

Oponentský posudek k diplomové magisterské práci Bc. Martina Alexy

STUDIUM DIENDORF-BOSKOVICKÉ STRUKTURY POMOCÍ GEOFYZIKÁLNÍCH METOD

Vypracoval: RNDr. Oldřich Levý, INSET s.r.o.

Cílem této práce bylo srovnat možnosti použití seismických a geoelektrických metod na konkrétním geologickém problému a uvést doporučení pro jejich aplikace v dalších etapách průzkumu. Práce je zaměřena především na ověření použitelnosti reflexní seismiky pro mělký průzkum. Úkolem bylo zjištění předpokládaného průběhu tektonických linií a mocnost a charakter sedimentární výplně, které jsou důležité pro výpočet seismického ohrožení dle aktuálních standardů v souvislosti se snahou o prodloužení licence a zároveň rozšíření jaderné elektrárny Dukovany. Při vytipování lokalit byla snaha zastihnout okraj geologické struktury Diendorf-Boskovické brázdy nebo příčných zlomových struktur protínajících toto těleso v okolí obcí Hostěradice a Lesonice jižně od Moravského Krumlova. Geofyzikální měření pro účely strukturně geologického mapování bylo provedeno pomocí multielektrodové odporové metody (odporové tomografie ERT), mělké refrakční seismiky a mělké reflexní seismiky.

Celá práce je téměř rovnocenně rozdělena na část teoreticko-metodickou a průzkumnou. Práce v rozsahu 35 stran a 23 grafických příloh je členěna do 9 kapitol.

Poznámka: Možná by bylo vhodné toto rozdělení zvýraznit i v osnově – obsahu. Geologická charakteristika lokality je uvedena v kapitole 2. Na ní navazující kapitoly geofyzikálního průzkumu jsou uvedeny od kapitoly 5. Vložené metodické kapitoly v rozsahu 15 stran porušují kontinuitu textu průzkumné části.

V **Úvodu** práce jsou vymezeny cíle této DP, která je v jedné části metodická, ve druhé zaměřená na konkrétní řešení strukturně geologické problematiky. Obě části se v celé práci prolínají.

Úkolem práce je srovnat možnosti použití seismických a geoelektrických metod a uvést doporučení pro jejich aplikace v dalších etapách průzkumu. Hlavní důraz v práci je kladen na ověření použitelnosti reflexní seismiky pro mělký průzkum, kterým je v této práci interval hloubek 0 – 300 m. Dalším cílem práce je dodat podklady pro seismický model a výpočet seismického ohrožení dané oblasti. V úvodu je nastíněná strukturně geologická problematika předpokládaného průběhu tektonických linií a mocnost a charakter sedimentární výplně.

Pro průzkum byly zvoleny metody geoelektrického a seismického povrchového průzkumu, které jsou obsahem teoreticko-metodické i průzkumné části. Nejedná se o plně komplexní geofyzikální průzkum. Průzkumné práce jsou soustředěny do okolí obcí Hostěradice a Lesonice - bylo by vhodné uvést i známější blízké sídlo – jižně od Moravského Krumlova a s odkazem na přílohu zprávy č. 1.

Závěrečné odstavce úvodu se zabývají problematikou reflexní seismiky. Tyto by patřily spíše do kapitoly 4.1, neboť naznačují určité problémy spojené s použitím této metody, což není v úvodu zprávy úplně vhodné.

2. Geologická charakteristika území

Rešerše geologických poměrů je provedena přehledně, účelně se zaměřením na řešenou úlohu a s podrobnými odkazy na literaturu. Vhodné by bylo zvýraznění členění na geologické jednotky, pokryvné útvary a následně na tektonické postižení území a uvedení i hydrogeologických poměrů. Postrádám popis charakteru a mocnosti kvartérních a zejména terciérních sedimentů.

Vlastní geofyzikální práce v jejich kvantitativní interpretaci bylo vhodné navázat na vrtně ověřený profil. Nejbližší hlubší vrt v databázi ČGS je sonda ZN10 u Hostěradic s hloubkou 117 m. V tomto vrtu na kótě 226 m jsou do konečné hloubky zastíženy terciérní jílovce, písky a pískovce, slínovce a vápence. Krystalinikum zachyceno nebylo.

Uvedený výřez geologické mapy na obr. 2 s citovanou analýzou Prachaře 2016 končí na severní hranici území průzkumu v této práci bylo by vhodné zde uvést odkaz na geologickou mapu v příloze 2.

Vzhledem k charakteru úlohy postrádám pro zájmovou oblast uvedení geofyzikální prozkoumanosti. Regionální podklady zahrnující zájmovou oblast z gravimetrie, magnetometrie, gama spektrometrie jsou např. publikovány v článku autorů Leichmann- Gnojek- Novák-Sedlák- Houzar (International Journal of Earth Sciences, leden 2017). V archivu geologické služby se zájmového regionu týká do roku 2012 přes 20 geofyzikálních posudků.

3. Geoelektrické metody

Pro elektrické odporové metody jsou uvedeny teoretické a metodické základy těchto měření. Za základní odporovou metodou i v tomto prostředí je vertikální elektrické sondování. Metoda ERT je variantou této metody, kdy díky současným technologiím je možné výrazně zahustit měřená pole a měření urychlit. V geoelektrických metodách by bylo vhodné průzkumné práce podpořit dalšími metodami, především metodou VES v místech pánevních sedimentů se standardní 1D interpretací a také geoelektrickým odporovým profilováním v nesymetrickém uspořádání pro lokaci odporových kontaktů a strmě ukloněných tektonických linií.

Použití multielektrodového systému autor odůvodňuje. Vzhledem k tomu, že v geofyzikální praxi tato metoda výrazně převyšuje zastoupení dalších metod, je toto řešení pochopitelné. Následující odstavce s odkazy na řadu prací shrnují na obecné úrovni možnosti a výhody této metody, méně nevýhody, omezení i rizika vzniku zavádějících informací. Řada uvedených možností jak ve způsobu měření, tak i ve vyhodnocení v této části práce směřuje k očekávání, že uvedená témata na řešení konkrétní úlohy budou dále v práci rozpracována a diskutována. Obrázek 5, který by toto předznamenával, ukazuje výsledky modelového zpracování po 8. iteraci. Tento obrázek z mého subjektivního pohledu spíše ukazuje možná rizika uvedeného postupu na vznik nereálné geologické interpretace při velmi dobré odchylce mezi naměřeným izoohmickým řezem a řezem vypočteným z modelu. V diskusi by určitě prospělo uvedení výsledků po různých stupních iterací i nastavení výpočetního algoritmu. Na uvedeném dolním interpretačním řezu se nezdá být reálné lokální zóny zvýšeného odporu v hloubce kolem 20 m, výrazně nízkoodporové prostředí pod 10 Ω m ve střední části řezu ani změna úklonu rozhraní hornin s vyšším odporem mezi izoohmickým a odporovým řezem.

4. Seismické metody

Seismické metody v provedené práci dominují. Teorie seismického vlnění je pospána až příliš podrobně s četnými odkazy na literaturu. Rozsah této kapitoly 9 stran je z pohledu daných cílů a úkolů až příliš velký a někdy i méně přehledný. Určitě by prospělo zvýraznění členění kapitoly na odstavce zabývající se teorií seismických vln (str. 10 – 13), seismické aparatury, snímače a zdroje signálu (str.13 -16). Autor měl více zvážit, zda použije výčet úplný nebo se soustředí na metody, principy i technologie v případech řešeného úkolu, resp. typu úkolu.

V uvedeném rozboru je velké množství informací a některé nejsou vždy vysvětleny, např. elastické moduly μ a k na straně 11. Na straně 12 naznačený princip Fresnelových zón a jejich využití při pracování zůstává i pro v oboru poučených málo srozumitelný.

Pokud kapitoly 3 a 4 jsou obecnými a konkrétní způsoby měření a zpracování jsou obsahem kapitoly 5, bylo by vhodné, aby konkrétní způsoby řešení nebyly v této kapitole zmiňovány, nebo naopak zmiňovány ve všech případech (např. použití konkrétního seismického zdroje).

4.1 Reflexní seismika

Princip reflexní seismiky je podrobně popsán v úvodu kapitoly s četnými odkazy na vybranou literaturu. Kapitola by i v této metodě měla být přehledněji členěna do odstavců zabývajících se jednotlivými částmi procesu - principy – návrh – měření – zpracování – vyhodnocení (geologická interpretace).

Výběr některých citací z literatury je odborně nestejnorodý, např. odkaz na stejný princip jako sonar v úvodu kapitoly patří spíše k osvětlení laické veřejnosti. K reflexi dochází na rozhraní prostředí rozdílné vlnové impedance, jak je správně uvedeno na straně 17, ale výše v témže odstavci se hovoří pouze o náhlé změně seismické rychlosti (myšleno rychlosti šíření seismické vlny). Bylo by vhodné pro tuto metodu uvést, že hlavním výstup seismických reflexních měření je časový řez, tedy řez s vertikální časovou osou 2t (ms).

V práci jsou poměrně četné méně obvyklé termíny, které dle mého názoru většinou ukazují na nevhodný překlad, resp. malou praxi autora s běžnou terminologií (např. „rychlosti seismických sekcí“).

4.2 Refrakční seismika

U refrakční seismiky (mělké) by bylo vhodné zmínit dva základní způsoby vyhodnocení dat – na průběhy seismických refrakčních rozhraní a na vytvoření rychlostního modelu dle kinematického přístupu.

V kapitole je několik chyb vzniklých patrně přepisem, např. „Dalším předpokladem podle Keayreyho et al. (2002) je vrstevnaté podloží, kde každá vrstva má konstantí rychlost a *rychlost s hloubkou klesá*“.

5. Použité metody a terénní práce

Volba geofyzikální metody a její geometrie vychází z očekávaného charakteru geologických rozhraní horizontálních i vertikálních a jejich pozicí v řezu, tedy očekávaných hloubek průzkumu. Jejich uvedení při úkolu „mapovat odporový kontrast mezi horninami krystalinika a sedimentární výplní pánve“ je zřejmé. Jak vyplývá z výsledků průzkumu i geologických předpokladů je mocnost sedimentů v nadloží krystalinika od několika metrů po více než 100 m. Nelze proto hovořit o metodách hlavních a doplňkových, každá z metod v určitém prostředí přináší více informací než jiná.

Pro volbu metodiky je nezbytné přiřazení hodnot sledovaných fyzikálních parametrů očekávané geologii. Toto může být samozřejmě až obsahem interpretace dat, jak je uvedeno v této práci.

Autor byl limitován dostupným technickým zařízením. Použití metody ERT s aparaturou o výkonu 300W pro AB 395 m se zdá být v prostředí vodivých neogenních sedimentů pánve na hranici možností s očekávanými hodnotami měřeného napětí pod 1 mV a s tím spojeným nárůstem nejistoty (chyby) měření.

6. Zpracování dat

6.1 Odporová tomografie ERT

Jako příklad v obrázku terénních dat a extrakce chyb by v této části práce bylo vhodné již uvádět příklad z vlastního měření (obrázky 12 a 13).

V použitém zpracování by bylo vhodné uvést i nastavení parametrů inverzního zpracování. Bylo by vhodné uvést, nejlépe pro profil HOS-3, srovnání výstupů z jednotlivých použitých postupů (výpočetních šablon), včetně potřebného času (vzhledem k uvedené diskusi této náročnosti) a výsledné chyby výpočtu.

6.2.1. Seismická refrakce

V textu o seismické refrakci není použit termín graf hodochron (kromě převzatého obrázku 14), který je složitě opisován. Metoda plus-minus byla použita jen jako startovací model pro tomografii. Její výsledky nejsou v práci uvedeny. Metodou bylo patrně sledováno rozhraní mezi kvartérním pokryvem a podložím, tvořeným jak neogenními sedimenty, tak případně horninami krystalinika. V přílohách by bylo vhodné uvést vzhledem k částečně metodickému charakteru práce graf hodochron z některého profilu, i když se toto v průzkumných zprávách neuvádí.

Poznámka: Pro konstrukci hlubších rozhraní (podloží pánve) byla dříve používána klasická grafická metoda časových polí. Určitě by bylo zajímavé srovnání takto konstruovaného rozhraní s programovým zpracováním seismickou tomografií.

V textu o seismické tomografii je uváděn méně obvyklý výraz „pomalost“. V seismologii se používá v literatuře výraz „Slowness“ jako obrácená hodnota rychlosti. Oficiální překlad pomalost, pokud je použit, mohl být podrobněji vysvětlen.

Dotaz: Jaký je vliv frekvence vlny v tomografickém zpracování, když do výpočtu rychlostního řezu vstupují časy prvních nasazení.

Dotaz: Velikost výpočetní buňky je popsána obecně a dále jsou uvedeny použité zhlazování horizontální i vertikální v závislosti na počtu buněk. Jaká je konkrétní velikost buňky, to vše souvisí pak s rozlišením výsledného řezu.

6.2.2 Reflexe

Úvodní odstavec patří opět spíše do kapitoly 4.2 o metodě. Autor hojně využívá citací z odborné literatury. Utřídit tato data tak, aby odborný text byl jednotný, vyžaduje zkušenosti a nároky, které nelze u autora DP očekávat. Snaha autora o pokud možno široký pohled je hodnocena pozitivně.

Použitý popis je v češtině někdy neobratný, resp. neodpovídá běžně užívaným termínům v geologickém popisu. Některá vyjádření dělají dojem až internetového překladatele – např.:

„Ve skutečnosti je hlavním problémem fakt, že informace které měříme na povrchu, jsou funkcí času, a navíc je musíme přiřadit ke správné pozici a hloubce v podzemí.“

„K tomu abychom viděli obraz, který vyžadujeme, je zapotřebí alespoň průměrný SNR. Chceme, aby SNR bylo co největší, a proto se snažíme potlačit nechtěné vlastnosti signálu a výsledného obrazu.“

„Krom toho také podle Drijkoningena, Verschuura (2003) musíme vzít při zpracování v potaz mnoho fyzikálních procesů. Ve skutečnosti je jich tolik, že musíme zavést zjednodušující předpoklady.“

„Cílem zpracování je tedy anulovat a nebo odstranit všechnu energii, která není primární energií odražené P vlny a vymapovat všechny reflektory v podzemí z časových záznamů pořízených na zemi.“

„Výrobce programu“ – autor software

K vlastnímu zpracování reflexních měření by bylo vhodné uvést na příkladu výstupy po jednotlivých krocích, případně výstupy s různým nastavením parametrů 1D a 2D filtrace.

Dotaz: Kolika násobné překrytí bylo při měření (zpracování) použito?

Pro převod časového řezu na hloubkový není uveden postup tohoto převodu, zda je použita konstantní či vertikálně nebo laterálně proměnlivá rychlost. Pánevní sedimenty nejsou v měřených profilech v celé jejich délce. Pro převod by bylo vhodné použít dvouvrstevný model s rychlostí v neogenních sedimentech okolo 2000 m/s a s rychlostmi v krystaliniku kolem 3500 m/s.

7. Interpretace geofyzikálních dat a diskuse

Zájmovými strukturami jsou v úvodu této kapitoly označeny průběhy strmě ukloněných diskontinuit – zlomů, stanovení jejich pozice a určení výšky vertikálního posunu.

- Situace profilů – v grafickém zobrazení není uváděn počátek (resp. směr staničení) profilů (v práci je jednoznačně uveden v souřadnicích JTSK). Grafické přílohy v praxi jsou často používány samostatně a pak tato informace chybí (zejména u šikmo vedených profilů (HOS-3) to není na první pohled zřejmé.
- Profilové řezy by měly být uváděny pro všechny pozice ve shodných horizontálních měřítkách.

Profil HOS-3

Jeden z úkolů geofyzikálního průzkumu je zpracování naměřených dat do přehledného obrazu, který je následně interpretován. Tedy jsou v něm vyznačeny především prvky, které jsou předmětem zadání průzkumu. Vyznačení těchto prvků v řezech uvedených v přílohách postrádám. Použité grafické škály navozují dojem, kde tyto prvky (vertikální, horizontální a šikmá rozhraní) procházejí. Z použité grafické škály modro-zeleno-červená je nejvýraznější linií žlutá zóna mezi zelenou a červenou. Tato zóna je podle řezu ERT v hloubce 80 m od povrchu na st. 360 m, další vertikální skok v podloží je pak patrný dle přílohy 5 na st. 510 m (skok ze 160 na 190 m n.m.) V prezentovaném řezu z metody seismické tomografie ale není v očekávaném intervalu 300 – 400 m, ale na st. 430 m. Rychlostní škálu by bylo vhodné barevně posunout tak, aby nejvyšší kontrast v uvedené geologii ležel v intervalu 2200-2800 m/s, která odpovídá vysokému rychlostnímu gradientu na hranici mezi sedimentární výplní a krystalinickým podložím.

- V seismickém reflexním řezu lze interpretovat tuto zónu u st. 350, ale opět chybí interpretované vyznačení této zóny včetně úklonu.
- Ve výsledku vyznačeném v příloze 10 s interpretovaným geologickým řezem schází označení metod jednotlivých řezů.
- Vzhledem k posuzování i svrchní části řezu v ERT je vhodné uvádět kromě hlubších nepřevýšených řezů i zobrazení svrchní vrstvy v tomto případě v mocnosti cca 40 – 50 m v měřítku převýšeném.
- Přílohy 8 a 9 – časové řezy, jsou prakticky totožné, jen s různým popisem vertikální osy (časové a hloubkové měřítko), běžně se v případě použití konstantní přepočtení rychlosti uvádí vertikální osa se dvěma měřítky.

V uváděných interpretacích jsou nepřesnosti v metrážích, které právě souvisí s nevyznačením interpretovaných indikací ve zpracovaných řezech. Zahloubení podloží není v časovém řezu patrné do st. 400 ale jen 300, kontakt – posun je interpretován na st. cca 350 m

Profil LES-1

I zde platí technické připomínky zobrazení výsledků. Prezentovaný seismický reflexní řez je na první pohled odlišný od profilu HOS-3 – Jaké je vysvětlení? Strukturami jsou si oba tyto řezy velmi podobné (pánevní struktura, sklon rozhraní, vedlejší deprese - zde st. 700 m). Báze sedimentů je v reflexních měřeních velmi výrazná (v textu je uváděna jako nevýrazná včetně odůvodnění). Odstavec k jižnímu příčnému zlomu je chybně zařazen před tabulkou, patří k profilům LES 2 a LES 4.

Profil LES-2

Data odporové tomografie ukazují na méně vhodnou barevnou (defaultovou) škálu zejména v zelených odstínech. Porovnání výsledků naměřených dat (izoohmický řez) a invertovaných řezů ukazují na použití příliš vysokého stupně iterace s pravděpodobně nereálným odporovým kontrastem v sedimentech a změnou sklonů rozhraní v podloží. Časové řezy v přílohách 19 (migrovaný řez) a 20 (hloubkový řez) jsou z pohledu sledovaného rozhraní odlišné, což neodpovídá pouze proceduře převodu vertikálních měřítek. Časový řez je graficky výrazně příznivější, především v zájmovém úseku úklonu rozhraní ve st. 200 – 300 m, ve svodném schématu je uveden řez hloubkový.

Profil LES-4

Výsledky ukazují velkou nejistotu v geologické interpretaci při použití pouze jedné metody. V tomto případě ERT. Přiřazení nízkoodporového prostředí ve vyšších metrážích zvětralému krystaliniku není příliš pravděpodobné. Izoohmický řez ukazuje postupný nárůst měrného odporu s hloubkou, interpretovaný řez pak představuje sled obrácený

– pod polohou odporů kolem 300 Ω m dochází ke snížení odporu pod 30 Ω m.

V rámci úvah o geologické interpretaci by pozice profilů LES2 a LES4 mohla umožnit plošnou interpretaci, zejména při provedení zahuštění geofyzikálních informací profily odporového profilování.

Dotaz: Vyznačené pozice zlomových linií představují na profilech LES-2 a LES-4 polohu jižního příčného zlomu?

8. Závěr

Geologická interpretace by mohla být vyznačena pozičně v situaci, na severních profilech i s plošnou korelací.

K metodickému zhodnocení, zejména srovnání významu jednotlivých metod je autor poměrně kritický, ale srovnává výsledky odporové tomografie ERT, která charakterizuje především vlastnosti prostředí do 60 m a metodu reflexní, která zobrazuje prostředí od 60 m hlouběji. Provazující seismická rychlostní tomografie nebyla měřena optimálně pro zobrazení změn ve svrchní části (do 60 m) řezu, kdy by bylo vhodné použít dvojnásobnou hustotu zdrojových bodů a jiný výpočetní algoritmus s menším zhlazením dat.

Doporučení použitých aplikací je autorem uvedeno správně. Jak je naznačeno v podrobném popisu metodik měření i zpracování nelze jen doporučit použití reflexní seismiky, ale zároveň by bylo vhodné uvést i postupy zpracování, které povedou v obdobném typu prostředí k cíli.

V celé práci se často používají termíny malé hloubky, mělké metody. V řadě úkolů geologického a geofyzikálního průzkumu řešených v poslední době v geologickém prostředí naší republiky (např. rebilance zásob podzemních vod) je předmětem zájmu hloubkový interval 10 -300 m zejména v okolí kontaktu pánevních struktur a krystalinika. To vede i k oživení zájmu o metody dosahující do těchto hloubek, kde klasickou metodou zůstává vertikální elektrické sondování a jak je ukázáno i v této práci mělká reflexní seismika (mělká z pohledu klasického dělení a zaměření metody na průzkum naftových ložisek).

Závěrečné hodnocení oponenta

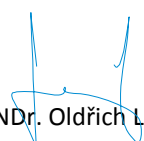
Předložená diplomová práce si stanovila dva úkoly, teoreticko - metodický a geologický. Při řešení práce se samostatnou řešeršní teoreticko - metodickou částí i terénním měřením se před autorem ukázala širší problematika, se kterou se musel vypořádat přijutím řady kompromisů v uvedení širokého výčtu všech variant uváděných metod, tak v hloubce rozpracování teoretických principů. V celkové stavbě diplomové práce pak teoretická část založená na řešerši „učebnicových odstavců“ zaujímá neúměrně velký podíl. V odborném textu je z jazykového hlediska přijatelnější vyvarovat se procesních popisů v 1. osobě činného rodu a postupy raději uvádět ve 3. osobě trpného rodu.

V geofyzikální praxi je častý jev, kdy je řešitel omezen při řešení časově i finančně. V diplomové práci mohlo být téma obsahově zúžené, ale podrobněji rozpracované s odstraněním nedostatků.

I přes výše uvedené výhrady doporučuji DP přijmout.

Geologickou část práce doporučuji předat zadavateli (ČEZ) po odstranění výše uváděných formálních nedostatků kladených pro geofyzikální průzkumy pro řešení strukturálně geologických úkolů.

27. srpna 2017


RNDr. Oldřich Levý