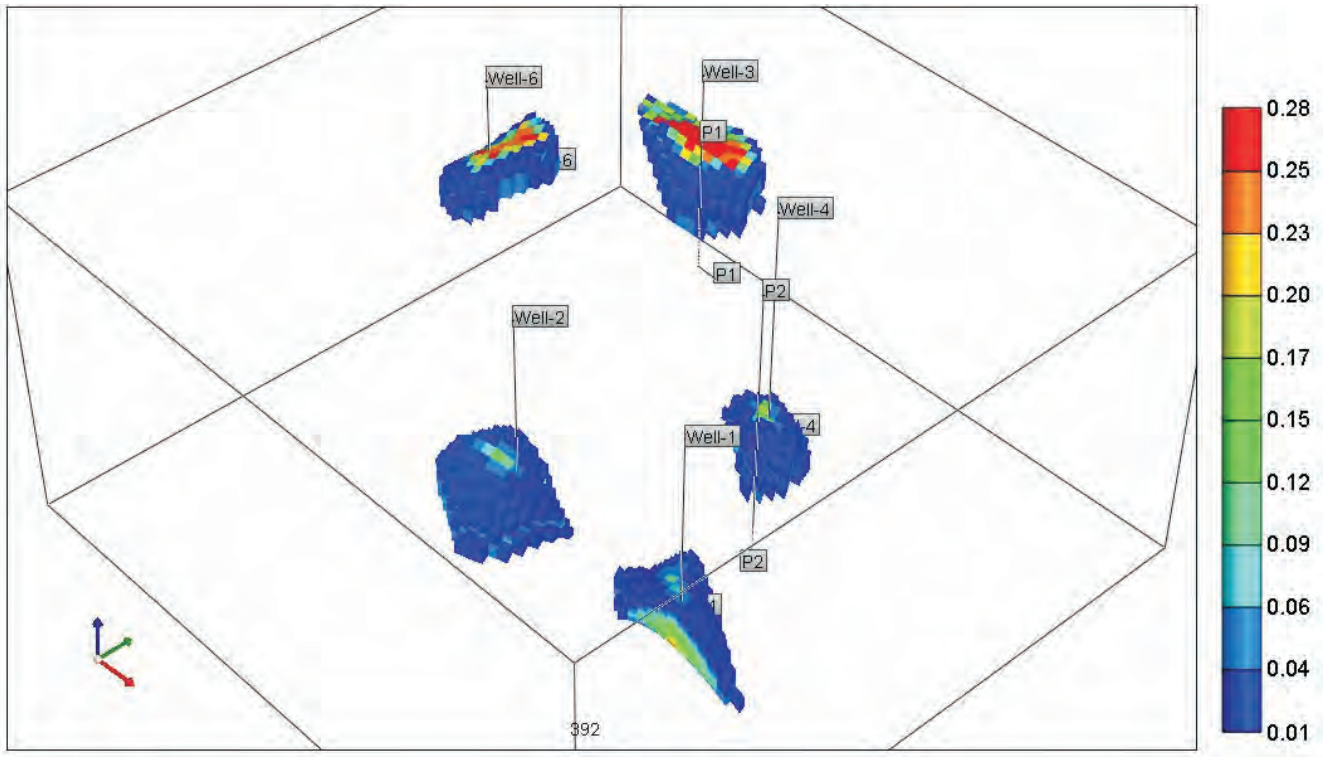
V České republice byly v rámci dřívějších studií a výzkumů (např. Hladík et al. 2009) zmapovány potenciálně vhodné úložné struktury pro CO_2. Z hlediska jejich rozmístění a vzdálenosti od současných i případných budoucích zdrojů



Obr. 4. Mapa izobat (m) krystalického podloží středočeské pánve v oblasti geologického modelu (Mlčoch – Konopásek 2010, upraveno) s hlavními zlomy (černě) a vyznačenou hranicí segmentu modelu použitého při simulaci injektáže CO_2 (červený polygon).



Obr. 5. Západo-východní řez 3D geologickým modelem středočeské pánve; mirošovský rezervoár je barevně rozčleněn podle poměru net/gross (viz barevná škála v levém dolním rohu). Zeleně je znázorněn povrch terénu, modrošedě spodní hranice mšeckých vrstev (celopánevní těsnicí vrstva) a nafialovělými odstíny povrch krystalického podloží. Svislá černo-zelená linie vyznačuje polohu vrtu Pu-4.



Obr. 6. Příklad výsledků simulace injektáže CO_2 do mirošovského akviferu – celková molární frakce CO_2 po třiceti letech injektáže (simulace pro pět injektážních vrtů).

emisí se jako nejzajímavější ukázaly hluboké pískovcové akvifery středočeského permokarbonu. Nové výzkumné aktivity se proto soustředily právě do této oblasti.

V první fázi výzkumu byla provedena multikriteriální analýza tří nejnadějnějších struktur – žatecké, středočeské a mnichovohradišťské dílčí pánve. Byla použita standardní kritéria pro posuzování úložišť CO_2 (Chadwick et al. 2008). Výsledky analýzy (tab. 1) ukázaly jako nejvhodnější strukturu pro další výzkum středočeskou pánev, která zahrnuje mšenskou, roudnickou, kladenskou a rakovnickou pánev ve smyslu klasického členění podle Mísaře et. al. (1983).

Obdobná analýza byla posléze použita pro porovnání jednotlivých dílčích akviferů ve středočeské pánvi, z nichž se jako nejpříhodnější ukázal akvifer mirošovského obzoru, ležící v nadloží radnických vrstev kladenského souvrství. Nadějné parametry vykázal rovněž nadložní akvifer nýřanských vrstev. Jako regionální těsnicí vrstvu lze naopak označit jílovce a prachovce malesických vrstev slánského souvrství, které tvoří nepropustnou bariéru zamezující migraci uloženého CO_2 směrem do nadloží.

Příprava dat

Středočeská pánev byla v minulosti, zejména v 60.–80. letech, předmětem geologického průzkumu zaměřeného na ložiska uhlí (Holub et al. 1966, 1996 aj.). Výsledky těchto průzkumů jsou cenným zdrojem dat využitelných pro další práce. Jde zejména o stratigrafii, litologii a fyzikální vlastnosti hornin z vrtného průzkumu a následných laboratorních testů. K dispozici jsou i karotážní křivky, reflexní seizmické řezy (obr. 1) a data z hydrogeologických testů. Všechny tyto údaje byly v rámci současného výzkumu znovu prověřeny, posouzeny a částečně přehodnoceny.

Další data byla získána laboratorními analýzami a testy vzorků odebraných z archivních vrtných jader a také z nového mělkého vrtu Cvr-1 (obr. 2), který zastihl nádržní horniny v mělčí poloze při okraji pánve. Nové výzkumy zahrnovaly mj. mineralogické a petrografické analýzy, měření pórozity a permeability (obr. 3), odraznost vitrinitu a pyrolýzu Rock-Eval.

Rezervoárový model

Na základě uvedených dat byl v programovém prostředí Petrel sestaven trojrozměrný statický model pánve o rozměru ca 78 × 38 km, integrující hlavní geologická rozhraní včetně krystalického podloží (obr. 4), nejdůležitější zlomy a údaje ze starších vrtů a seizmických řezů. Model byl rozdělen do buněk o hraně 250 m; každé buňce byly přiřazeny litologické a petrofyzikální parametry – pórozita, permeabilita a tzv. poměr net/gross, vypovídající o poměrném podílu písku v buňkách dané polohy. Mirošovský horizont byl modelován s vyšším rozlišením; byl rozdělen do čtyřiceti dílčích vrstev se stejnou mocností, ale s proměnlivou litologií a petrofyzikálními parametry (obr. 5). Diageneze vyvolaná překrytím mladšími vrstvami jak paleozoického, tak mezozoického

Tabulka 1. Kritéria pro analýzu vhodnosti dílčích pánví pro geologické ukládání CO_2

dílčí pánev / kritérium	žatecká	středočeská	mnichovo-hradišťská
rezervoár			
odhadovaná kapacita (Mt CO_2)	94	233	109
maximální hloubka od povrchu (m)	1400	1100	1850
pórozita (%)	15	15	15
permeabilita (mD)	80	30	až 70
propojení dílčích částí	dobré	dobré	problematické
heterogenita	nízká	nízká	vysoká
bariéry pro tok fluid	pravděpodobně žádné	časté (zlomy)	?
maximální tlak (MPa)	14,0?	15,5?	18,5?
teplota (°C)	34–44	44–54	?
těsnicí hornina			
mocnost (m)	200–300	20–30	10–20
permeabilita	nízká	velmi nízká	~3 mD
homogenita	dobrá	dobrá	dobrá
zlomy	pravděpodobně otevřené u okrajů	většinou utěsněné	otevřené
poloha			
vzdálenost od velkých zdrojů emisí	do 40 km	do 70 km	více než 70 km
dostupnost dat			
počet vrtů	6	105	26
karotážní data	gama, odporová	gama, odporová	gama, odporová
petrofyzikální data	řídká	řídká	řídká
dostupná archivní jádra	ano	ano	ano
geofyzikální data	VES	seizmika, VES, odporové metody	seizmika, VES
výchozy těsnicích vrstev	ne	ano	ne
dostupnost vrstev pro mělké vrtání	ne	ano	ne
3D model krystalického podloží	ano	ano	ne

a terciérního stáří byla modelována v prostředí programu PetroMod. Výsledkem je model rozložení pórozity a permeability s hloubkou v různých částech pánve.

Simulace injektáže CO_2

Závěrečnou fází výzkumných prací byla numerická simulace injektáže oxidu uhličitého do mirošovského akviferu ve vybraném území rezervoárového modelu. Byl použit simulační software CMG STARS, verze 2009.13. Na základě analýzy vlastností rezervoáru byl pro simulaci vybrán v západní části pánve segment o velikosti ca 17 × 17 km (obr. 4), který se z hlediska potenciálního ukládání CO_2 jevil jako nejvhodnější.

V prvním kroku byla testována citlivost výsledků simulace na jednotlivé parametry modelování; ve druhém kroku byla pak provedena simulace injektáže s reálnými parametry, a to v několika různých variantách. Výsledky (obr. 6) ukazují, že klíčovým parametrem ovlivňujícím množství uložitelného oxidu uhličitého je absolutní permeabilita rezervoáru, která má zásadní vliv na injektivitu a s ní souvisící nárůst tlaku v okolí injektážních vrtů. Velký význam má rovněž počet, rozmístění a technologie injektážních vrtů; v daných podmínkách se jako nezbytné ukazuje použití zakřivených vrtů s relativně dlouhými horizontálními částmi umožňujícími injektáž do většího objemu rezervoáru.

Závěr

Provedený výzkum ukázal, že středočeská pánev zůstává potenciálním kandidátem na úložiště CO_2. Má poměrně velkou úložnou kapacitu vyplývající z relativně velkého objemu pórového prostoru a pravděpodobně i vhodnou geologickou stavbu. Kritickým faktorem je nízká injektivita rezervoárových hornin souvisící s relativně nízkou permeabilitou. Vzhledem k nedostatku kvalitních měření propustnosti nelze na základě provedených prací jednoznačně hodnotit zkoumanou strukturu jako vhodnou či nevhodnou pro úložiště oxidu uhličitého. Takové posouzení si vyžádá další výzkumné a průzkumné práce s využitím metod používaných při průzkumu ložisek uhlovodíků zahrnujících reflexní seizmiku,

hluboké vrty včetně karotáže, odběr a analýzy vrtných jader, čerpací zkoušky a analýzy vrstevních vod. Za současného stavu poznání lze konstatovat, že struktura se nachází zhruba na hranici vhodnosti pro takovýto způsob využití.

Poděkování. Výzkum byl podpořen grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska prostřednictvím Finančního mechanismu EHP a Finančního mechanismu Norska a rovněž v rámci institucionální podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

Literatura

HLADÍK, V. – KOLEJKA, V. – LOJKA, R. – FOTT, P. – VÁCHA, D. (2009): CO_2 emissions and geological storage possibilities in the Czech Republic. – Slovak geol. Mag. 2008, 29–41.

HOLUB, V. – ELIÁŠ, M. – HRAZDÍRA, P. – FRANCŮ, J. (1997): Geological research of gas sorbed in coal seams of the Carboniferous in the Mseno-Roudnice Basin, Czech Republic. In: GAYER, R. – PEŠEK, J., ed.: European Coal Geology and Technology. – Geol. Soc. Spec. Publ. 125, 409–423.

HOLUB, V. – JETEL, J. – MACHÁČEK, V. – FRANKE, M. – ŠEBOR, G. – HOŠEK, V. – VEJLUPEK, M. (1966): Závěrečná zpráva vyhledávacího geologického výzkumu na černé uhlí v oblasti Mělník – Benátky nad Jizerou. – MS Čes. geol. služba – Geofond.

CHADWICK, A. – ARTS, R. – BERNSTONE, C. – MAY, F. – THIBEAU, S. – ZWEIGEL, P. (2008): Best practice for the storage of CO_2 in saline aquifers. Observations and guidelines from the SACS and CO2STORE projects. – British Geol. Survey, Keyworth, Nottingham.

MÍSAŘ, Z. – DUDEK, A. – HAVLENA, V. – WEISS, J. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív. – St. pedag. nakl., Praha.

MLČOCH, B. – KONOPÁSEK, J. (2010): Pre-Late Carboniferous geology along the contact of the Saxothuringian and Teplá-Barrandian zones in the area covered by younger sediments and volcanics (western Bohemian Massif, Czech Republic). – J. Geosci. 55/2, 81–94.