

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Aplikovaná geologie



Bc. Ondřej Šálek

Kolektorské vlastnosti sedimentárních hornin z karotážních měření

Well log analysis for reservoir evaluation of sedimentary formations

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. Miroslav Kobr, CSc.

Praha, 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 15.6.2013

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu RNDr. Miroslavu Kobrovi, CSc., za jeho cenné připomínky, ochotu a mimořádnou trpělivost při vedení mé diplomové práce.

Dále děkuji pracovníkům karotážního oddělení firmy Aquatest za poskytnutí technického zázemí a pomoc při digitalizaci karotážních dat.

ABSTRAKT

Práce se zabývá analýzou profilů pěti vrtů strukturního charakteru procházejících sedimenty české křídové pánve, podložními svrchnopaleozoickými sedimenty a několika desítkami metrů krystalinického podloží. Analýza vrtných profilů se týká jak stanovení kolektorských vlastností sedimentárních hornin z karotážních metod tak statistického zpracování a vyhodnocení vybraných fyzikálních parametrů změřených na vzorcích vrtných jader.

Cílem práce je ověřit možnosti stanovení pórovitosti sedimentárních hornin z karotážních metod v prostředí české křídové pánve a v podložních svrchnopaleozoických sedimentech spolu s porovnáním projevů různých geologických prostředí z hlediska fyzikálních vlastností hornin.

Obsahem práce je prezentace karotážních křivek, výpočty a vzájemná porovnání výsledků stanovení pórovitosti z odporové karotáže, z akustické karotáže a z neutron neutron karotáže spolu s laboratorními údaji pórovitosti stanovenými na vzorcích odebraných z vrtného jádra. Jsou použita data z pěti strukturních vrtů. Pomocí statistických metod byly porovnány projevy různých geologických prostředí z hlediska fyzikálních vlastností hornin změřených na vzorcích vrtných jader z týchž pěti strukturních vrtů.

Stanovení pórovitosti z karotážních metod je obtížné, je možné při splnění geologických a technických předpokladů. Příznivější podmínky a tedy přesnější určení pórovitosti nabízí homogenní polohy vrtného profilu. Pro vyšší přesnost a spolehlivost karotážního stanovení pórovitosti sedimentů je velmi vhodné doplnit karotážní měření analýzou vrtného jádra.

U některých studovaných fyzikálních parametrů ze vzorků sedimentárních hornin byl pozorován statistický pokles nebo nárůst hodnot s rostoucí zrnitostí sedimentů. Byly pozorovány a diskutovány rozdíly mezi fyzikálním projevem křídových a karbonských sedimentů.

ABSTRACT

The work is focused on analysis of five structural well profiles penetrating sediments of the Bohemian Cretaceous Basin and the underlying Upper Palaeozoic continental basins to the crystalline basement. The objectives of well profile analysis are sedimentary formation evaluation from well log analysis and statistical analysis and evaluation of some physical properties of sedimentary rocks, which have been determined by measurements of drill cores.

The aim of the work is to verify the possibility of porosity evaluation from well log analysis in the Bohemian Cretaceous Basin and the underlying Upper Palaeozoic continental basins. The next aim is to compare different geological environments with respect to physical properties of rocks.

The content of the work involves presentation of well log curves, computation of porosity values and comparison between the resulting values of porosity from resistivity log, acoustic log and neutron-neutron log and from laboratory measurements of drill core samples. Data from five deep structural wells are used. Different geological environments were compared by statistical methods with respect to physical properties of rocks measured on well core samples from these five wells.

Porosity evaluation from well log analysis is difficult but it is possible provided that geological and technical preconditions are met. More propitious conditions and thus more accurate porosity evaluation are provided in homogenous layers of the well log. It is recommended to perform well core porosity analysis for higher accuracy and confidence of porosity evaluation from well log analysis.

Some well core samples exhibited statistical decrease or increase of values of physical properties of rocks with increasing grain-size of sedimentary rock. Differences between physical properties of Cretaceous and Carboniferous sedimentary rocks were observed and discussed.

OBSAH

1 Úvod.....	14
2 Zdroje dat.....	15
3 Stručná geologická charakteristika studovaného území	19
3.1 Svrchní karbon limnických pánví.....	19
3.2 Česká křídlová pánev.....	20
4 Fyzikální základy karotážních metod a metodika jejich zpracování	21
4.1 Odporová karotáž	21
4.1.1 Teoretické základy odporové karotáže	21
4.1.2 Stanovení pórovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z odporového karotážního měření	22
4.1.3 Stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody	26
4.2 Měření úhrnné gama aktivity hornin- gama karotáž	27
4.2.1 Teoretické základy gama karotáže	27
4.2.2 Stanovení jílovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z gama karotáže	28
4.3 Akustická karotáž	29
4.3.1 Teoretické základy akustické karotáže	29
4.3.2 Stanovení pórovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z měření akustické karotáže.....	29
4.4 Neutron-neutron karotáž.....	31
4.4.1 Teoretické základy neutron-neutron karotáže	31
4.4.2 Stanovení pórovitosti sedimentárních hornin z neutron neutron karotáže	32
4.5 Kavernometrie	36
4.6 Termometrie	36
4.7 Měření potenciálu spontánní polarizace	37
4.8 Gama-gama karotáž v hustotní modifikaci.....	38
4.9 Stanovení litologie zpracovaných vrtů	39
5 Fyzikální vlastnosti horninových vzorků	40

5.1 Metodika zpracování laboratorních dat	40
5.2 Laboratorní metody stanovení fyzikálních parametrů na vzorcích hornin.....	41
<i>6 Stratigrafický a litologický popis vrtů a přehled použitých výpočetních konstant.....</i>	<i>43</i>
6.1 Vrt DB-1, Dolní Bousov.....	43
6.1.1 Litologie a stratigrafie vrtu DB-1	43
6.1.2 Výpočetní konstanty pro vrt DB-1	46
6.2 Vrt STR-1, Strachaly	47
6.2.1 Litologie a stratigrafie vrtu STR-1	47
6.2.2 Výpočetní konstanty pro vrt STR-1.....	50
6.3 Vrt Vf-1, Volfartice	51
6.3.1 Litologie a stratigrafie vrtu Vf-1	51
6.3.2 Výpočetní konstanty pro vrt Vf-1.....	53
6.4 Vrt PU-4, Peruc	56
6.4.1 Litologie a stratigrafie vrtu PU-4	56
6.4.2 Výpočetní konstanty pro vrt PU-4.....	59
6.5 Vrt MV-1, Mělnické Vtelno	61
6.5.1 Litologie a stratigrafie vrtu MV-1	61
6.5.2 Výpočetní konstanty pro vrt MV-1	64
<i>7 Výsledky zpracování karotážních měření</i>	<i>65</i>
<i>8 Výsledky zpracování laboratorních měření fyzikálních parametrů hornin.....</i>	<i>68</i>
<i>9 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti z karotážních křivek.....</i>	<i>80</i>
9.1 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu DB-1	80
9.2 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu STR-1	80
9.3 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu Vf-1.....	82
9.4 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu PU-4.....	83
9.5 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu MV-1	84
9.6 Průměrné rozdíly mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty.....	85

<i>10 Zhodnocení výsledků statistického zpracování fyzikálních vlastností hornin ze vzorků vrtných jader.</i>	<i>89</i>
<i>11 Závěry.....</i>	<i>95</i>
11.1 Závěry k výpočtům pórovitosti z karotážních měření.....	95
11.2 Závěry ke zpracování fyzikálních vlastností horninových vzorků.....	96
<i>12 Seznam použité literatury</i>	<i>97</i>

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	<i>Závislost měrného elektrického odporu horniny R_0 na jílovitosti V_{sh} podle modelu Ellanskij (1978) pro různé hodnoty měrného elektrického odporu vrstevních vod R_w při pórovitosti 10 %.</i>	25
Graf 2	<i>Korelační diagram mezi formačním faktorem a pórovitostí v křídových horninách. Formační faktor i pórovitost jsou vyneseny v logaritmickém měřítku.</i>	26
Graf 3	<i>Korelační diagram mezi neutronovou pórovitostí a intenzitou NNK. Bodové údaje jsou získány s použitím laboratorních údajů pórovitosti. Červeně je vykreslena zjištěná kalibrační závislost.</i>	35
Graf 4	<i>Krabicové diagramy koncentrace draslíku pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	68
Graf 5	<i>Krabicové diagramy koncentrace uranu pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	69
Graf 6	<i>Krabicové diagramy koncentrace thoria pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	69
Graf 7	<i>Krabicové diagramy úhrnné gama aktivity pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	70
Graf 8	<i>Krabicové diagramy objemové hustoty pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	70
Graf 9	<i>Krabicové diagramy mineralogické hustoty pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	71
Graf 10	<i>Krabicové diagramy pórovitosti pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	71
Graf 11	<i>Krabicové diagramy rychlosti šíření P vln v horninových vzorcích ve směru a (kolmo na laminaci) pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	72
Graf 12	<i>Krabicové diagramy rychlosti šíření P vln v horninových vzorcích ve směru b (v rovině laminace) pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	72

Graf 13	<i>Krabicové diagramy poměru rychlosti šíření akustického signálu ve směru a a ve směru b pro různé horninové typy (viz tabulka 5).....</i>	<i>73</i>
Graf 14	<i>Krabicové diagramy magnetické susceptibility pro různé horninové typy (viz tabulka 5).</i>	<i>73</i>
Graf 15	<i>Korelační diagram rychlosti šíření seismických vln v hornině ve směru a s její pórovitostí v křídových horninách. Odlišnými symboly jsou zobrazeny různé horninové typy.....</i>	<i>74</i>
Graf 16	<i>Korelační diagram rychlosti šíření seismických vln v hornině ve směru a s její pórovitostí v karbonských horninách. Odlišnými symboly jsou zobrazeny různé horninové typy.....</i>	<i>75</i>
Graf 17	<i>Korelační diagram objemové a mineralogické hustoty sedimentů s hloubkou jejich uložení. Různými symboly jsou zobrazeny pískovce, prachovce a jinými symboly pískovce a slepence.....</i>	<i>76</i>
Graf 18	<i>Diagram korelace rychlosti šíření seismických vln v horninových vzorcích s hloubkou jejich uložení. Samostatně jsou zobrazeny rychlosti šíření seismických vln ve směru a a ve směru b. Bodovými údaji jsou proloženy regresní přímky.</i>	<i>77</i>
Graf 19	<i>Korelační diagram koncentrace draslíku, koncentrace thoria a magnetické susceptibility na rychlosti šíření seismických vln ve směru a v horninových vzorcích. Pro korelaci jsou použity pouze vzorky s pórovitostí 5-8 % za účelem minimalizace vlivu pórovitosti na rychlost šíření akustického signálu.....</i>	<i>78</i>
Graf 20	<i>Sloupcové diagramy znázorňující podíly jednotlivých radioaktivních prvků na celkovém dávkovém příkonu gama záření ve vrtu. Hodnoty jsou vypočteny podle průměrných koncentrací prvku pro daný horninový typ z analýz horninových vzorků.....</i>	<i>79</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1</i>	<i>Přehled zpracovaných vrtů, jejich geografická poloha, původní účel realizace a dosažená hloubka.</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 2</i>	<i>Přehled karotážní metodiky měřené na vybraných vrtech. Písmeno G značí původ v digitálním archivu ČGS Geofondu. Písmeno D značí nově zdigitalizovaná data. Pomlčka značí neexistenci karotážních údajů.</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 3</i>	<i>Přehled fyzikálních vlastností hornin měřených v laboratoři, a jejich jednotky, $g.cm^{-3} = 1000 kg.m^{-3}$. Rychlost šíření P vln ve směru a je měřena ve směru kolmém na laminaci, rychlost šíření P vln ve směru b je měřena v rovině laminace.</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 4</i>	<i>Přepočební koeficienty koncentrace iontů na ekvivalentní koncentraci NaCl v roztoku (Pirson 1966).</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 5</i>	<i>Rozdělení horninových vzorků do skupin podle litologie.</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 6</i>	<i>Střední chyby měření laboratorních metod (Uhmann 1983).</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 8</i>	<i>Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu DB-1 (Chaloupský et al. 1984).</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 9</i>	<i>Hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z GK ve vrtu Strachaly.</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 10</i>	<i>Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu Strachaly (Klener 1983; Šula 1968).</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 11</i>	<i>Hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z GK ve vrtu Vf-1.</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 12</i>	<i>Hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z AK a jílovitosti z GK ve vrtu Pu-4.</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 13</i>	<i>Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu PU-4 (Trojan 1966; Žbánek et al. 1988).</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 14</i>	<i>Hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z AK a jílovitosti z GK ve vrtu MV-1.</i>	<i>64</i>

Tabulka 15	Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu MV-1 (Žbánek et al. 1991; Čapek, Kokošková 1985).....	64
Tabulka 16	Konstanty A a B (vztah 18) empirické logaritmické závislosti neutronové pórovitosti p_N na četnosti impulzů NNK pro příslušné úseky vrtů DB-1, STR-1 a Vf-1.....	65
Tabulka 17	Konstanty A a B (vztah 18) empirické logaritmické závislosti neutronové pórovitosti p_N na četnosti impulzů NNK pro příslušné úseky vrtů PU-4 a MV-1.....	66
Tabulka 18	Výsledky stanovení pórovitosti ve vybraných polohách křídových křemitých pískovců podle Archieho vztahu (vztah 4) p_{RA} v bodech, kde byla současně stanovena pórovitost na vzorcích vrtných jader p_{VZ} a rozdíly těchto dvou údajů pórovitosti v absolutních hodnotách Δp_{RA}	67
Tabulka 19	Průměrný absolutní rozdíl mezi karotážním výpočtem pórovitosti z odporové karotáže (Δp_R), neutron neutron karotáže (Δp_{NN}), akustické karotáže (Δp_{AK}) a laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra. Jsou použita úplná data z celých vrtů.	87
Tabulka 20	Průměrný absolutní rozdíl mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty pórovitosti z odporového měření R_{ap} 164 podle Archieho vztahu (Δp_{RA}), podle vztahu 9 (Δp_{RK}), z NNK (Δp_{NN}) a z AK (Δp_{AK}) v čistých křídových pískovcích.	87
Tabulka 21	Průměrný absolutní rozdíl mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty pórovitosti z odporového měření R_{ap} 164 podle vztahu 8 Ellanskij (1978) (Δp_{RE}), z NNK (Δp_{NN}) a z AK (Δp_{AK}) v karbonských pískovcích.	88
Tabulka 22	Koeficienty regresních přímek proložených daty objemové a mineralogické hustoty (graf 17) a jejich koeficientů determinace R^2	93
Tabulka 23	Koeficienty definující regresní přímky proložené hodnotami rychlosti šíření seismických vln v grafu 18.	93

SEZNAM ZKRATEK

<i>a</i>	koeficient vytřídění v procesu sedimentace
<i>c_i</i>	koncentrace jednotlivých iontů v roztoku
<i>d</i>	průměr vrtu
D [nGy.h ⁻¹]	dávkový příkon gama záření v nanogray za hodinu
<i>E_d</i>	difuzní potenciál
<i>E_{d.a}</i>	difuzně-adsorbční potenciál
<i>E_s</i>	rozdíl potenciálů
<i>F</i>	formační faktor
GK	gama karotáž
<i>h</i>	hloubka
<i>I</i>	elektrický proud
imp.s ⁻¹	počet impulsů za sekundu
<i>k_i</i>	přepočtní koeficient koncentrace jednotlivých iontů na ekvivalentní koncentraci chloridu sodného
KM	kavernometrie, průměr vrtu
NNK	neutron neutron karotáž
<i>p</i>	pórovitost
p _{AK}	pórovitost vypočtená z akustické karotáže
<i>p_N</i>	neutronová pórovitost
p _{NN}	pórovitost vypočtená z neutron neutron karotáže
p _{RA}	pórovitost vypočtená z odporového měření podle vztahu 4
p _{RE}	pórovitost vypočtená z odporového měření podle vztahu 8
p _{RK}	pórovitost vypočtená z odporového měření podle vztahu 9
<i>p_{sh}</i>	zdánlivá pórovitost jílu
p _{VZ}	pórovitost stanovená laboratorně na vzorcích hornin

R [Ω m]	měrný elektrický odpor v ohmmetrech
R_{ap} 041	karotážní potenciálová odporová křivka měřená sondou délky 0,41 m
R_{ap} 164	karotážní potenciálová odporová křivka měřená sondou délky 1,64 m
R_{mf}	měrný elektrický odpor filtrátu výplachu
R_{sh}	měrný elektrický odpor jílu
R_0	měrný elektrický odpor porézní horniny zcela vyplněné vrstevní vodou
R_w	měrný elektrický odpor elektrolytu
SP	spontánní polarizace
T [$^{\circ}$ C]	teplota ve stupních Celsia
v	rychlost
v_{pa}	rychlost šíření seismických P vln ve směru a
v_{pb}	rychlost šíření seismických P vln ve směru b
V_{sh}	jílovitost
Δt	rozdíl časů
ΔU	rozdíl potenciálů

SEZNAM PŘÍLOH

- příloha 1 grafické zobrazení karotážních dat a výsledků stanovení pórovitosti ve vrtu DB-1
- příloha 2 grafické zobrazení karotážních dat a výsledků stanovení pórovitosti ve vrtu STR-1
- příloha 3 grafické zobrazení karotážních dat a výsledků stanovení pórovitosti ve vrtu Vf-1
- příloha 4 grafické zobrazení karotážních dat a výsledků stanovení pórovitosti ve vrtu PU-4
- příloha 5 grafické zobrazení karotážních dat a výsledků stanovení pórovitosti ve vrtu MV-1
- příloha 6a numerické výsledky pórovitosti a jílovitosti ve vrtu DB-1, Dolní Bousov
- příloha 6b numerické výsledky pórovitosti a jílovitosti ve vrtu STR-1, Strachaly
- příloha 6c numerické výsledky pórovitosti a jílovitosti ve vrtu Vf-1, Volfartice
- příloha 6d numerické výsledky pórovitosti a jílovitosti ve vrtu PU-4, Peruc
- příloha 6e numerické výsledky pórovitosti a jílovitosti ve vrtu MV-1, Mělnické Vtelno
- příloha 7 zdrojová data laboratorně stanovených fyzikálních vlastností vzorků z vrtných jader
- příloha 8 základní statistické charakteristiky fyzikálních vlastností horninových vzorků

1 Úvod

Práce se zabývá stanovením kolektorských vlastností sedimentárních hornin z karotážních metod na vybraných pěti vrtech strukturního charakteru současně se statistickým zpracováním a vyhodnocením těchto fyzikálních parametrů: objemová a mineralogická hustota, pórovitost, rychlost šíření seismických vln ve dvou na sebe kolmých směrech, magnetická susceptibilita, úhrnná gama aktivita, obsahy draslíku, uranu a thoria změřených na vzorcích vrtných jader z těchto vrtů.

Znalost pórovitosti sedimentárních hornin může být využita pro některé moderní geologické aplikace, například v oblasti hydrogeologie nebo pro studie možností skladování plynů v geologickém prostředí.

Cílem práce je ověřit možnosti stanovení pórovitosti sedimentárních hornin z karotážních metod v prostředí české křídové pánve a v podložních svrchnopaleozoických sedimentech. Stanovení pórovitosti v sedimentech české křídové pánve je do značné míry nezpracovaným tématem. Byly prováděny jen ojedinělé studie (Marušiak, Těžký 1969; Mareš, Kružík 1970; Křest'an 1973; Křest'an 1974), zatímco výpočet pórovitosti karbonských sedimentů z běžného karotážního měření byl používán v širším měřítku (Mareš 1967).

Obsahem práce je porovnání výsledků stanovení pórovitosti z karotážních metod s laboratorními údaji pórovitosti stanovenými na vzorcích odebraných z vrtného jádra studovaných vrtů.

V práci jsou dávány do souvislosti poznatky vyplývající z interpretace karotážních měření s poznatky plynoucími ze statistického zpracování laboratorních měření některých fyzikálních parametrů na vzorcích vrtného jádra.

Pro zpracování práce byla použita archivní data. Část použitých dat dosud nebyla zdigitalizována. Jedním z přínosů práce je dodatečná digitalizace karotážních dat potřebných ke zpracování tématu.

Práce se zabývá také porovnáním projevů různých geologických prostředí z hlediska fyzikálních vlastností hornin.

Diplomová práce byla zpracována v průběhu podzimu 2011 až jara 2013. Výběr dat uskutečnil a metodické vedení poskytl vedoucí diplomové práce RNDr. Miroslav Kobr, CSc.

2 Zdroje dat

Pro zpracování diplomové práce byla použita archivní karotážní a laboratorní data. Archivní data byla poskytnuta archivem České geologické služby Geofondem ve spolupráci s firmou Aquatest.

Část karotážních dat byla k dispozici v digitální podobě, část dat na grafických záznamech v měřítku 1:100. Karotážní data dostupná pouze na grafických záznamech jsem v rámci této diplomové práce zdigitalizoval s krokem 0,1 m. K digitalizaci karotážních křivek byl použit přístroj XPLAN-360 poskytnutý firmou Aquatest. Nově zdigitalizovaná data budou poskytnuta archivu České geologické služby Geofondu pro doplnění digitálního archivu.

Karotážní data jsou čerpána ze závěrečných zpráv o karotážních měřeních státního podniku Geindustria Praha, karotážní středisko Tuchlovice (Vlasák 1983; Chochlíková 1983; Vlasáková 1981; Bulínová 1984; Bulínová 1988).

Laboratorní data představují výsledky měření fyzikálních vlastností hornin na vzorcích jader. Tato data jsou čerpána ze zpráv Geofyziky n.p., Brno (Uhmann 1984; Uhmann 1983; Píchová 1983; Mitevová, Píchová 1989). Údaje pórovitosti z vrtu PU-4 pocházejí ze závěrečné zprávy úkolu Peruc – Kokovice (Žbánek 1988).

Pro vypracování práce byly vybrány vrty nacházející se ve střední a západní části české křídové pánve, u kterých bylo provedeno jak karotážní měření, tak laboratorní analýza fyzikálních vlastností hornin, nebo alespoň stanovení pórovitosti vzorků vrtného jádra. V tabulce 1 je uvedena geografická poloha vrtů, jejich původní účel a dosažená hloubka. Jde o vrty procházející sedimenty české křídové pánve i sedimenty paleozoických pánví dosahující podloží sedimentárního pokryvu Českého masivu.

Tabulka 1 Přehled zpracovaných vrtů, jejich geografická poloha, původní účel realizace a dosažená hloubka.

Vrt	Lokalita	Účel	Hloubka
MV-1	Mělnické Vtelno	ložiskový na uhlí	926 m
DB-1	Dolní Bousov	strukturní	1444 m
STR-1	Strachaly	strukturní	1340 m
Vf-1	Volfartice	strukturní	1587 m
PU-4	Peruc	ložiskový na uhlí	1300 m

Celkem byla zpracována data z pěti vrtů. Poloha vrtů je znázorněna na obrázku 1. Přehled vrtů a měřená karotážní metodika je v tabulce 2. Přehled fyzikálních vlastností hornin měřených v laboratoři je v tabulce 3. Rychlost šíření P vln ve směru *a* je měřena ve směru kolmém na laminaci, rychlost šíření P vln ve směru *b* je měřena v rovině laminace (Uhmann 1984).

Laboratorní údaje měření fyzikálních vlastností hornin jsou k dispozici ve čtyřech vrtech MV-1 Mělnické Vtelno, DB-1 Dolní Bousov, STR-1 Strachaly a Vf-1 Volfartice. Z vrtu PU-4 Peruc jsou známy pouze laboratorně stanovené pórovitosti z vrtného jádra.



Schématická mapa severních Čech s polohou zpracovávaných vrtů a hranicemi pánevních struktur podle Chlupáč et al. (2002), upraveno (modře vyznačena kontura české křídové pánve, čárkovaně kontury svrchnopaleozoických pánví).

Tabulka 2 Přehled karotážní metodiky měřené na vybraných vrtech. Písmeno G značí původ v digitálním archivu ČGS Geofondu. Písmeno D značí nově zdigitalizovaná data. Pomlčka značí neexistenci karotážních údajů.

	Rap 041 [ohm.m]	Rap 164 [ohm.m]	SP [mV]	NNK [cps]	TM [°C]	GK [nGy.h ⁻¹]	KM [mm]	GGK [cps]	ΔT [$\mu\text{s.m}^{-1}$]
MV-1	G	D	D	D	G	G	D	D	D
DB-1	G	D	G	G	G	G	G	D	-
PU-4	G	D	D	D	D	G	D	D	D
STR-1	G	G	G	G	-	G	G	G	-
Vf-1	G	G	-	G	D	G	G	G	-

Tabulka 3 Přehled fyzikálních vlastností hornin měřených v laboratoři, a jejich jednotky, $\text{g.cm}^{-3} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$. Rychlost šíření P vln ve směru a je měřena ve směru kolmém na laminaci, rychlost šíření P vln ve směru b je měřena v rovině laminace.

Objemová hustota	Mineralogická hustota	Pórovitost	Rychlost šíření P vln směr a	Rychlost šíření P vln směr b
g.cm^{-3}	g.cm^{-3}	%	km.s^{-1}	km.s^{-1}

Magnetická susceptibilita	Úhrnná gama aktivita	Koncentrace Th	Koncentrace U	Koncentrace K
10^{-6} J.SI	ppm Uekv	ppm	ppm	%

3 Stručná geologická charakteristika studovaného území

3.1 Svrchní karbon limnických pánví

Během karbonu postupně doznívají vrásové deformace jednotek Českého masivu. Český masiv je od té doby deformován jen v křehkém režimu. Český masiv se stává pevnou platformní jednotkou, která je převážně porušována již jen vertikálními pohyby kůry, které vytvářely akomodační prostor pro ukládání sedimentů postorogenních intermontánních pánví na erodovaném variském podkladu. Tyto intenzivně klesající pánve jsou rychle zanášeny klastickým materiálem z okolních hřbetů, který se zde hromadil ve velkých mocnostech. Okraje pánví jsou obvykle omezeny synsedimentárními nebo mladšími zlomy převážně poklesového rázu (Chlupáč et al. 2002; Kachlík 2008).

V době ukládání těchto sedimentů se Český masiv nacházel v blízkosti rovníku v oblasti tropického klimatu. Barva permokarbonských sedimentů i jejich složení často odráží klimatické změny. Červené sedimenty odpovídají klimaticky sušším obdobím, pestré nebo šedé sedimenty odpovídají humidnějším obdobím (Chlupáč et al. 2002; Kachlík 2008).

Výplň pánví tvoří většinou klastické uloženiny, sedimenty výnosových kuželů, svahové sedimenty, sedimenty náhlých splachů, sedimenty meandrujících a divočících řek, jezerní sedimenty. Přítomny jsou také vulkanogenní sedimenty a uhelné sloje. Sedimenty jsou často cyklicky uspořádány, což svědčí o periodických změnách sedimentace v důsledku klimatických a tektonických vlivů. Fluviální sekvence se projevují postupně zjemňujícími se cykly. Slepence a pískovce na bázi cyklů postupně přechází do prachovců a jílovců, někdy s uhelnými slojemi. Pro stratigrafické korelace mají význam polohy tufů, tufitů, horizonty jezerních sedimentů a uhelné sloje (Chlupáč et al. 2002; Kachlík 2008). Pouze část plochy permokarbonských pánví vystupuje na povrch, větší část je překryta mladšími sedimenty, zejména české křídové pánve (Kachlík 2008).

Sedimentace ve středočeských a západočeských limnických pánvích i sedimentace v mnichovohradištské pánvi je ukončena během svrchního stephanu. Českokamenická pánev je známa pouze z hlubinných vrtů (Vf-1 Volfartice), její sedimentace nejspíše odpovídá ploužnickému nebo rudnickému obzoru podkrkonošské pánve stáří svrchního stephanu až spodního permu (Chlupáč et al. 2002).

3.2 Česká křídová pánev

V důsledku dlouhodobého poklesu dílčích segmentů variského fundamentu v oblasti labské zóny a v důsledku rozsáhlé cenomanské a později spodnoturonské transgrese vznikaly nejdříve jezerní pánve a pak i rozsáhlejší mořská pánev - česká křídová pánev, jejíž rozsah se v průběhu cenomanu a zvláště turonu rychle zvětšoval (Kachlík 2008). Ústup moře patrně nastal během santonu (Chlupáč et al. 2002). Mocnost svrchnokřídových uloženin české křídové pánve dosahuje několika set metrů, maxima 1100 m. Výplň pánve tvoří převážně klastické sedimenty různé zrnitosti. V mořských uloženinách je přítomna i sedimentace karbonátů - slíny, slínovce, opuky i vápence. Cenomanské sedimenty jsou svým složením různorodé. V nižších částech jsou uloženiny říční a jezerní. V blízkosti plochého pobřeží se vyskytují usazeniny lagun, písčových bariér a pláží, při skalnatém pobřeží slepence a biogenní vápence. V mělkém moři jsou rozšířené křemenné, výše i glaukonitické písčovce. Turonské sedimenty lze rozdělit do dvou základních facií, které závisí zejména na přínosu klastického materiálu z pevniny. V oblastech snosu písčitého materiálu z pevniny se usazovaly kvádrové písčovce. V částech pánve vzdálených od pobřeží se usazovaly vápnité jílovce a slínovce s přechody do jílovitých vápenců (Chlupáč et al. 2002; Kachlík 2008).

4 Fyzikální základy karotážních metod a metodika jejich zpracování

4.1 Odporová karotáž

4.1.1 Teoretické základy odporové karotáže

Odporové potenciálové sondy měří zdánlivý měrný elektrický odpor R [Ωm]. Schéma měření obsahuje dvě proudové elektrody A, B a dvě potenciálové elektrody M a N. Velikost proudu I se během měření udržuje konstantní. Registrujeme rozdíl potenciálů ΔU mezi elektrodami M a N. Zdánlivý měrný elektrický odpor počítáme podle vztahu:

$$R = K \frac{\Delta U}{I}, \text{ kde} \quad 1$$

K je konstanta uspořádání sondy, pro kterou platí:

$$K = \frac{4\pi \overline{AM} \overline{AN}}{\overline{MN}}, \text{ kde} \quad 2$$

\overline{AM} , \overline{AN} a \overline{MN} jsou vzdálenosti mezi elektrodami A, M a N (Kobr 1976; Pirson 1966).

Pro potenciálové sondy platí, že potenciál U_M v měřicím bodě M je mnohem větší než potenciál U_N v bodě N (zpravidla uzemněnému na povrchu). Zdánlivý měrný elektrický odpor je prakticky určen hodnotou potenciálu elektrického pole v bodě M U_M (Kobr 1976).

Hlavní charakteristikou odporové potenciálové sondy je vzdálenost mezi proudovou elektrodou A a potenciálovou elektrodou M. Tuto vzdálenost označujeme jako délku potenciálové sondy. Na délce potenciálové sondy závisí radiální vzdálenost dosahu měření do stěny vrtu, vertikální rozlišení i celkový obraz křivky zdánlivého měrného elektrického odporu (Kobr 1976; Pirson 1966). Nejběžněji používané potenciálové odporové sondy jsou délky $\overline{AM} = 41$ cm a $\overline{AM} = 164$ cm s označením $R_{ap} 041$ a $R_{ap} 164$. Radiální dosah potenciálové odporové sondy odpovídá přibližně dvojnásobku její délky (Pirson 1966).

Naměřené hodnoty zdánlivého měrného elektrického odporu jsou ovlivněny zkoumanými geologickými faktory (měrné elektrické odpory hornin zasažených měřením, pórovitost, měrný elektrický odpor elektrolytu) ale také dalšími vlivy souvisejícími s hloubením a stavem vrtu. Mezi negeologické vlivy patří měrný elektrický odpor výplachu ve vrtu, průměr vrtu, průnik filtrátu výplachu do vrstvy propustných hornin. Hloubka průniku filtrátu výplachu do stěny vrtu závisí na koeficientu propustnosti, na

poměru mezi hydrostatickým tlakem výplachu a vrstevním tlakem, na viskozitě výplachu a na čase uplynulém mezi odvrtním a karotážním měřením (Kobr 1976; Pirson 1966).

4.1.2 Stanovení pórovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z odporového karotážního měření

V nejílovitých horninách (pískovcích, vápencích) vycházíme z předpokladu, že minerální matrice sedimentární horniny je tvořena elektricky nevodivými minerály s měrným elektrickým odporem řádově $10^{11} - 10^{15} \Omega\text{m}$ (Karous 1989). Při splnění těchto předpokladů je vodivost sedimentárních hornin zprostředkována pohybem iontů v roztocích v pórech horniny. Měrný elektrický odpor horniny potom závisí zejména na celkovém objemu pórů v hornině - pórovitosti p . Další významné faktory jsou zpevnění (cementace) a charakter zrnitostní křivky, na kterých závisí velikost nepropojených pórů a jejich tortuosita (Pirson 1966).

Formační faktor F je poměr měrného elektrického odporu porézní horniny R_0 zcela vyplněné roztokem s měrným elektrickým odporem R_w a tímto měrným elektrickým odporem roztoku (Pirson 1966).

$$F = \frac{R_0}{R_w} \quad 3$$

Vztah mezi formačním faktorem F a pórovitostí p popisuje empirický Archieho zákon. Archieho zákon platí pouze v čistých nejílovitých pískovcích (Pirson 1966).

Archieho zákon:

$$F = \frac{R_0}{R_w} = a * \frac{1}{p^m} \quad 4$$

m je cementační faktor

a je koeficient vytrídění

Pro pórovitost p platí:

$$p = \left\{ \frac{R_w}{R_0} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad 5$$

Koeficient vytrídění a uvažujeme roven jedné. Cementační faktor m se mění se stupněm zpevnění hornin. Nabývá hodnot od 1,3 v nezpevněných horninách (písek) do 2,2

ve vysoce zpevněných horninách jako jsou pískovce s nízkou porozitou nebo kvarcity (Pirson 1966). Pro sedimenty české křídly je udáván cementační faktor 1,7 (Kobr 1975) a pro sedimenty střeďočekých svrchnopaleozoických pánví je udávána hodnota 1,8 (Mareš 1966; Mareš 1967).

Pokud je v hornině kromě nevodivé matrice přítomna také pevná složka s nízkým měrným elektrickým odporem - jílovitost, tak dochází k významnému ovlivnění měrného elektrického odporu horniny. V tomto případě přestává platit Archieho zákon a při výpočtu pórovitosti v jílovité hornině je nutné postupovat jiným způsobem.

Patnode a Wyllie předložili model paralelních odporů, ve kterém je měrný elektrický odpor horniny chápán jako výsledek součtu dvou paralelně řazených odporů představovaných horninovou maticí a jílovitou složkou horniny (vztah 6). Vodivost pevných vodivých komponent (jílovitosti) je podle tohoto modelu v podstatě nezávislá na vodivosti fluid v pórech horniny (Patnode, Wyllie 1950).

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{F_k R_W} + \frac{1}{R_{sh}} \quad 6$$

F_k je konstantní formační faktor čistého písku

Model paralelních odporů platí pro vysoce mineralizované vody. Při měrném elektrickém odporu vrstevních vod větším, než 0,05 Ωm existuje v jílovitých pískovcích rozdíl mezi zdánlivým formačním faktorem F_a a konstantním formačním faktorem F_k . Tento rozdíl se zvyšuje s rostoucím měrným elektrickým odporem vrstevních vod. Tento model tedy není správný, ale jeho chyba při vysokých mineralizacích podzemních vod je malá.

Jiným způsobem zavádí opravu na jílovitost Ellanskij (1978). Ellanského oprava na jílovitost vychází ze skutečnosti, že při určité hodnotě měrného elektrického odporu vrstevní vody R_W mají jílovce a pískovce prosycené tímto roztokem stejný měrný elektrický odpor R_0 . Tuto rovnovážnou hodnotu R_W stanovil Ellanskij na 0,22 Ωm . V písčito-jílovitém prostředí s vrstevní vodou s $R_W < 0,22$ mají teoreticky pískovce nižší měrný elektrický odpor, než jílovce a nastává tak inverze měrných elektrických odporů mezi pískovci a jílovci oproti běžnému stavu, kdy R_W je větší, než 0,22 Ωm . Prakticky tato inverze měrných odporů nastává v hlubších částech severočekých karbonských pánví a byla popsána v pracích Mareše (1966, 1967).

Pro výpočet pórovitosti ve zkoumaných vrtech byl použit vzorec podle Ellanskij (1978) ve zjednodušeném tvaru pro plně vodonasycené vrstvy.

Pro formační faktor F platí:

$$F = \frac{R_0}{R_w} = \frac{1}{p^m} * \frac{1}{1 - \left[V_{sh} \left(1 - \frac{R_w}{0.22} \right) \right]} \quad 7$$

Pro pórovitost p platí:

$$p = \left\{ \frac{R_w}{R_0} * \frac{1}{1 - \left[V_{sh} \left(1 - \frac{R_w}{0.22} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad 8$$

Při výpočtu pórovitosti podle rovnice 8 dosazujeme

R_0 karotážní křivka potenciálové elektrické sondy $R_{ap}164$

R_w hodnota měrného elektrického odporu vrstevní vody

m cementační faktor

V_{sh} jílovitost vypočtená z gama karotáže

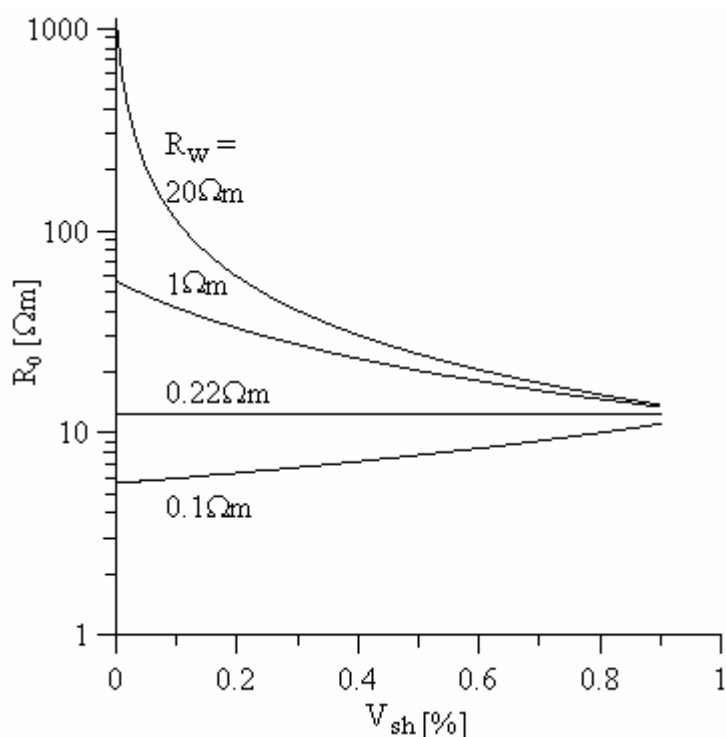
0,22 konstanta udávající hodnotu R_w při které jsou měrné elektrické odpory pískovce a jílovce v rovnováze

Karotážní metodika na studovaných vrtech zahrnovala měření potenciálovými elektrickými sondami dvou délek $R_{ap} 041$ a $R_{ap} 164$. Při zpracování dat se ukázalo, že měření kratší sondou $R_{ap} 041$ je pro výpočet pórovitosti nevhodné. Pravděpodobnou příčinou je, že v radiálním dosahu sondy se nachází prostor s proměnným průnikem filtrátu výplachu ve vrtu. Měrný elektrický odpor elektrolytu vyplňujícího póry horniny je v důsledku proměnlivého míšení vrtného výplachu a vrstevní vody nestálý. Proto není možné za těchto podmínek stanovit formační faktor a pórovitost. Podmínkou pro stanovení pórovitosti z křivky $R_{ap} 041$ je dostatečný průnik filtrátu výplachu (Pirson 1966).

Podle Ellanského modelu při mineralizaci vrstevní vody $R_w = 0,22 \Omega m$ jsou měrné elektrické odpory R_0 pískovce a jílovce stejné, oprava na jílovitost je nulová. Při mineralizaci vrstevní vody odpovídající hodnotě R_w blízké 0,22 Ωm karotážní křivka $R_{ap} 164$ a tedy i výpočet pórovitosti ztrácí rozlišovací schopnost mezi pískovci a jílvci.

Podle Ellanského modelu v písčito-jílovitém prostředí s málo mineralizovanou vrstevní vodou zvláště pro nízké jílovitosti je měrný elektrický odpor horniny silně závislý na jílovitosti (viz graf 1). Výpočet pórovitosti podle rovnice 8 se v tomto případě stává nestabilní.

V prostředí České křídové pánve jsou vrstevní vody velmi málo mineralizované a není možné zde použít výpočet pórovitosti podle Ellanskij (1978). V čistých pískovcích, kde je možné nezavádět opravu na jílovitost teoreticky platí Archieho zákon (vztah 4).



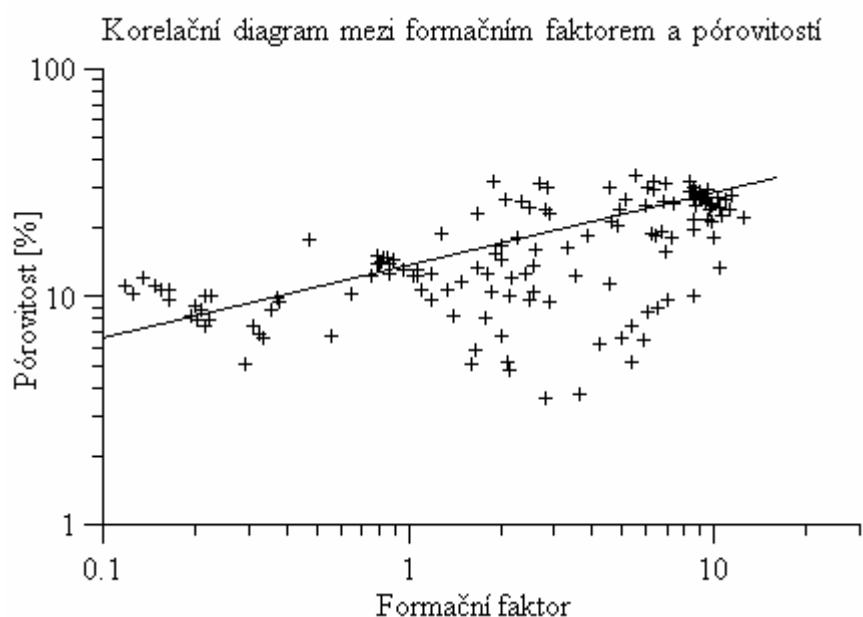
Graf 1 Závislost měrného elektrického odporu horniny R_0 na jílovitosti V_{sh} podle modelu Ellanskij (1978) pro různé hodnoty měrného elektrického odporu vrstevních vod R_w při pórovitosti 10 %.

V křídových horninách byla studována korelace formačního faktoru na pórovitosti. Data ze čtyř studovaných vrtů (MV-1, DB-1, Vf-1, STR-1) jsou vynesena v korelačním diagramu (graf 2). Diagram je v bilogaritmickém měřítku. Na diagramu je vynesena také funkční závislost definovaná vztahem:

$$p = F^{0.32} * 13,77$$

9

Tato závislost byla použita pro přibližné stanovení pórovitosti v křídových horninách.



Graf 2 Korelační diagram mezi formačním faktorem a pórovitostí v křídových horninách. Formační faktor i pórovitost jsou vyneseny v logaritmickém měřítku.

4.1.3 Stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody

Stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody je možné několika způsoby:

1. Odběr vzorků vrstevní vody a chemická analýza jejich iontového složení.

Ze zjištěných koncentrací jednotlivých iontů ve vzorku vrstevní vody vypočteme ekvivalentní koncentraci chloridu sodného v roztoku pomocí přepočtových koeficientů pro jednotlivé ionty (tabulka 4).

Tabulka 4 Přepočební koeficienty koncentrace iontů na ekvivalentní koncentraci NaCl v roztoku (Pirson 1966).

Ion	přepočtový koeficient
Na	1
K	1
Ca	0.95
Mg	2
Cl	1
HCO ₃	0.27
SO ₄	0.5

Ekvivalentní koncentrace NaCl je rovna sumě součinů koncentrací jednotlivých iontů c_i s jejich přepočtovými koeficienty k_i (tabulka 4) (Pirson 1966).

$$c_{NaCl} = \sum_I c_i k_i \quad 10$$

Měrný elektrický odpor vrstevní vody zjistíme ze znalosti ekvivalentní koncentrace NaCl v roztoku a teploty T [$^{\circ}\text{C}$] v příslušné hloubce vrtu pomocí nomogramu (Vendelstein 1963; Pirson 1966).

Přepočet měrného elektrického odporu vrstevní vody R_W na jinou úroveň teploty byl prováděn podle vztahu:

$$R_W = \frac{R_{W0}}{1 + 0.025(T - T_0)}, \text{ kde} \quad 11$$

R_{W0} je měrný elektrický odpor vody při teplotě T_0 a R_W je měrný elektrický odpor vody při teplotě T (Halliburton Logging Services, Inc. 1991, Vendelstein 1963).

2. Karotážní měření rezistivimetrie ve vrtu

Jiným způsobem stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody je karotážní měření rezistivimetrie ve vrtu. Měření se provádí v době, kdy již není voda ve vrtu ovlivněna výplachem, např. při čerpací zkoušce. Změřená hodnota je závislá na chemickém složení vrstevní vody a na teplotě ve vrtu (Kobr 1976).

3. Stanovení R_W z potenciálu spontánní polarizace

Výpočet měrného elektrického odporu vrstevní vody z potenciálu SP je podrobně popsán v literatuře např. Kobr (1976).

Měrný elektrický odpor filtrátu výplachu R_{mf} , který proniká do horniny při hloubení vrtu a v blízkém okolí vrtu nahrazuje vrstevní vodu se obvykle stanoví jako $R_{mf} = 0,8 R_m$ (Kobr 1976).

4.2 Měření úhrnné gama aktivity hornin- gama karotáž

4.2.1 Teoretické základy gama karotáže

Přeměna nestabilních prvků v zemské kůře je doprovázena emisemi elektromagnetického gama záření. Pro radioaktivitu hornin jsou významné prvky K, U a Th. Při měření úhrnné gama aktivity nerozlišujeme energie gama kvant. Intenzitu gama záření hornin lze měřit

díky jeho interakci s hmotou uvnitř detektoru. Každý detektor má jiné vlastnosti pro detekci gama kvant, měření se zaznamenává v relativních jednotkách četnosti impulzů za sekundu imp.s^{-1} . Intenzita gama záření ve fyzikálních jednotkách dávkového příkonu záření gama D [nGy.h^{-1}] je zjišťována pomocí kalibrace sondy etalonem. Průchod gama záření hmotou závisí na jeho energii a na vlastnostech hmoty kterou prochází. Dosah měření úhrnné gama aktivity v horninách je asi 30 cm (Pirson 1966; Kobr 1976).

Zvýšené obsahy radioaktivních prvků jsou obvykle v jílovitých horninách. Nízké obsahy těchto prvků jsou naopak v čistých pískovcích a vápencích. Gama karotáž je vhodná při studiu sedimentárních formací pro studium litologie, jílovitosti, určování litologických rozhraní a také pro stratigrafické korelace (Pirson 1966; Kobr 1976).

4.2.2 Stanovení jílovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z gama karotáže

Výpočet jílovitosti sedimentárních hornin z karotáže se standardně provádí z křivky úhrnné gama aktivity. Předpokladem výpočtu je relativně zvýšený obsah radioaktivních prvků K, U a Th v jílovitých horninách oproti čistým pískovcům a také neexistence nahromadění radioaktivních prvků z jiných příčin.

Výpočet jílovitosti vychází ze vzorce 12 a dále se přepočítává podle příslušných převodních vztahů (viz soubory interpretačních nomogramů např. Halliburton Logging Services, Inc., 1991). Tyto převodní vztahy nejsou lineární, liší se pro různé sedimentární formace. V této práci byla jílovitost stanovena podle vzorce 12 bez dalších přepočtů.

$$V_{sh} = \frac{(GK - GK_p)}{(GK_j - GK_p)} \quad 12$$

GK je s hloubkou proměnná hodnota dávkového příkonu hornin ve vrtu. Může být udána v jednotkách nGy.h^{-1} nebo v relativních jednotkách.

GK_p je hodnota dávkového příkonu v mocné homogenní poloze nejílovitých křemitých pískovců.

GK_j je hodnota dávkového příkonu v mocné homogenní poloze nepísčitých a nevápničných jílovců.

GK_p odpovídá nejnižším hodnotám dávkového příkonu GK_{\min} zjištěného ve vrtu, pokud vrt zastihuje mocnou homogenní polohu nejílovitých křemitých pískovců.

GK_j odpovídá nejvyšším hodnotám dávkového příkonu GK_{\max} ve vrtu, pokud vrt zastihuje mocnou homogenní polohu nepísčitých a nevápničných jílovců.

V případech, kdy se ve vrtu nevyskytují vhodné polohy pískovců může být $GK_p < GK_{\min}$.

V případech, kdy se ve vrtu nevyskytují vhodné polohy jílovců může být $GK_j > GK_{\max}$.

4.3 Akustická karotáž

4.3.1 Teoretické základy akustické karotáže

Předmětem studia akustické karotáže jsou elastické vlastnosti hornin. Elastická deformace se šíří horninou rychlostí v . Rychlost šíření elastických vln v hornině souvisí s litologií hornin a s pórovitostí p . Měřeným parametrem v akustické karotáži není přímo rychlost šíření akustického signálu ale parametr Δt , který představuje časový rozdíl v příchodu akustického signálu mezi dvěma blízkými body (cca 30 cm od sebe) při průchodu horninou. Součástí sondy pro měření akustické karotáže je zdroj (nebo více zdrojů) akustického signálu a obvykle dva i více přijímačů (Kobr 1976; Pirson 1966).

Akustickou karotáž provádíme v nezapaženém vrtu, vyplněném kapalinou. Výplach slouží jako prostředí pro přenos akustického signálu od vysílače k hornině a zpět do přijímače.

Akustická karotáž se používá při studiu sedimentárních formací k identifikaci některých hornin podle pro ně charakteristických průběhových časů, pro stratigrafické korelace a zejména pro výpočet pórovitosti ve zpevněných horninách (Kobr 1976).

4.3.2 Stanovení pórovitosti písčito-jílovitých sedimentárních hornin z měření akustické karotáže

Základním předpokladem stanovení pórovitosti sedimentárních hornin z akustické karotáže je závislost rychlosti šíření seismických vln v hornině na její pórovitosti. To je způsobeno z velké části závislostí rychlosti šíření seismických vln na hustotě. Ve zpevněných sedimentárních horninách s pórovitostí p je intervalový čas Δt ($\Delta t = \frac{1}{v_p}$) průběhu podélné vlny střední veličinou času průběhu vlny objemem pevné matrice horniny a objemem kapaliny vyplňující pórový prostor podle vzorce (Pirson 1966):

$$\Delta t = p \Delta t_f + (1 - p) \Delta t_{ma} \quad , \text{kde} \quad 13$$

Δt_{ma} je konstanta udávající rychlost šíření akustického signálu v matici horniny

Δt_f je konstanta udávající rychlost šíření akustického signálu ve fluidu vyplňujícím póry

Vyjádřením pórovitosti p získáme rovnici:

$$p = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad 14$$

Tato závislost platí dosti přesně pro zpevněné horniny, méně přesná je v částečně zpevněných a jílovitých horninách. Na jílovitost a zpevnění hornin je nutné při výpočtu pórovitosti zavádět opravy (Pirson 1966).

Pro výpočty pórovitosti p z akustické karotáže je v této práci použit vztah zavádějící opravu na jílovitost (Hearst et al. 2000).

:

$$p = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} - V_{sh} \left(\frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \right) \text{ kde,} \quad 15$$

Δt je měřená hodnota akustické karotáže udávaná v $\mu\text{s.m}^{-1}$

Δt_{ma} je konstanta udávající rychlost šíření akustického signálu v matici horniny

Δt_f je konstanta udávající rychlost šíření akustického signálu ve fluidu vyplňujícím póry horniny

Δt_{sh} je konstanta udávající rychlost šíření akustického signálu v jílech

V_{sh} je jílovitost spočtená z gama karotáže

Na měření akustické karotáže může mít vliv také průměr vrtu. Pokud je průměr vrtu konstantní, tak nemá významný vliv na měření akustické karotáže. Negativní vliv na měření akustické karotáže mohou mít náhlé změny v průměru vrtu (kaverny), které mohou způsobit výskyt falešných anomálií- ostré výchylky na křivce akustické karotáže při spodním a horním okraji kaverny (Pirson 1966).

Běžné hodnoty času šíření akustického signálu v matici jsou 150 až 200 $\mu\text{s.m}^{-1}$, což odpovídá rychlosti 5000 až 6670 m.s^{-1} . Běžná hodnota doby šíření akustického signálu ve vodě je přibližně 630 $\mu\text{s.m}^{-1}$, to odpovídá rychlosti šíření akustického signálu 1587 m.s^{-1} . Pro účely výpočtů v této práci byla použita hodnota času šíření akustického signálu ve vodě 630 $\mu\text{s.m}^{-1}$. Běžná hodnota času šíření akustického signálu v jílech se

pohybuje kolem 330 až 350 $\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$, tedy rychlosti 2860 až 3030 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Pirson 1966; Halliburton Logging Services, Inc. 1991).

Pro měření AK na studovaných vrtech byly použity různé sondy. Vrt PU-4 byl měřen sondou BHC Sonic GOI, průměr 80 mm. Vrt MV-1 Mělnické Vtelno byl měřen sondami BHC Sonic GOI, průměr 80 mm, KAS 2-43, průměr 43 mm, PARUS 6, průměr 90 a 60 mm (Bulínová 1988; Vlasáková 1981).

Výsledky pórovitosti stanovené z AK dosahující nízkých hodnot 2,5-5 % jsou upraveny podle kvadratického vztahu $p_{opr.} = 2,5 + 0,0893 \cdot p + 0,082 \cdot p^2$. Výsledky pórovitosti stanovené z AK dosahující hodnot nižších než 2,5 % jsou opraveny na hodnotu 2,5 %.

Výsledná pórovitost vypočtená z AK je shlazená dvakrát klouzavým průměrem s délkou okna 21 bodů (2 m).

4.4 Neutron-neutron karotáž

4.4.1 Teoretické základy neutron-neutron karotáže

Základním principem metody je zpomalování nadtepelných neutronů produkovaných vloženým neutronovým zdrojem na tepelné neutrony v důsledku elastických srážek s jádry atomů v horninovém prostředí. Dominantně se zde uplatňují atomy vodíku. Rozhodujícím faktorem pro útlum intenzity neutronového záření je tedy celkový obsah vodíku v hornině, nezávisle na jeho formě výskytu (voda, uhlovodíky). Pro delší vzdálenosti detektoru od zdroje (více než 30 cm) hustota neutronového toku klesá téměř logaritmičtě s obsahem vodíku v hornině, proto je pórovitost úměrná logaritmu intenzity NNK (Pirson 1966; Kobr 1979). Toto platí i pro sondy neutronové karotáže použité ve studovaných vrtech. Horizontální dosah metody závisí na obsahu vodíku v hornině. Pro vrt průměru 150 mm je horizontální dosah v málo porézních horninách asi 60 cm a ve vysoce porézních horninách asi 20 cm (Pirson 1966).

Vertikální rozlišení NNK je dobré pro vrstvy 30 až 60 cm mocné (Pirson 1966). Měření neutron-neutron karotáže je významně ovlivněno průměrem vrtu. S rostoucím průměrem vrtu klesá intenzita neutronového záření zachycená detektorem v důsledku stínícího efektu výplachu. Místa s větším průměrem vrtu se projevují jako falešné zvýšení pórovitosti. Při výpočtu pórovitosti z NNK lze na průměr vrtu zavádět opravy. Pro měření

NNK jsou nejvhodnější tenké vrty (150 mm). Měření NNK téměř ztrácí rozlišovací schopnost, pokud je průměr vrtu větší než 250 mm (Pirson 1966).

Měřené hodnoty NNK také závisí na poloze sondy ve vrtu. Pokud je sonda tažena při stěně vrtu, měřené intenzity NNK jsou mnohem vyšší, než při poloze sondy ve středu vrtu. Stejná geometrie měření musí být zachována při kalibraci sondy i při terénním měření. (Pirson 1966). Data NNK zpracovávaná v této práci byla měřena v geometrii bez centralizace sondy.

Měření neutron-neutron karotáže může být ovlivněno také obsahem chlóru (Cl) ve vrtu. Chlór má vysoký účinný průřez pro záchyt neutronů. Vliv chlóru na měření NNK je spíše malý, ale roste s průměrem vrtu (Pirson 1966).

Významný vliv na křivku NNK mají vlastnosti studovaných hornin. Ideální je, pokud nedochází ke změnám v minerálním složení matrice horniny. V písčito-jílovitých sedimentech má významný podíl na celkovém obsahu vodíku v hornině voda pevně vázaná v jílových minerálech. Podle NNK nelze odlišit vodu pevně vázanou v jílových minerálech od vody volně se pohybující v pórovém prostoru, jejíž objem odpovídá při úplném nasycení horniny vodou sledované pórovitosti p . Při výpočtu pórovitosti p je na jílovitost sedimentů nutno zavádět opravu podle gama karotáže. Jílovitost se stanoví postupem popsaným v kapitole 4.2.2. Neutronová pórovitost p_N odpovídá součtu pórovitosti p a virtuální pórovitosti způsobené přítomností jílu (vztah 16). Sondy NNK jsou citlivé zvláště pro nižší pórovitosti do cca 15 %. Pro vyšší pórovitosti je útlum neutronového záření vysoký a rozlišení obsahu vodíku se snižuje (Pirson 1966; Kobr 1976).

$$p_N = p + (V_{sh} * p_{sh}) \quad 16$$

p_N je neutronová pórovitost [%]

p je pórovitost [%]

V_{sh} je jílovitost vypočtená z gama karotáže [%]

p_{sh} je ekvivalentní pórovitost (vlhkost) jílu

Konstanta p_{sh} se pohybuje zpravidla kolem 35-40 % (Kobr 1976)

4.4.2 Stanovení pórovitosti sedimentárních hornin z neutron neutron karotáže

Neutron neutron karotáž se měří v relativních jednotkách počtu impulzů za sekundu [imp.s⁻¹]. Absolutní měřené hodnoty závisí mimo jiné na intenzitě zdroje neutronů, citlivosti detektoru, konstrukci a geometrii sondy NNK. Každá sonda pro měření NNK tedy měří odlišné absolutní hodnoty intenzity neutronového záření, a proto je nutné každou

sondu kalibrovat. Kalibrace umožní přiřadit měřené četnosti impulsů odpovídající neutronovou pórovitost. Kalibraci je možné provádět na kalibrační základně na modelech vrtů se známou pórovitostí a různými průměry vrtu. Výsledkem kalibrace jsou potom kalibrační konstanty v kalibračním vztahu. Tento způsob kalibrace podrobně popisuje Kobr a Mareš (1979).

V případě zpracovávaných archivních dat se ukázalo, že tento postup není vždy možný. Kalibrační konstanty sond NNK byly k dispozici na dvou vrtech MV-1 Mělnické Vtelno a PU-4 Peruc. U ostatních zpracovávaných vrtů kalibrační konstanty sond NNK nebyly k dispozici. Srovnáním výsledků pórovitosti z NNK s výsledky laboratorního měření pórovitosti vzorků vrtného jádra bylo zjištěno, že stanovení pórovitosti s pomocí původních kalibračních konstant není spolehlivé.

Z důvodu nespolehlivosti kalibračních konstant a jejich jen částečné znalosti bylo přistoupeno ke způsobu kalibrace podle známé pórovitosti horninových vzorků vycházejícího z korelace mezi neutronovou pórovitostí a intenzitou NNK.

Kalibrace NNK je ztížena skutečností, že karotážní měření na hlubokých vrtech probíhá vždy po odvrtání jednoho úseku vrtu. Vrt je odvrtáván a měřen postupně po několika úsecích. Karotážní měření v jednotlivých úsecích tedy probíhá za mírně odlišných podmínek, jako jsou parametry výplachu, stupeň průniku filtrátu výplachu do horniny, průměr vrtu. Mezi měřeními NNK na jednotlivých úsecích jsou významné časové odstupy a měření neprobíhá v rámci jednoho vrtu vždy stejnou sondou. Proto musí být každý úsek vrtu kalibrován zvlášť.

Na hodnoty NNK byla aplikována oprava na průměr vrtu podle postupu (Mareš, Kružík 1970).

Změřené hodnoty četnosti impulsů NNK se násobí koeficientem k_d , pro který platí:

$$k_d = 1 + i * (d - 1,5) - j * (d - 1,5)^2, \text{ kde} \quad 17$$

$$i = 0,35$$

$$j = 0,1$$

d je průměr vrtu známý z kavernometrie [dm]

Výsledná opravená četnost impulsů NNK je:

$$NNK_{opr.} = NNK * k_d$$

jako NNK je dále označována již opravená hodnota

Kalibrace neutron-neutron karotáže podle korelace mezi neutronovou pórovitostí a intenzitou NNK byla provedena podle údajů pórovitosti z laboratorních analýz vrtného jádra a z údajů karotážních křivek NNK a GK. Pro neutronovou pórovitost p_N platí vzorec:

$$p_N = p + (V_{sh} * p_{sh}), \text{ ve kterém pro účel kalibrace:}$$

p_N je vypočtená neutronová pórovitost stanovená kombinací karotážních a laboratorních dat. [%]

p je laboratorně stanovená pórovitost na vzorcích vrtného jádra [%]

V_{sh} je jílovitost vypočtená z karotážní křivky GK [%]

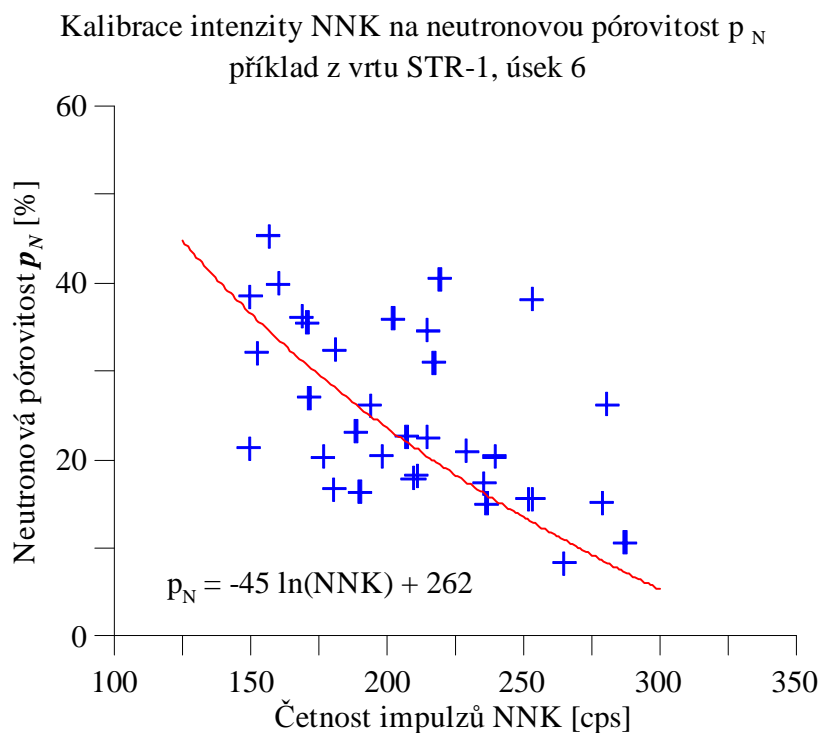
p_{sh} je konstanta udávající podíl vody v jílu zvolená 45 %

Bodové karotážní údaje jílovitosti V_{sh} a NNK v požadovaných metrážích h , kde je známa laboratorní pórovitost byly získány jako aritmetický průměr z karotážní křivky z hloubkového intervalu $\langle h-1; h+1 \rangle$ délky dva metry se středem v hloubce h . Vzorkování karotážních dat je 0,1 m. Jde tedy o aritmetický průměr z 21 hodnot.

Bodovými údaji korelačního diagramu (příklad na grafu 3) je proložena empirická logaritmická závislost neutronové pórovitosti p_N na četnosti impulzů NNK, která co nejlépe odpovídá bodovým údajům. Závislost má tvar:

$$p_N = A \log(NNK) + B \quad 18$$

Tato závislost slouží jako kalibrační křivka pro karotážní hodnoty NNK v příslušném úseku vrtu. Logaritmická funkce je proložena empiricky.



Graf 3 Korelační diagram mezi neutronovou pórovitostí a intenzitou NNK. Bodové údaje jsou získány s použitím laboratorních údajů pórovitosti. Červeně je vykreslena zjištěná kalibrační závislost.

Při výpočtu pórovitosti p z neutronové pórovitosti p_N se pórovitost získává odečtením vlivu jílovitosti podle vztahu:

$$p = p_N - (V_{sh} * p_{sh}) \quad 19$$

p_N je neutronová pórovitost vypočtená z NNK podle zjištěného kalibračního vztahu [%]

V_{sh} je jílovitost vypočtená z karotážní křivky GK [%]

p_{sh} je konstanta udávající podíl vody v jílu zvolená 45 %

Použitý způsob kalibrace neutron neutron karotáže je možný pouze při dostatečné znalosti pórovitosti vrtného jádra. Problematické je srovnání terénních karotážních dat s laboratorními údaji pórovitosti vzorků z vrtného jádra. Obě skupiny dat mají odlišnou reprezentativnost horninového masivu. Významnější chyby mohou být způsobeny rozdílem v hloubkovém údaji karotážního měření a hloubkou udávanou u vrtného jádra. Tento hloubkový rozdíl může být až první metry a může mít význam zejména při hranicích

vrstev. V používaném postupu kalibrace NNK se promítají chyby karotážního měření NNK, chyby stanovení jílovitosti z gama karotáže a také chyby laboratorního stanovení pórovitosti horninových vzorků. Výhodou tohoto způsobu kalibrace je částečné odstranění vlivu průměru vrtu, popřípadě dalších nežádoucích vlivů jako například přítomnosti chlórů.

Karotážní křivky intenzity NNK vykreslené v grafech v přílohách 1 až 5 jsou upravené do podoby spojitě křivky. Výpočty probíhaly z originálních dat, která jsou na hranicích vrtných úseků nespojitá.

Výsledky pórovitosti stanovené podle NNK dosahující nízkých hodnot 2,5-5 % jsou upraveny podle kvadratického vztahu $p_{opr.} = 2,5 + 0,0893 * p + 0,082 * p^2$. Výsledky pórovitosti stanovené z NNK dosahující hodnot nižších než 2,5 % jsou opraveny na hodnotu 2,5 %.

Výsledná pórovitost vypočtená z NNK je shlazená klouzavým průměrem s délkou okna 21 bodů (2 m).

4.5 Kavernometrie

Skutečný průměr vrtu d [mm] se může značně lišit od průměru použitého vrtného nástroje. Znalost skutečného průměru vrtu je důležitá pro interpretaci ostatních karotážních metod. Zvláště významný vliv má průměr vrtu na radiometrické karotážní metody NNK, GGK a na GK. Průměr vrtu je ovlivněn také mechanickými vlastnostmi hornin. Polohy pískovců se často vyznačují nízkým průměrem vrtu, díky vzniku jílovité kůrky na stěně vrtu i nižším než byl průměr použitého dláta. V polohách jílu často vznikají kaverny. Některé druhy bobtnavých jílu naopak zvětšují svůj objem až k neprůchodnosti vrtu (Kobr 1976).

4.6 Termometrie

Teplota ve vrtu hraje roli při stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody ze znalosti jejího iontového složení.

Měření teploty T [°C] ve vrtu slouží pro zjištění přirozeného regionálního tepelného pole Země. K tomuto účelu probíhá měření termometrie v ustáleném teplotním stavu vrtu několik týdnů až měsíců po odvrtání. Z křivky termometrie lze stanovit geotermický gradient a tepelný tok. Změny geotermického gradientu jsou způsobené změnou tepelného odporu hornin, který závisí na litologii (Kobr 1976).

Anomálie na křivce termometrie mohou být způsobeny přítokem vody do vrtu. Rozdíly v teplotě přitékajících vod a výplachu vytvoří na křivce termometrie kladnou nebo zápornou anomálii určující místo přítoku do vrtu (Kobr 1976).

4.7 Měření potenciálu spontánní polarizace

Spontánní potenciál ve vrtu může vznikat z několika příčin, jeho velikost dosahuje jednotek až stovek mV. V písčito-jílovitém profilu jsou významné zejména potenciály adsorbční a difuzní. Méně významné pro studium písčito-jílovitých profilů jsou potenciály filtrační, vznikající jako důsledek filtrace výplachu porézním prostředím a potenciál oxidačně-redukční vznikající pouze v přítomnosti elektronového vodiče jako důsledek oxidačně-redukčních procesů.

Difuzní potenciál E_d vzniká následkem různé pohyblivosti iontů Cl^- a Na^+ na kontaktu dvou elektrolytů s různou koncentrací (výplach a vrstevní voda).

Adsorbční potenciál E_a vzniká v důsledku vlastnosti jílu propouštět kationty a vázat anionty.

Celkový rozdíl potenciálů E_s , který měříme ve vrtu na kontaktu jílu a pískovce za předpokladu neexistence elektrického proudu ve výplachu je dán součtem (Kobr 1976):

$$E_s = E_a + E_d = -70.7 \log \frac{R_{mf}}{R_w}, \text{ kde} \quad 20$$

R_{mf} je měrný elektrický odpor filtrátu výplachu

R_w je měrný elektrický odpor vrstevní vody

Rozdíl potenciálů E_s je relativní veličina. Měřenou křivku spontánní polarizace pokládáme na nulovou hodnotu oproti nepropustným vrstvám (jílům), kde nedochází ke vzniku difuzních a adsorbčních potenciálů. Oproti propustné vrstvě dosahuje křivka SP záporných hodnot velikosti řádově desítek mV za podmínky, že $R_{mf} > R_w$.

Pro dosažení kvalitních výsledků měření metody SP je nutný dostatečný rozdíl v mineralizaci výplachu a vody ve vrstvě (Pirson 1966). Měření SP je tedy vhodné pouze do sedimentárních formací s vyššími obsahy rozpuštěných iontů. Ve studovaném území tuto podmínku nesplňují sedimenty české křídové pánve. V sedimentech karbonských pánví jsou mineralizace vrstevních vod vysoké, a proto lépe vyhovují podmínkám pro měření SP.

4.8 Gama-gama karotáž v hustotní modifikaci

Základním principem metody je měření intenzity gama záření rozptýleného horninami během jejich ozařování izotopickým zdrojem gama záření. Sonda pro měření gama-gama karotáže obsahuje izotopický zdroj gama záření a detektor pro detekci gama kvant. Zdroj a detektor jsou od sebe odstíněny, aby do detektoru dopadala pouze gama kvanta odražená v hornině. Hustotní modifikace pracuje v oblasti energií vyšších než 0,5 MeV, kde je dominantní jev interakce gama kvant s hmotou Comptonův efekt. Rozhodujícím faktorem pro útlum intenzity gama záření v oblasti Comptonova jevu je elektronová hustota prostředí, což v horninovém prostředí odpovídá objemové hustotě (Kobr 1976; Pirson 1966).

Gama-gama karotáž se měří v relativních jednotkách počtu impulzů za sekundu [imp.s⁻¹]. Absolutní měřené hodnoty závisí mimo jiné na intenzitě zdroje gama záření, citlivosti detektoru, konstrukci a geometrii sondy GGK. Každá sonda pro měření GGK tedy měří odlišné absolutní hodnoty četnosti impulzů. Pro stanovení objemové hustoty z GGK je nutné každou sondu kalibrovat. Kalibrace umožní přiřadit měřené četnosti impulzů odpovídající objemovou hustotu. Kalibrace se provádí pomocí etalonových hornin o známé hustotě ve stejné geometrii měření, jako při měření ve vrtu. Metoda se používá pro studium litologie, objemové hustoty hornin a ke stanovení pórovitosti (Kobr 1976; Pirson 1966).

Pórovitost lze v příznivých podmínkách teoreticky stanovit ze znalosti objemové hustoty z GGK, mineralogické hustoty matrice, hustoty fluida a v případě jílovitých hornin i jílovitosti a mineralogické hustoty jílu. Mineralogické hustoty matrice horniny a jílu musejí zůstat ve studované formaci konstantní. Z výsledků zpracování laboratorních dat ze čtyř zpracovávaných vrtů je patrné, že mineralogická hustota sedimentárních hornin v karbonu není konstantní, patrně se mění se zrnitostí sedimentů (viz graf 9).

Základním předpokladem pro přesné měření GGK je stálá vzdálenost sondy od stěny vrtu. Tomu napomáhá pružina přitlačující sondu ke stěně vrtu. Významným zdrojem chyb měření jsou nerovnosti na stěně vrtu a změny v průměru vrtu (Pirson 1966).

Na studovaných strukturních a průzkumných uhelných vrtech byla gama-gama karotáž měřena k vydělení slojí kamenného uhlí. Kamenné uhlí má výrazně nižší hustotu než okolní horniny 0,8 – 2,0 g.cm³. Uhlenné vrstvy se na křivkách GGK projevují jako ostré anomálie vysokých hodnot intenzity GGK (Kobr 1976).

Vzhledem k tomu, že na studovaných vrtech byla měřena GGK s hrubým rozlišením s účelem identifikace uhelných poloh s nedokonalou geometrií měření bez přitlačné pružiny, nelze tuto metodu použít ke spolehlivému stanovení pórovitosti hornin.

4.9 Stanovení litologie zpracovaných vrtů

Litologický profil zpracovaných vrtů (přílohy 1-5) byl vytvořen podle údajů karotážního měření (Vlasák 1983; Chochlíková 1983; Vlasáková 1981; Bulínová 1984; Bulínová 1988) a podle geologického popisu jádra vrtu (Chaloupský et al. 1984; Holub at al. 1984; Žbánek et al. 1991; Žbánek 1988; Klener 1983). Litologické hranice byly stanoveny podle karotážních metod. Litologie hornin je stanovena podle údajů z karotáže i podle údajů z podrobného petrologického popisu vrtného jádra.

5 Fyzikální vlastnosti horninových vzorků

5.1 Metodika zpracování laboratorních dat

Ve zprávách geofyziky n.p. Brno jsou posuzovány výsledky jednotlivých fyzikálních parametrů vzorků vrtného jádra podle grafu závislosti fyzikálních vlastností hornin na hloubce. Zpracovány jsou vždy výsledky z jednoho vrtu. Průběh fyzikálního parametru ze vzorků je zhlazen nízkopropustným filtrem a proložen empirickou křivkou. Jsou stanoveny úseky, které se vyznačují stálým nepřerušným průběhem a od sebe odděleny skokem. Místa, kde dochází ke skoku v průběhu fyzikálního parametru s hloubkou jsou považovány za fyzikální hranice. Takto zjištěné fyzikální hranice nabývají na významu, opakují-li se u více fyzikálních parametrů. Oprávněnost stanovených úseků je ověřována pomocí statistických testů (Uhmann 1983; Uhmann 1984; Píchová 1983; Mitevová, Píchová 1989).

V této práci bylo zpracování výsledků měření fyzikálních parametrů hornin na vzorcích vrtných jader statisticky zpracováno odlišným způsobem. Horninové vzorky ze všech čtyř vrtů byly roztrženy do 16 skupin. Zvlášť jsou posuzovány sedimenty křídové a karbonské. Pět horninových typů jsou horniny vyvěřelé a metamorfované. Celkový přehled rozdělení sedimentů do skupin podle litologie je v tabulce 5. Rozdělení sedimentů do 16 skupin proběhlo podle makroskopického petrologického popisu vrtného jádra.

Tabulka 5 Rozdělení horninových vzorků do skupin podle litologie.

Křídové sedimenty		Karbonské sedimenty		Vyvěřeliny a metamorfity	
1	Slínovec	7	Aleuropelit	12	Dolerit
2	Jílovec	8	Pískovec jemnozrnný	13	Melafyr
3	Prachovec	9	Pískovec střednozrnný	14	Ryolit
4	Prachovec vápnlitý a písčité	10	Pískovec hrubozrnný a slepenec	15	Fylit, svor, břidlice
5	Pískovec křemité s příměsemi	11	Pelokarbonát	16	Zelená břidlice
6	Pískovec křemité				

Ke znázornění velkého množství dat laboratorních měření fyzikálních vlastností hornin byly použity krabicové diagramy (graf 4-14), na kterých jsou vyznačeny medián, první a třetí kvartil. Svislé úsečky krabicových diagramů, které leží vně krabice zasahují do vzdálenosti maximálně 1,5 násobku mezikvartilového rozpětí. Odlehlé hodnoty jsou znázorněny křížkem. Některé výrazně odlehlé hodnoty jsou v grafech zanedbány.

Dále byly studovány vztahy mezi některými fyzikálními parametry hornin navzájem a závislosti těchto vztahů na litologickém typu horniny. K tomuto účelu byly použity korelační diagramy (graf 15-19).

Dále byly stanoveny průměrné hodnoty dávkového příkonu gama záření hornin ve vrtu D [$\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$] vyvolaného jednotlivými radioaktivními prvky pro jednotlivé typy sedimentárních hornin (graf 20). Průměrné účinky jednotlivých radioaktivních prvků jsou vypočteny ze spektrometricky zjištěných koncentrací K, U, Th podle přepočtených koeficientů koncentrací K, U, Th na dávkový příkon gama záření. Lovborg (1984) udává přepočtení koeficienty pro výpočet dávkového příkonu gama záření ve vzduchu ve výšce 1 m nad rovinným povrchem homogenního nekonečného horninového prostředí o jednotkové koncentraci K, U, Th. Pro účely výpočtu dávkového příkonu gama záření ve vrtu (geometrie 4II) byly tyto koeficienty vynásobeny dvěma.

Tento způsob zpracování si klade za cíl analyzovat fyzikální vlastnosti hornin v závislosti na jejich litologickém typu stanoveném podle makroskopického geologického popisu. Předmětem zájmu jsou obecné závislosti fyzikálních vlastností hornin na litologii. Makroskopický geologický popis vzorků vrtného jádra je do jisté míry subjektivní. Předpokladem tohoto způsobu zpracování údajů je statistické chování velkého množství studovaných dat.

5.2 Laboratorní metody stanovení fyzikálních parametrů na vzorcích hornin

Objemová a mineralogická hustota byly stanoveny s pomocí metody trojího vážení

- na vzduchu s prázdnými póry
- s póry naplněnými měrnou kapalinou v kapalině
- s póry naplněnými měrnou kapalinou na vzduchu

Pro měření hmotnosti byly použity digitální váhy s citlivostí 0,01-0,005 g/díl (Uhmann 1983).

Rychlost šíření podélných elastických vln byla stanovena metodou prozařování. Pro měření byl použit ultrazvukový seismoskop EMA (konstruktér Z. Pros, GÚ ČSAV Praha) s citlivostí čtení času 0,01 ms (Uhmann 1983).

Magnetická susceptibilita byla měřena metodou střídavého pole s amplitudou 80 A.m⁻¹) pomocí střídavého indukčního mostu KLY-1 (ÚGF Brno) s citlivostí 4.10⁻⁸ SI (Uhmann 1983).

Úhrnná gama aktivita, gama spektrometrie K, U a Th byla měřena metodou scintilační detekce krystalem NaI(Tl) pomocí gamaspektrometru NTA-512, výrobce KFK 1 Budapešť (Uhmann 1983).

Střední chyby stanovení jednotlivých parametrů jsou uvedeny v tabulce 6 (Uhmann 1983). Uvedené údaje jsou převzaty ze zprávy Fyzikální vlastnosti hornin vrtu Strachaly-1.

Tabulka 6 Střední chyby měření laboratorních metod (Uhmann 1983).

Střední chyba měření	
Objemová a mineralogická hustota	± 0,003 kg.dm ³
Pórovitost	± 0,2 %
Rychlost šíření podélných elastických vln	± 0,01 km.s ⁻¹
Úhrnná gama aktivita	± 0,2 ppm Uekv.
Obsah K	± 0,3 %
Obsah U	± 0,5 ppm
Obsah Th	± 0,5 ppm
Magnetická susceptibilita	± 1,9.10 ⁻⁶ SI

6 Stratigrafický a litologický popis vrtů a přehled použitých výpočetních konstant

6.1 Vrt DB-1, Dolní Bousov

6.1.1 Litologie a stratigrafie vrtu DB-1

Vrt DB-1 se nachází 1 km severně od obce Dolní Bousov. Území Dolního Bousova spadá do jednotky severočeské křídové pánve v jejímž podloží se zde nalézají karbonské sedimenty mnichovohradištské pánve. Svrchní křída na povrchu v okolí Dolního Bousova patří k stratigraficky vyšším jednotkám svrchního turonu a coniacu. Litofaciálně leží území téměř ve středu oblasti pískovcového jizerského vývoje. Mocnost křídových sedimentů dosahuje 504 m. Vrt byl zaměřen na průzkum permokarbonských sedimentů s důrazem na průzkum kamenného uhlí. Mocnost permokarbonu dosahuje 845 m. Kladenské souvrství není vyvinuto (Chaloupský et al. 1984).

KARBON

Permokarbon byl ve vrtu zastižen v hloubce 504-1346 m. Úklony vrstev na vrtu se pohybují mezi 5° až 16° (Chaloupský et al. 1984).

TÝNECKÉ SOUVRSTVÍ

V úseku 1114-1148 m převládají aleuropelity zelenošedého a fialovošedého zbarvení s četnými sideritovými a kalcitovými konkracemi.

Úsek 1148-1205 převládají červenohnědé aleuropelity s významnějšími polohami slepenců v metrážích 1148-1154,5 m a 1173-1178 m.

Úsek 1205-1345,7 představuje nepravidelné střídání převážně červenohnědých aleuropelitů s fialovohnědými až fialovošedými pískovci a slepenci. Sedimentace se střídá v intervalech několik decimetrů až 10 m. Psefity a psamity jsou málo vytříděné, převládají drobnozrné až brekciovité slepence. Materiálem valounů je převážně křemen, obsažen je také kvarcit, zelený fylit a bulžník. Při bázi asi od 1339 m jsou uloženy polohy brekcií s jílovitou základní hmotou s úlomky křemene a fylitu zřejmě pocházející z podloží karbonu (Chaloupský et al. 1984).

JELENICKÉ VRSTVY

Úsek 1059,5-1114 m představuje nepravidelně cyklicky stavěné uhlonosné souvrství. Na bázi cyklů jsou pískovce někdy arkózové, řídké s příměsí valounů. Ve svrchní části cyklů může být několik decimetrů mocná vrstva uhelných jílovců nebo uhlí. Aleuropelity jsou až na výjimky šedého zbarvení. Na bázi jelenických vrstev je 18 m mocná poloha hrubozrnné kaolonické arkózy (Chaloupský et al. 1984).

MŠECKÉ VRSTVY

Úsek 1044,7-1059,5 je reprezentován typickými černošedými jílovcí mšeckého typu. Přítomny jsou vrstvičky tonsteinů. Spodní hranice úseku je ostrá (Chaloupský et al. 1984).

OTRUBSKÉ A HŘEDELSKÉ VRSTVY

V úseku 897,4-963,3 m se vyskytují šedé prachovce, s přechody do prachovitých jílovců nebo prachovitých pískovců. Běžná je zuhelnatělá rostlinná drť. V metráži 904-916 m se nachází litologicky odlišná poloha arkózových pískovců až arkóz. V metráži 953-963,3 m se nachází poloha středně zrnitých arkózových pískovců při bázi ostře ohraničená.

V úseku 963,3-1044,7 m se vyskytují černošedé laminované jílovce až prachovce s vrstvičkami prachovitých pískovců (Chaloupský et al. 1984).

LÍŇSKÉ SOUVRSTVÍ

V úseku 504-694 m celkově převládají aleuropelity červenohnědého nebo pestrého zbarvení. Místy (521-535, 582-585 m) se střídají s jemnozrnnými nebo prachovitými pískovci. V metráži 634-639,5 m se nachází poloha středně až hrubě zrnitých z části kaolinizovaných arkóz.

V úseku 694-728 m převládají hrubší klastika, středně a hrubě zrnité červenohnědé pískovce s přechody až do drobnozrnných slepenců. Zrnitostní složení je polymiktní, zrna jsou málo opracovaná.

V úseku 728-868 m převládají červenohnědé a pestré aleuropelity často vápnité s tufitickou příměsí. Přítomné jsou polohy prachovitých jemnozrnných pískovců a písčitých prachovců.

V úseku 868-897,4 m se nacházejí hrubozrnné arkózy v metráži do 885 m. Zbytek úseku tvoří červenohnědé aleuropelity střídající se s jemnozrnnými pískovci (Chaloupský et al. 1984).

SLADKOVODNÍ CENOMAN (PERUCKÉ VRSTVY)

Uloženiny tohoto souvrství dosahují poměrně značné mocnosti 40 m. Litologicky jsou značně variabilní. Sedimenty cenomanu nasedají na starší sedimenty v hloubce 504 m. Ve spodní části souvrství (504-495 m) se v tenkých vrstvách cyklicky střídají sedimenty od hrubozrnných a jemnějších písčitých uloženin až do jílovců. V hloubce 495 m ostře nasedají převážně písčité uloženiny (478-495 m). V nejvyšší části peruckých vrstev (463-478 m) se střídají jemnozrnné pískovce, prachovce a jílovce. Hranice s nadložními korycanskými vrstvami je ostrá (Chaloupský et al. 1984).

MOŘSKÝ CENOMAN (KORYCANSKÉ VRSTVY)

V bazální části (460-463 m) se nacházejí málo mocné hrubě zrnité pískovce a nad nimi jemnozrnné pískovce až prachovité jílovce. V intervalu 440-460 m se nacházejí jemnozrnné pískovce bez glaukonitu. V metrážích 426-440 m jsou vyvinuty fukoidové pískovce s glaukonitem. V nejvyšší části cenomanu patřící plenusové zóně (415-426 m) jsou v převaze jemně písčité prachovce, při vrchu vápnité s glaukonitem (Chaloupský et al. 1984).

TURON

Turonské sedimenty jsou oproti cenomanským výrazně pelitické. Litologická hranice vůči cenomanu je ostrá. Sedimentace spodního turonu (380-415 m) je tvořena slínitými jílovcí. Střední turon (380-141 m) představuje nejmenší celek křídý v bousovském profilu. Ve spodní části se nachází monotónní vývoj slínovců. V metráži od 230 m výše se objevuje prachovitá a výše i písčitá příměs. Od 166 m výše se objevují silněji vápnité konkrecionální útvary. Přejítí sedimentace do svrchního turonu (20,5-141 m) se vyznačuje zřetelným poklesem vápnitosti, usazují se prachovité vápnité jílovce, prachovitá příměs mizí zhruba od 136 m výše (Chaloupský et al. 1984).

CONIAC

Sedimenty coniacu tvoří nejvyšší jednotku zastiženou vrtem (0- 20,5 m). Pelitická sedimentace vápnitých jílovců s prachovitou příměsí pokračuje bez patrnějších změn až do

nejvyšších částí profilu vrtu. Stratigrafická hranice je vedena podle výskytu mikrofauny (Chaloupský et al. 1984).

6.1.2 Výpočetní konstanty pro vrt DB-1

V tabulce 7 jsou uvedeny použité hodnoty konstant pro výpočty jílovitosti z gama karotáže. V tabulce 8 jsou údaje měrného elektrického odporu vrstevních vod. Hodnoty měrného elektrického odporu vrstevních vod byly určeny z chemických rozborů odebraných vzorků vrstevních vod ve čtyřech úsecích vrtu (Chaloupský et al. 1984). V úsecích, které nebyly testovány, byly použity hodnoty získané lineární interpolací mezi testovanými úseky.

Tabulka 7 Hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z GK ve vrtu DB-1

Úsek		GK [nGy.h ⁻¹]
Křída	GK _p	45
	GK _j	160
Líňské souvrvství	GK _p	60
	GK _j	300
Slánské souvrvství	GK _p	80
	GK _j	350
Týnecké souvrvství	GK _p	50
	GK _j	230

Tabulka 8 Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu DB-1 (Chaloupský et al. 1984).

Úsek [m]	R _w [Ωm] při 18 °C
426-500	55
686-749	0.22
869-965	0.13
1030-1440	0.12

6.2 Vrt STR-1, Strachaly

6.2.1 Litologie a stratigrafie vrtu STR-1

Vrt St-1 se nachází na východním okraji obce Strachaly dvacet km východně od Litoměřic. Území obce Strachaly spadá do jednotky severočeské křídové pánve v jejímž podloží se zde nalézají karbonské sedimenty mšensko-roudnické pánve. Svrchní křída na povrchu v okolí Strachal patří k jednotkám svrchního turonu. Mocnost křídových sedimentů dosahuje 280 m. Mocnost permokarbonu dosahuje 995 m. Značnou mocnost (798 m) zaujímá líňské souvrství, to svědčí o intenzivní subsidenci v tomto období. Mocnosti tří starších souvrství jsou naopak redukováné (celkem 197 m), ukládali se pravděpodobně v blízkosti elevace předkarbonského reliéfu blízko okraje sedimentačního prostoru (Klener 1983).

KLADENSKÉ SOUVRSTVÍ

Úsek 1245,9-1276,6 m představuje redukovaný sled kladenského souvrství, pravděpodobně náležející nejvyšší části nýřanských vrstev. Souvrství je z velké části tvořeno hrubými klastiky, pískovci, slepenci a brekciemi, v menším dílu jsou zastoupeny prachovce. Ve slepencích a zejména v bazální brekcii jsou hojně zastoupeny horniny podložního proterozoika. Sedimenty jsou zbarvené v šedých odstínech (Klener 1983).

TÝNECKÉ SOUVRSTVÍ

Týnecké souvrství se nachází v úseku 1216,7-1245,9 m. V souvrství se střídají polohy slepenců, pískovců a prachovců. Prachovce jsou převažující. Ve slepencích a pískovcích jsou hojná zrna hornin z podloží karbonu. Zbarvení sedimentů je z větší části červenohnědé, směrem do nadloží a podloží přechází do šedého zbarvení. Horniny jsou nevápnité (Klener 1983).

JELENICKÉ VRSTVY

Jelenické vrstvy se nacházejí v úseku 1168,5-1216,7 m. Litologicky výrazně převládají středně až hrubě zrnité slepence s polohami brekcií nad pískovci a prachovci. Valouny slepenců jeví známky nízkého opracování, silně převládá křemen (Klener 1983).

MŠECKÉ VRSTVY

V úseku 1140-1168,5 m jsou vyvinuty mšecké vrstvy ve vývoji známém z mšecké pánve v nadprůměrné mocnosti. Litologicky se jedná o šedočerné jílovce s tenkými vložkami argilitizovaných nebo karbonatizovaných tufů, jejichž množství roste směrem k bázi (Klener 1983).

HŘEDELSKÉ VRSTVY

V úseku 1105-1140 m se vyskytují v typickém vývoji hředelské vrstvy. Ve svrchní části jsou zastoupeny pískovce, celkově však převládají aleuropelity. Ve svrchní části převládají prachovce, směrem k počvě se postupně uplatňují jílovce a tufy. Barva sedimentů je šedá, zastoupena je rostlinná drť (Klener 1983).

LEDECKÉ VRSTVY

Úsek 1099,8-1105 m pravděpodobně představuje analogii ledeckých vrstev. Litologicky jde o arkóзовé pískovce (Klener 1983).

KOUNOVSKÉ A KAMENOMOSTECKÉ VRSTVY

Kamenomostecké a kounovské vrstvy se nacházejí v metráži 1079-1099,8 m. Jejich sedimentace je cyklická, jsou zastoupeny slepence, středně zrnité pískovce písčité a jílovité prachovce i jílovce. Barva sedimentů je šedá v různých odstínech (Klener 1983).

LÍŇSKÉ SOUVRSTVÍ

Nejvyšší část líňského souvrství (282-666,5 m) lze charakterizovat jako monotónní souvrství aleuropelitů. Převládají vápnité prachovce s přechody do písčitých a jílovitých prachovců až prachovitých jílovců. Přítomny jsou také málo mocné polohy pískovců, mocnější poloha pískovce je v metráži 323-335 m. Zbarvení sedimentů je převážně hnědočervené. Sedimenty celého souvrství jsou vápnité. Vápnitost se k bázi poněkud snižuje. Ve svrchní části souvrství až do hloubky okolo 503 m jsou v aleuropelitech hojné vápencové konkrce.

V úseku 666,5-727,1 m se nachází převážně ve svrchní části šedé a ve spodní části pestré aleuropelity. Podíl prachovců a jílovců je zhruba stejný. Šedé horniny jsou převážně nevápnité, často impregnovány pyritem. Od hloubky přibližně 710 m se objevuje silnější vápnitá složka i vápnité konkrce. Pískovce jsou zastoupeny podružně do 15 %.

V úseku 727,1-844,7 m převládají hnědočervené pískovce a slepence. Sedimentace je tvořena rychle se střídajícími cykly slepenec-pískovec-prachovec, nebo slepenec-pískovec. Horniny jsou převážně nevápnité. Pískovce jsou převážně středně zrnité. Slepencový komplex v hloubce cca 776-797 m je ve spodní části proniknut pravými žilami silně alterované trachytické až trachybazaltické vyvřeliny. Úsek představuje nejmocnější kolektorský komplex v permokarbonu vrtu STR-1.

Úsek 844,7-911,5 m se výrazně odlišuje od nadloží i podloží převládajícím šedým zbarvením. V úseku jsou obdobným množstvím zastoupeny aleuropelity a pískovce. Pískovce jsou vesměs středně zrnité. Slepence jsou zde v jediné poloze 881-884 m. V hloubce cca 850 m se nachází ostrá anomálie zvýšené radioaktivity související nejspíše s polohou uhelného jílovce. V úseku 860-880 m je větší zastoupení tufogenního materiálu.

Báze úseku 911,5-1079 m je tvořena erozní hranicí a polohou drobnozrného slepence. Zbarvení sedimentů je hnědofialové. Podíl aleuropelitů a pískovců v úseku je obdobný. Slepence se objevují jen ve spodní třetině úseku. V úseku se vyskytují vápnité konkrce, není zde přítomna tufogenní příměs (Klener 1983).

SLADKOVODNÍ CENOMAN (PERUCKÉ VRSTVY)

Uloženiny peruckých vrstev se nacházejí v intervalu 272-282 m. Jsou reprezentovány rezavohnědými prachovitými i písčítými jílovci (Klener 1983).

MOŘSKÝ CENOMAN (KORYCANSKÉ VRSTVY)

Mořské usazeniny cenomanu se nacházejí v metráži 206-272 m. V intervalu 237-272 m jsou uloženy štěrčíkovité až jemnozrné prachovité pískovce. Nadložní pískovce 218-237 jsou jemnozrné prachovité bioglyfové pískovce. Sedimentace cenomanu je zakončena písčítým ekvivalentem plenus zóny, jde o pískovce postupně přecházející do nadloží do prachovců (Klener 1983).

TURON (BĚLOHORSKÉ A JIZERSKÉ SOUVRSTVÍ)

Sedimenty turonu se nacházejí v metráži 2-206 m. V úseku 150-206 m jsou uloženy písčito-prachovité slínovce, které postupně do nadloží přecházejí do prachovců a pískovců. V úseku 2-150 m převládají prachovité pískovce s výskytem písčítých prachovců. Odlišná je poloha křemenného kvádového pískovce v metráži 81,5-87 m (Klener 1983).

6.2.2 Výpočetní konstanty pro vrt STR-1

V tabulce 9 jsou uvedeny použité hodnoty konstant pro výpočty jílovitosti z gama karotáže. V tabulce 10 jsou údaje měrného elektrického odporu vrstevních vod. Údaje o měrném elektrickém odporu vrstevních vod v cenomanu a turonu byly určeny podle výsledků chemických rozborů vod z blízkého hydrogeologického vrtu HV-23 (Šula 1968). Údaj o mineralizaci vod v karbonských sedimentech je znám ze závěrečné zprávy Strukturální vrt Strachaly (Klener 1983). Mezi testovanými úseky byly hodnoty měrného elektrického odporu vrstevních vod interpolovány. Ve vrtu STR-1 nejsou k dispozici data karotážního měření termometrie. Pro přepočítání měrného elektrického odporu vrstevní vody v závislosti na změně teploty s hloubkou byla uvažována teplota ve vrtu měnící se lineárně od 10 °C na povrchu do 50 °C při počvě vrtu.

Tabulka 9 Hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z GK ve vrtu Strachaly.

Úsek		GK [nGy.h ⁻¹]
Křída	GK _p	30
	GK _j	200
Líňské souvrství	GK _p	30
	GK _j	200
Kladenské až slánské souvrství	GK _p	60
	GK _j	300

Tabulka 10 Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu Strachaly (Klener 1983; Šula 1968).

Úsek [m]	R _w [Ωm] při 18 °C
cenoman	18
turon	35
karbon	0.16

6.3 Vrt Vf-1, Volfartice

6.3.1 Litologie a stratigrafie vrtu Vf-1

Vrt Vf-1 se nachází na východním okraji obce Volfartice 10 km východně od Benešova nad Ploučnicí. Území Volfartic se nachází v ssz okrajové části sedimentačního prostoru české křídové pánve. Sled křídových sedimentů dosahuje vysoké mocnosti 885 m. Podstatná část křídového profilu je v písčitém vývoji. V podloží křídy se nalézají karbonské sedimenty českokamenické pánve, faciálně náležející k lugickému typu. Výplň českokamenické pánve je tvořena komplexem klastických kontinentálních a vulkanoklastických uloženin a vulkanitů ryolitového a andezitového typu, stratigraficky náležejícímu líňslému souvrství (Holub et al. 1984).

LÍŇSKÉ SOUVRSTVÍ

V úseku 881-1014 m je zastížen ryolitový komplex. Jde převážně o horniny ignimbritového charakteru, ve spodní části o ryolitové tufy. Nejvyšší část komplexu je fosilně zvětrána.

V úseku 1014-1050 m leží souvrství červených a pestrých pískovců, podřadněji aleuropelitů a ojedinele i slepenců. Hojná je tufogenní příměs, místy jsou souvislé polohy pyroklastik, které zachycují začátek ryolitového vulkanismu.

V úseku 1050-1155 převládají vápnité jílovce, místy s prachovitou příměsí. Místy se vyskytují i vložky prachovců až jemnozrnných pískovců. Písčité složky přibývá směrem do podloží. V aleuropelitech se vyskytují karbonatické konkrce, místy je přítomna tufogenní příměs. Ve svrchní části úseku převládá červenohnědé zbarvení, ve spodní části převládají šedohnědé odstíny.

V úseku 1155-1239 m se střídají obvykle šedé vápnité jílovce a prachovce s polohami šedobílých jemnozrnných pískovců a tmavošedých jílovců s rostlinnou či bitumenní příměsí. Vyskytují se polohy pelokabonátů, vulkanoklastik, silicitové a kalcitické konkrce. Od hloubky 1215 převládá červenohnědé zbarvení. Ve spodní části se více uplatňují pískovce a také slepence.

Úsek 1239-1265 m představuje sedimentační cyklus s pozitivní gradací. Ve svrchní části se nacházejí šedé pískovce a prachovce, obvykle vápnité s konkrceci kalcitu a silicitu. Směrem k bázi přibývá pískovců, v nejnižší části převládají slepence. Přítomny jsou vložky ryolitových tufů.

Úsek 1265-1288,5 m představuje souvrství zelenošedých a fialově hnědých prachovců, pískovců až drobnozrnných slepenců s polohami vulkanoklastik ryolitového charakteru.

V úseku 1288,5-1341 m se střídají pískovce a slepence s vložkami červenofialových prachovců a jílovců.

V úseku 1341-1360 m převažují jemnozrnné pískovce a písčité prachovce. Podřadně jsou zastoupené hrubozrnnější klastika, a tmavošedé jílovce.

Úsek 1360-1407 m tvoří aleuropelity, převážně písčité vápnité prachovce. Přítomny jsou vložky tufogenních hornin ryolitového složení, kalcitické a silicitové konkrce. Zbarvení je ve svrchní části červenohnědé, ve spodní části šedé.

Úsek 1407-1455 m představuje pestré souvrství většinou písčitých aleuropelitů s tufogenními polohami andezitového charakteru. Přítomny jsou karbonatické konkrce. Při bázi se nacházejí arkózové pískovce a slepence s valouny trachyandezitů podložního komplexu.

V úseku 1455-1486 m je zastížen komplex vulkanitů a vulkanoklastik andezitového složení. Jde o porfyrické andezity s mandlovcovou texturou.

Úsek 1486-1507,5 m představuje litologicky i barevně pestré souvrství slepenců, pískovců a aleuropelitů. Ve svrchní části převládají psefity a psamity s vulkanoklastickou příměsí andezitového složení, ve spodní části aleuropelity s kalcitickými konkrkami (Holub et al. 1984).

CENOMAN (KORYCANSKÉ VRSTVY)

Zastoupeny jsou pouze korycanské vrstvy (818-881 m). Litologicky jsou tvořeny monotónní sedimentací marinních hrubozrnných křemenných méně až slabě jílovitých pískovců. Místy je zvýšený podíl kaolinizovaných živců (kolem 5%).

U stropu souvrství se nachází poloha (818-841 m) homogenních šedých slínitých prachovců až prachovitých slínovců, tvořící hranici mezi psamity cenomanu a turonu.

Před sedimentací pískovců cenomanu zřejmě došlo k redepozici zvětralinového pokryvu podložních ryolitových ignimbitů. Textura zvětralinového profilu vykazuje sedimentární znaky (Holub et al. 1984).

BĚLOHORSKÉ SOUVRSTVÍ

Bělohorské souvrství se nachází v metráži 725,5-818 m. Ve spodní části je tvořeno jemnozrnnými jílovito-prachovitými pískovci, jejichž zrnitost roste směrem do nadloží.

Převážnou část souvrství tvoří křemenné středně až hrubě zrnité pískovce, většinou silicifikované s drobnozrnnou psefitickou křemennou frakcí (Holub et al. 1984).

JIZERSKÉ SOUVRSTVÍ

Jizerské souvrství (450-725,5 m) se v celém svém profilu vyznačuje písčítým vývojem. Zrnitost pískovců je proměnlivá, zastoupeny jsou jemnozrnné, středně zrnité i hrubozrnné typy. Jemnozrnné pískovce jsou někdy jílovito-prachovité. V nejvyšší části souvrství jsou časté silně kalcifikované polohy (Holub et al. 1984).

TEPLICKÉ A BŘEZENSKÉ SOUVRSTVÍ

Teplické a březenské souvrství se nacházejí v úseku 5,5-450 m. Souvrství od sebe nelze odlišit.

V úseku 5,5-317 m se nachází tzv. flyšoidní facie. Sedimentace je tvořena vápnito-jílovitými zčásti jemně písčítými prachovci až jemnozrnnými slabě až silně jílovito-prachovitými pískovci. Ve spodní části úseku přibližně od 260 m se nacházejí vápnité zčásti prachovité jílovce. V jílovcích a prachovcích jsou časté tenké vložky jemně až středně zrnitých křemenných obvykle dobře vytríděných pískovců.

Úsek cca 317-450 m charakterizuje monotónní sled šedých vápnitých jílovců zčásti s prachovitou příměsí. Přejít od předchozí písčité sedimentace do vápnitých jílovců je velmi rychlý (Holub et al. 1984).

6.3.2 Výpočetní konstanty pro vrt Vf-1

V tabulce 11 jsou uvedeny použité hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z gama karotáže.

Tabulka 11 Hodnoty konstant pro výpočet jílovitosti z GK ve vrtu Vf-1.

Úsek		GK [nGy.h ⁻¹]
Křída	GK _p	35
	GK _j	200
Karbon	GK _p	50
	GK _j	300

Měrný elektrický odpor vrstevní vody ve svrchní části vrtu (flyšoidní sedimentace březenského souvrství) lze stanovit z rozborů vzorků vody z přelivu při hloubení vrtu. Tento přeliv existoval při procházení polohami pískovců v hloubkách do 200 až 220 m. Chemismus odebrané vody odpovídá 110 mg.l⁻¹ ekvivalentní koncentrace chloridu sodného (Holub et al. 1984). Tato hodnota koncentrace NaCl ve vodě odpovídá přibližně měrnému elektrickému odporu vody $R_w = 45 \Omega\text{m}$ při 18 °C.

Vzorek cenomanské vody byl odebrán v úseku 840-882 m. Jde o vody typu Ca-HCO₃. Ekvivalentní koncentrace chloridu sodného v odebraném vzorku je pouze 0,085 g.l⁻¹. Autoři závěrečné zprávy vrtu Volfartice se domnívají že výskyt takovéto vody je zde vzhledem k hloubce uložení cenomanského kolektoru nepravděpodobný. Reprezentativnost vzorku vrstevní vody mohla být narušena netěsností pažnic (Holub et al. 1984).

Podle výsledků hydrokarotážních měření na blízkém vrtu SK-11c je mineralizace cenomanské vody 0,15 g.l⁻¹ (Herčík 1987). Tomu odpovídá měrný elektrický odpor 35 Ωm při 18 °C. Autoři zprávy se domnívají, že nízká mineralizace cenomanských vod v této hloubce může být způsobena volnou cirkulací vody bez proplynění oxidem uhličitým a malou rozpustností hornin (Herčík 1987).

V turonském kolektoru je stanoveno chemické složení vody ze vzorků odebraných v blízkém vrtu SK-11t. Jde o vody typu Ca-HCO₃. Stanovené obsahy iontů přibližně odpovídají 0,1 g.l⁻¹ ekvivalentní koncentrace chloridu sodného. Karotážní měření rezistivimetrie odpovídá výsledkům chemických rozborů. Hodnota přírodního záměru rezistivimetrie ve vrtu SK-11t byla 40 resp. 48 Ωm . Teplota vody naměřená při výtoku dosahovala 18 °C (Herčík 1987).

I přes dobrou znalost měrného elektrického odporu vrstevních vod v cenomanském a turonském kolektoru z vrtu Vf-1 a z blízkých vrtů SK-11c a SK-11t je problematické stanovit měrný elektrický odpor vrstevní vody v době měření. Údaje iontového složení jsou v rozporu s výsledky karotážního měření měrného elektrického odporu hornin sondami R_{ap} 164 a R_{ap} 041.

V pískovcích březenského souvrství dosahují měrné elektrické odpory R_{ap} 164 a R_{ap} 041 více než 300 Ωm . Obě odporové křivky mají podobné hodnoty, neseparují se. Příčinou je pravděpodobně minimální průnik filtrátu výplachu do horniny z důvodu přítoku vody z kolektoru do vrtu (Holub et al. 1984).

Oproti situaci v březenském souvrství dosahují měrné elektrické odpory velmi čistých monotónních turonských a cenomanských pískovců výrazně méně než 100 Ωm .

Obě křivky R_{ap} 164 a R_{ap} 041 se zde výrazně separují. Křivka R_{ap} 041 s kratším dosahem do stěny vrtu zobrazuje přibližně poloviční hodnoty měrného elektrického odporu oproti křivce R_{ap} 164. Tato fakta napovídají, že v době měření nebyly cenomanské a turonské pískovce nasyceny vrstevní vodou a že ve vysoce propustných pískovcích cenomanu a turonu pravděpodobně došlo během vrtání k průniku filtrátu výplachu do značné hloubky, což způsobilo pokles měrného elektrického odporu elektrolytu v dosahu potenciálové elektrické sondy $R_{ap}041$ i $R_{ap}164$. Karotážní měření měrného elektrického odporu potenciálovými sondami pravděpodobně proběhlo brzy po odvrtání vrtu v době, kdy vrt ještě nebyl vyčištěn od výplachu.

Odhad měrného elektrického odporu vrstevních vod R_W v době měření můžeme provést za předpokladu, že křemenné pískovce cenomanu a turonu (bělohorského souvrství) svojí litologií do značné míry vyhovují podmínkám platnosti Archieho zákona (vztah 4). Podle Archieho zákona lze z měrného elektrického odporu horniny R_0 při znalosti její pórovitosti p dopočítat měrný elektrický odpor elektrolytu v pórech R_W . Pórovitost je v bělohorském souvrství a v korycanských vrstvách dobře známá z analýz odebraných horninových vzorků.

Pokud budeme uvažovat průměrnou pórovitost v pískovcích bělohorského souvrství $p = 27 \%$ a měrný elektrický odpor horniny $R_0 = 40 \Omega m$, pak pro formační faktor podle Archieho zákona platí:

$$F = \frac{R_r}{R_w} = \frac{1}{p^m} \doteq 9,3, \text{ tomu odpovídá hodnota měrného elektrického odporu vody}$$

$$R_W = 5 \Omega m.$$

Pod metráží cca 726 m se měrný elektrický odpor R_0 poněkud zvyšuje na cca 70 Ωm (pórovitost se nemění), to by odpovídalo zvýšení měrného elektrického odporu elektrolytu R_W na cca 7,5 Ωm při zachování hodnoty formačního faktoru bělohorských pískovců na hodnotě 9,3. Obdobně se projevují i korycanské vrstvy. Tyto přibližně určené hodnoty R_W byly použity k výpočtům pórovitosti R_{ap} 164.

Za předpokladu, že čistá vrstevní voda má měrný elektrický odpor 40 Ωm (Herčík 1987) a měrný elektrický odpor filtrátu výplachu $R_{mf} = 0,8 R_m = 3,8 \Omega m$ (Chochlíková 1983) a měrný elektrický odpor elektrolytu v dosahu měření je 5 Ωm je zdánlivý poměr míšení vrstevní vody s filtrátem výplachu přibližně 3 díly vrstevní vody na 7 dílů filtrátu výplachu.

Ve vrtu Vf-1 není znám žádný údaj o mineralizaci vrstevních vod v sedimentech svrchního paleozoika, ani nebyla měřena karotážní rezistivimetrie výplachu, z toho důvodu byl použit údaj z vrtu St-1 (tabulka 10), který je vzdálen od vrtu Vf-1 asi 20 km.

6.4 Vrt PU-4, Peruc

6.4.1 Litologie a stratigrafie vrtu PU-4

Vrt Pu-4 se nachází na jihovýchodním okraji obce Peruc. Území spadá do jednotky české křídové pánve v jejímž podloží se nalézají karbonské sedimenty mšensko-roudnické pánve. Svrchní křída na povrchu v okolí vrtu PU-4 patří stratigraficky ke spodnímu turonu. Mocnost křídových sedimentů dosahuje 62 m. Mocnost svrchnopaleozoických sedimentů dosahuje 1204 m. Ve vrtu byla zastižena všechna čtyři karbonská souvrství (Žbánek 1988).

V nadloží vulkanogenního komplexu leží uhlonosná sekvence začínající uhelnou slojí. Výše se střídají psamity a aleuropelity s uhelnou příměsí i s polohami slojí a hojnou vulkanogenní příměsí. Jílovce jsou místy prosyceny sideritem (Žbánek 1988).

RADNICKÉ VRSTVY

Radnické vrstvy jsou zastiženy v hloubce 1248,6-1267,5 m. Při bázi je uložen vulkanogenní komplex tvořený silně argilitizovaným porfyrem s tufy a ignimbrity.

NÝŘANSKÉ VRSTVY

Sedimentace Nýřanských vrstev (787,4-1248,6 m) začíná tzv. mirošovským obzorem (1130-1248,6 m), jedná se o sekvenci převážně hrubozrnných až středozrnných pískovců, nevytřídných pískovců, přítomna je také valounovitá příměs, polohy slepenců a jemnozrnných pískovců. Pískovce a slepence jsou běžně arkózovité, kaolinické. Prachovce a jílovce jsou zastoupeny sporadicky.

Pro úsek 1096-1130 m je charakteristická cyklická sedimentace s převahou psamitů s postupně narůstajícím podílem jílovců a prachovců. Pískovce jsou většinou středně zrnité, ve vyšší části jemnozrnné až prachovité.

V úseku 1070-1096 m převažují jílovce s polohami prachovců a vložkami jemně až středně zrnitých pískovců. Četné jsou polohy uhelnatých jílovců.

V úseku 1017,5-1070 m převládá písčítá sedimentace. Pískovce jsou obvykle středně až hrubě zrnité s valounky, některé polohy jsou arkózovité. Vložky jílovců a

prachovců jsou řídké, hojnější jsou v nejvyšší části úseku. Hranice s nadložními pískovci je ostrá.

Úsek 968-1017,5 m představuje dvě skupiny cyklů s hranicí v hloubce přibližně 982,5 m. Pro obě skupiny jsou charakteristické relativně mocné polohy pískovců při bázi, často s valouny a útržky aleuropelitů. Ve vyšších částech skupin se rytmicky střídají pískovce, prachovce a jílovce. Jílovce jsou místy kaolinické.

Ve spodní části úseku 901-968 m převládají středně zrnité arkózovité až drobovitě pískovce, často s útržky aleuropelitů. Výše převládají aleuropelity s polohami pískovců. Jílovce jsou často kaolinické místy s tufogenní příměsí.

V úseku 873-901 m ve spodní části převládají pískovce, běžně s valouny. Výše přibývá množství prachovců a jílovců.

Úsek 787,4-873 m se vyznačuje střídáním pískovců, prachovců a jílovců. Pískovce jsou často arkózovité s útržky aleuropelitů. Jílovce jsou ve svrchní části kaolinické (Žbánek 1988).

TÝNECKÉ SOUVRSTVÍ

V úseku 714,3-787,4 m převládají většinou jemnozrné a prachovité nebo arkózovité pískovce s polohami středně i hrubě zrnitými. Běžně jsou zastoupeny polohy s útržky tmavě šedých aleuropelitů. Přítomny jsou polohy prachovců, podřadně jsou zastoupeny jílovce. Většinou jde o fluviální typy sedimentů. Zbarvení hornin je proměnlivé.

V úseku 601,8-714 m převažují pískovce, často středně zrnité nebo nevytříděné s valouny, místy výrazně arkózovité, kaolinické. Přítomny jsou také polohy slepenců. Ve spodní části jsou hojné útržky jílovců a prachovců (Žbánek 1988).

JELENICKÉ VRSTVY

Jelenické vrstvy se nacházejí v úseku 581,5-601,8 m, charakter sedimentace je obdobný jako v podložním úseku, je zde však zřetelně větší podíl jemnozrných uloženin na úkor pískovců (Žbánek 1988).

MŠECKÉ VRSTVY

Mšecké vrstvy byly interpretovány v poloze 564,4-581,5 m. Jde o hladké laminované jezerní jílovce s četnou tufogenní příměsí. Kolem hloubky 571,3 je přítomen

baryt. Sedimentace se odehrávala v anoxických podmínkách v dosti hlubokém jezeru s minimálním přínosem hrubších klastik (Žbánek 1988).

HŘEDELSKÉ VRSTVY

Hředelské vrstvy se nacházejí v úseku 484,9-564,4 m. Od cca 523 m níže jsou tvořeny jílovcí, většinou slabě prachovitými. Výše (493-523 m) převládají prachovce. U stropu hředelských vrstev dominují pískovce, většinou jemnozrné. Prostředí sedimentace je převážně jezerní, u stropu jezerně až fluviálně deltové (Žbánek 1988).

LEDECKÉ VRSTVY

Ledecké vrstvy byly interpretovány v hloubce 484,9-477. Jde o fluviální hrubozrné pískovce s valouny (Žbánek 1988).

KOUNOVSKÉ VRSTVY

Kounovské vrstvy leží v hloubce 434,5-477 m. Ve spodní části převládá písčité sedimentace. V metráži 470,6-473 m se nachází poloha uhlí. Ve svrchní části převládají jílovce (Žbánek 1988).

LÍŇSKÉ SOUVRSTVÍ

Líňské souvrství se nachází v hloubce 64-434,5 m. V úseku 398,2-434,5 dochází ke střídání jílovců a prachovců s vložkami převážně střednozrných pískovců, místy arkózovitých. Zbarvení sedimentů je červenohnědé.

V úseku 252,4-398,2 m se nepravidelně střídají pískovce, prachovce a jílovce s nárůstem objemu aleuropelitů v nejvyšších 25 metrech sekvence. Výrazný horizont slepence se nachází kolem hloubky 356 m. Pískovce jsou místy arkózovité, s útržky aleuropelitů, ve spodní části úseku s četnými valouny. Aleuropelity obsahují karbonátové konkrce.

Úsek 97,4-252,4 m tvoří nepravidelné střídání prachovců a jílovců s polohami pískovců, ojediněle s valouny. Báze úseku je silně písčité. Místy se vyskytuje argilitizovaná tufogenní příměs a prosycení karbonáty.

Úsek 64-97,4 m je výrazně psamitický, ve svrchní části sedimentace přechází do aleuropelitů. Pískovce jsou středně až hrubě zrnité, místy s valouny a útržky aleuropelitů (Žbánek 1988).

SLADKOVODNÍ CENOMAN (PERUCKÉ VRSTVY)

Perucké vrstvy (54,75-64 m) nasedají na erozní hranici líšského souvrství, jsou tvořeny převážně čistě křemennými středně až hrubě zrnitými pískovci s polohami až slepenců. Jde o kontinentální říční sedimentaci (Žbánek 1988).

MOŘSKÝ CENOMAN (KORYCANSKÉ VRSTVY)

Korycanské vrstvy (28-54,75 m) transgredují na perucké vrstvy sekvencí bazálních pískovců se slepenci, výše (44,7-52 m) se střídají prachovce a jílovce. Od cca 44,7 m výš se nacházejí křemenné pískovce. Sedimentace má charakter mělkomořského prostředí, které místy může přecházet i ve sladkovodní a přechodné sedimenty (Žbánek 1988).

BĚLOHORSKÉ SOUVRSTVÍ

V úseku 2-28 m byl zastížen spodní turon bělohorského souvrství. Při bázi souvrství se nacházejí prachovité jílovce. Od cca 20 m výše se nacházejí spongolitické vápence. Sedimentace probíhala v mělkomořských podmínkách s vysokým zastoupením fauny mořských křemitých hub (Žbánek 1988).

6.4.2 Výpočetní konstanty pro vrt PU-4

V tabulce 12 jsou uvedeny použité hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z akustické karotáže a jílovitosti z gama karotáže. V tabulce 13 jsou údaje měrného elektrického odporu vrstevních vod. V týneckém souvrství, ve spodní části hředelských vrstev a v mšeckých a jelenických vrstvách (úsek 520-787 m) byla použita průměrná hodnota měrného elektrického odporu vody R_W získaná jako průměr ze sousedních testovaných úseků. V ledeckých vrstvách byla použita průměrná hodnota podle údajů z blízkých vrtů Pu-1 a Sd-1 (Žbánek et al. 1988). Měrný elektrický odpor křídových vod byl určen podle výsledků analýzy vod ve vrtu HV-1 v obci Vraný (Trojan 1966).

Tabulka 12 Hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z AK a jílovitosti z GK ve vrtu Pu-4.

Úsek		GK [nGy.h ⁻¹]	Úsek		Δt [μs.m ⁻¹]
Křída	GK _p	17	Karbon	Δt _{ma}	200
	GK _j	150		Δt _{sh}	330
Slánské a líňské souvrství	GK _p	35			
	GK _j	200			
Kladenské a týnecké souvrství	GK _p	45			
	GK _j	280			

Tabulka 13 Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu PU-4 (Trojan 1966; Žbánek et al. 1988).

Úsek	R _w [Ωm] při 18 °C	Zdroj údajů
Křída	25	HV-1
Líňské souvrství	1.7	Pu-1
Kounovské vrstvy	1.7	Pu-1
Ledecké vrstvy	1.15	průměrný údaj z vrtů Pu-1a Sd-1
Hředelské vrstvy (485-520 m)	0.28	Sd-1
520-787 m	0.24	průměrný údaj
Nýřanské vrstvy	0.21	Sd-1
Mirošovský obzor (1118-1267,5 m)	0.5	Sd-1
Radnické vstvy	0.21	Sd-1

6.5 Vrt MV-1, Mělnické Vtelno

6.5.1 Litologie a stratigrafie vrtu MV-1

Vrt MV-1 se nachází asi 1 km severovýchodně od obce Mělnické Vtelno, 15 km východně od Mělníku. Území Mělnického Vtelna tvoří svrchnokřídové horniny stratigraficky náležející ke střednímu turonu. Mocnost křídových sedimentů dosahuje 298 m. V podloží křídů se nalézají karbonské sedimenty mšensko-roudnické pánve. Byla zastížena všechna čtyři souvrství karbonu vyčleňovaná ve středočeských karbonských pánvích. Karbonská sedimentace začíná nýřanskými vrstvami, radnické vrstvy nejsou vyvinuty (Žbánek et al. 1991).

NÝŘANSKÉ VRSTVY

Nýřanské vrstvy nasedají na metamorfity podloží, nacházejí se v úseku 834,9-896,5 m.

V úseku 860,5-896,5 m převažují hnědočervené prachovce. Ve spodní části úseku jsou četné polohy sedimentárních brekcií s prachovitou matrix. Jde o bazální splachové sedimenty vyplňující deprese v předkarbonském reliéfu. U stropu úseku se nachází cca 4 m pestrých jílovců.

Při bázi úseku 834,9-860,5 m je vyvinuta poloha kaolinických pískovců. Výše se nacházejí aleuropelity. U stropu dochází ke střídání poloh pískovců a prachovců. Zbarvení sedimentů je šedé (Žbánek et al. 1991).

TÝNECKÉ SOUVRSTVÍ

Týnecké souvrství bylo interpretováno v metráži 791,35-834,9 m. Souvrství je tektonicky redukováno v podloží i v nadloží. Ve spodní části souvrství do 827,5 se nacházejí hnědočervené aleuropelity.

Úsek 791,35-827,5 m začíná polohou hrubě zrnitých pískovců s valouny s přechody do slepenců. Vyšší části úseku jsou tvořeny hnědočervenými prachovci a jílovcí s jednou 2 m mocnou polohou jemnozrného pískovce v hloubce 798 m (Žbánek et al. 1991).

JELENICKÉ VRSTVY

Vrstvy se nacházejí v hloubce 738,7-791,35 m. Spodní část do 781,6 m je tvořena aleuropelity odpovídajícími bažinnému prostředí.

Úsek 761,6-781,6 m představuje sedimentární cyklus začínající hrubozrnnými pískovci, výše pokračují prachovce a jílovce. Zbarvení sedimentů je šedé.

Svrchní část vrstev (783,5-761,6 m) je tvořena nevytříděnými arkózovými zčásti kaolinizovanými pískovci. Ve svrchní části dochází ke zjemnění sedimentace a objevuje se prachovitá příměs. Přítomný je pyrit. Přejít do nadložních jílovců mšeckých vrstev je neostrý (Žbánek et al. 1991).

MŠECKÉ VRSTVY

Mšecké vrstvy (714,4-738,7 m) jsou tvořeny litologicky monotónními laminovanými jílovci s karbonatizovanými pásy a laminami tufogenního materiálu. Jde o sedimenty hlubokého jezera s mizivým přínosem klastů (Žbánek et al. 1991).

HŘEDELSKÉ VRSTVY

Hředelské vrstvy (576,9-714,4 m) představují postupně ke stropu hrubnoucí sekvenci ve spodní části tvořenou prachovci místy jílovitými nebo písčítými. Vzhůru přibývá podíl psamitické frakce. Nad cca 640 m výrazně přibývá písčitosti, střídají se pískovce a písčité prachovce. Nad cca 610 m výrazně dominují pískovce. Pískovce obsahují pyritový tmel.

Nejvyšší část vrstev nad cca 590 m začíná uložením homogenních jílovců, které vzhůru přecházejí v prachovce a jemně zrnité prachovité pískovce (Žbánek et al. 1991).

LEDECKÉ VRSTVY

Ledecké vrstvy (570,2-576,9 m) jsou tvořeny arkózovitými a kaolonickými pískovci. Převládají pískovce hrubě zrnité (Žbánek et al. 1991).

KOUNOVSKÉ VRSTVY

Kounovské vrstvy se nacházejí v metrůž 548-570,2 m. Ve spodní části vrstev se střídají aleuropelity s polohami jemně zrnitých prachovitých pískovců. Výše se nachází slojové pásmo s 1,7 m mocnou slojí. Nadložní část sledu je tvořena aleuropelity. (Žbánek et al. 1991).

LÍŇSKÉ SOUVRSTVÍ

Líňské souvrství leží v hloubce 303,6-548 m. Spodní úsek do 482,2 začíná 3 m mocnou polohou pískovců různé zrnitosti a pokračuje aleuropelity. Výše v cca 522-539 m

je sedimentace hrubě klastická, dominují arkózovité, kaolinitické, různě zrnité pískovce s polohami slepenců. Vyšší část úseku (482,2 -522 m) je tvořena převážně jílovcí.

Úsek 438,8-482,2 m představuje jeden sedimentární cyklus. Na bázi je vyvinut komplex hrubě zrnitých arkózovitých pískovců fluviálního původu. Vyšší část je tvořena převážně jílovcí s polohami jílovitých prachovců, jde o aluviálně-jezerní sediment.

Úsek 382,85-438,8 m je litologicky pestřejší, než předchozí části souvrství. Na bázi úseku je cca 5 m mocná poloha pískovců. Výše převládají jílovce s četnými polohami prachovců a pískovců. V aleuropelitech jsou běžné karbonátové konkrece. Zbarvení je převážně červenohnědé.

Nejsvrchnější úsek (303,6-382,85 m) se vyznačuje nepravidelným střídáním pískovců, prachovců a jílovců. Pískovce mají různou zrnitost, jsou zastoupeny jemnozrné i slepenčité typy. Aleuropelity jsou dosti jílovité, obsahují karbonátové konkrece. Zbarvení sedimentů je převážně hnědočervené. Strop souvrství je fosilně zvětrán (Žbánek et al. 1991).

PERUCKO-KORYCANSKÉ SOUVRSTVÍ

Souvrství je vymezeno metráží 265,9-303,6 m. Na bázi leží tenká, 0,95 m mocná poloha slepence a jílovec s uhelným pigmentem a čočkami a pásy pískovce. Tato bazální poloha by mohla reprezentovat zbytek peruckých vrstev.

Mořské transgresní pískovce nasedají s erozní hranicí v 302,65 m. Pískovce jsou křemité, někdy prachovité nebo s glaukonitem a s bioturbacemi. U stropu souvrství cca od 275 výš se nachází prachovce, ve svrchní části vápnité, které reprezentují anoxický event, tzv. plenus zónu (Žbánek et al. 1991).

BĚLOHORSKÉ A JIZERSKÉ SOUVRSTVÍ

Usazeniny středního a spodního turonu leží v metráži 6-265,9 m. Spodní část profilu do cca 214 m je tvořena vápnitými jílovcí až slínovci, výše nasedají vápnité prachovce. Od metráže 208 výše se objevuje silnější jílovitá příměs. Nad metráží 192 m začíná přibývat písčité příměs a mizí jílovitost a nad cca 186 m horniny přecházejí do písčitých prachovců. Kolem 167 m prachovce přecházejí do prachovitých jemnozrných pískovců. Výše ubývá prachovitosti a ve 129 m ostře nasedají křemenné pískovce, od cca 93 m znovu začíná přibývat prachovitá příměs. Pískovce obsahují zbytky vápnitých schránek, některé úseky jsou výrazně bioturbovány (Žbánek et al. 1991).

6.5.2 Výpočetní konstanty pro vrt MV-1

V tabulce 14 jsou uvedeny použité hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z akustické karotáže a jílovitosti z gama karotáže. V tabulce 15 jsou údaje měrného elektrického odporu vrstevních vod (Žbánek et al. 1991; Čapek, Kokošková 1985). V úsecích, kde nebyl přímo odebrán vzorek vrstevní vody je použita hodnota měrného elektrického odporu R_w získaná interpolací ze sousedních testovaných úseků.

Tabulka 14 Hodnoty konstant pro výpočty pórovitosti z AK a jílovitosti z GK ve vrtu MV-1.

Úsek		GK [nGy.h ⁻¹]	Úsek		Δt [$\mu\text{s.m}^{-1}$]
Křída	GK _p	25	Křída	Δt_{ma}	150
	GK _j	170		Δt_{sh}	350
Slánské a líňské souvrství	GK _p	35	Karbon	Δt_{ma}	200
	GK _j	300		Δt_{sh}	330
Týnecké souvrství	GK _p	35			
	GK _j	150			
Kladenské souvrství	GK _p	35			
	GK _j	240			

Tabulka 15 Měrné elektrické odpory vrstevních vod ve vrtu MV-1 (Žbánek et al. 1991; Čapek, Kokošková 1985).

Úsek	R_w [Ωm] při 18 °C	Zdroj údajů
Křída	18	Vrt VL-2
Karbon		Vrt MV-1
522-540 m	0.75	
567-580 m	0.55	
738-772 m	0.23	
811-828 m	0.18	

7 Výsledky zpracování karotážních měření

V profilu všech studovaných vrtů byla vypočtena jílovitost z gama karotáže a pórovitosti z odporové karotáže a neutron neutron karotáže. Ve vrtech MV-1 a PU-4 byly vypočteny také pórovitosti z akustické karotáže. Výsledky výpočtů jsou zobrazeny v měřítku 1:1000 v přílohách 1 až 5 spolu se záznamy karotážního měření a litologickým a stratigrafickým členěním vrtů.

Číselně jsou vypočtené výsledky pórovitosti a jílovitosti v příloze 6a-e.

V tabulkách 16 a 17 jsou uvedeny konstanty A a B (vztah 18) empirické logaritmické závislosti neutronové pórovitosti p_N na četnosti impulzů NNK, která slouží jako kalibrační křivka intenzity NNK v příslušných úsecích vrtu.

V tabulce 18 jsou uvedeny výsledky stanovení pórovitosti ve vybraných polohách křídových křemitých pískovců podle Archieho vztahu (vztah 4) p_{RA} v bodech, kde byla současně stanovena pórovitost na vzorcích vrtných jader p_{VZ} a absolutní rozdíl těchto dvou údajů pórovitosti Δp_{RA} .

Tabulka 16 Konstanty A a B (vztah 18) empirické logaritmické závislosti neutronové pórovitosti p_N na četnosti impulzů NNK pro příslušné úseky vrtů DB-1, STR-1 a Vf-1.

úsek	DB-1			STR-1			Vf-1		
	číslo	h [m]	A	B	h [m]	A	B	h [m]	A
1	0-150	-10	86	54,7-250	-15	107	86-265	-20	114
2	150-310	-30	175	250-490	-15	100	265-413	-15	95
3	310-470	-30	196	490-740	-10	71	413-910	-15	110
4	470-710	-15	107	740-925	-15	116	910-1000	-15	107
5	710-890	-15	107	925-1055	-15	115	1000-1450	-10	75
6	890-1090	-15	100	1055-1276	-45	262	1450-1507	-15	112
7	1090-1270	-30	175						

Tabulka 17 Konstanty A a B (vztah 18) empirické logaritmické závislosti neutronové pórovitosti pN na četnosti impulzů NNK pro příslušné úseky vrtů PU-4 a MV-1.

úsek	PU-4			MV-1		
číslo	h [m]	A	B	h [m]	A	B
1	11-314	-10	92	65-210	-20	144
2	314-498	-15	130	210-320	-30	192
3	498-680	-15	56	320-470	-20	160
4	680-800	-15	130	470-560	-20	160
5	800-1283	-30	131	560-755	-26	198
6				755-921	-28	208

Tabulka 18 Výsledky stanovení pórovitosti ve vybraných polohách křídových křemitých pískovců podle Archieho vztahu (vztah 4) p_{RA} v bodech, kde byla současně stanovena pórovitost na vzorcích vrtných jader p_{VZ} a rozdíly těchto dvou údajů pórovitosti v absolutních hodnotách Δp_{RA} .

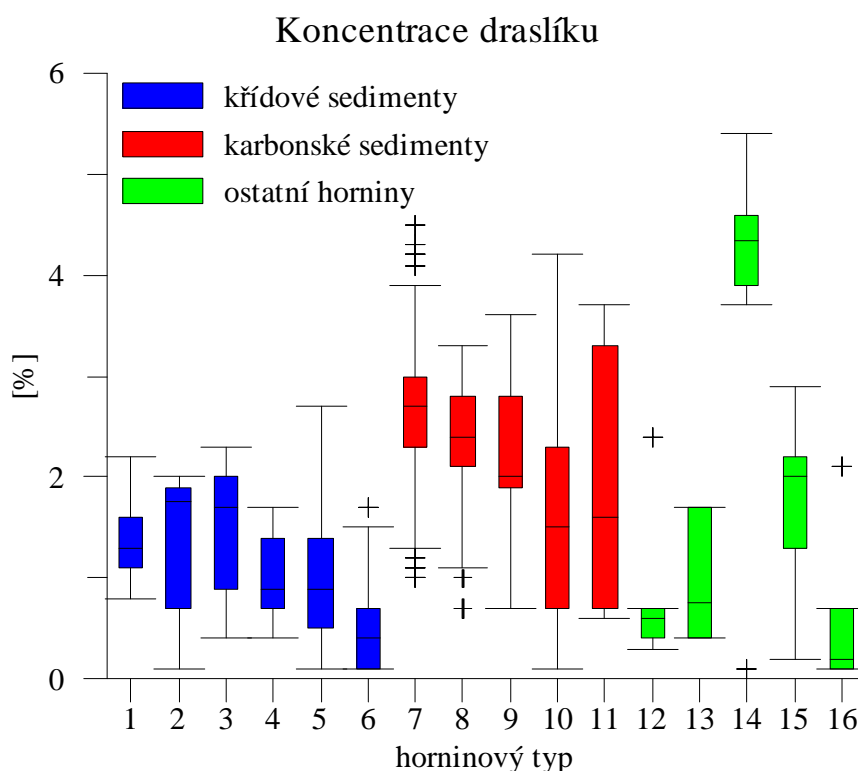
Vrt	vzorek h [m]	p_{RA} [%]	p_{VZ} [%]	Δp_{RA} [%]
Vf-1	495	27.1	27.0	0.1
Vf-1	511.6	27.6	27.4	0.2
Vf-1	522.2	28.0	29.0	1.0
Vf-1	628.5	26.2	29.5	3.3
Vf-1	635	27.4	27.6	0.2
Vf-1	644	28.8	31.8	3.0
Vf-1	658.6	22.5	22.3	0.2
Vf-1	674.6	26.0	21.4	4.6
Vf-1	681.2	27.7	28.2	0.5
Vf-1	694.2	26.3	25.7	0.6
Vf-1	706.6	23.7	27.6	3.9
Vf-1	718.8	28.4	30.2	1.8
Vf-1	728.2	28.0	24.9	3.1
Vf-1	729.8	27.3	26.7	0.6
Vf-1	746.5	25.2	24.8	0.4
Vf-1	761.7	24.5	26.7	2.2
Vf-1	776.2	28.0	29.0	1.0
Vf-1	795	26.0	18.1	7.9
Vf-1	850.3	24.0	24.3	0.3
Vf-1	874.2	22.5	15.8	6.7
STR-1	221.5	32.0	31.5	0.5
STR-1	226.2	32.6	19.3	13.3
STR-1	237.4	35.0	25.1	9.9
STR-1	249.7	34.0	19.1	14.9
STR-1	259.7	33.7	31.8	1.9
MV-1	95	31.0	25.5	5.5
MV-1	100	28.0	26.7	1.3
MV-1	105	28.2	22.0	6.2
MV-1	110	26.4	24.2	2.2
MV-1	115	26.1	24.9	1.2
MV-1	120	27.0	27.1	0.1
MV-1	125	27.0	25.9	1.1
MV-1	275	50.3	16.5	33.8
MV-1	280	28.9	28.7	0.2
MV-1	285	27.5	28.7	1.2
MV-1	290	25.5	27.3	1.8
MV-1	295	25.0	22.8	2.2
MV-1	300	28.2	19.5	8.7

8 Výsledky zpracování laboratorních měření fyzikálních parametrů hornin

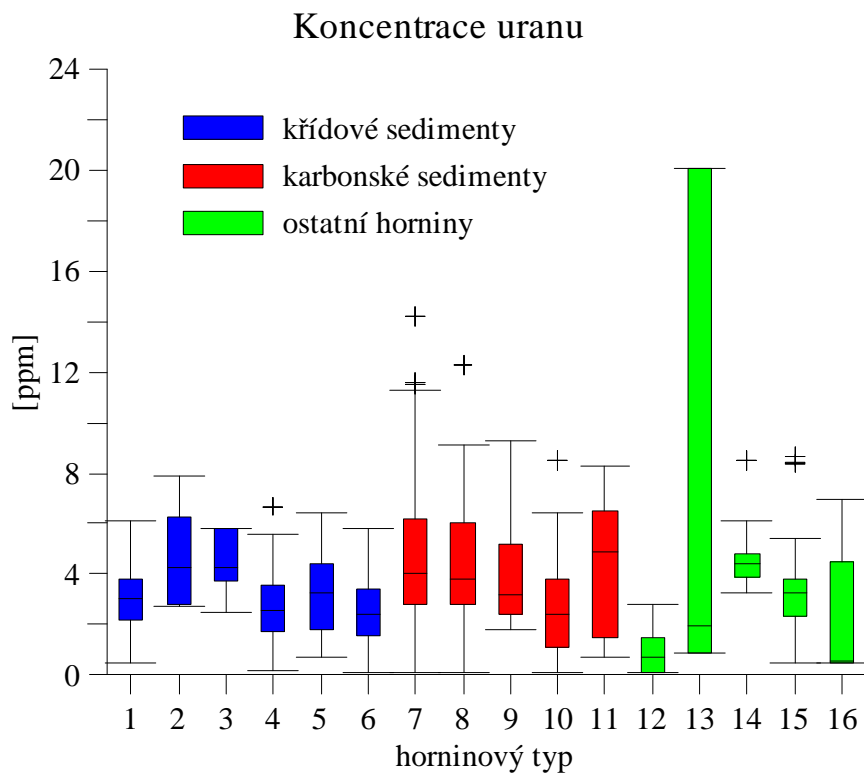
Zdrojová data fyzikálních vlastností vzorků vrtných jader jsou uvedena v příloze 7. Základní statistické charakteristiky fyzikálních vlastností horninových vzorků jsou uvedeny v příloze 8. Pro každý horninový typ a každý fyzikální parametr zvlášť v jednotlivých vrtech a celkově jsou vypočteny: aritmetický průměr, medián, první a třetí kvartil a výběrová směrodatná odchylka.

V grafech 4 až 14 jsou zobrazeny krabicové diagramy pro jednotlivé fyzikální parametry a horninové typy. V grafech 15 až 19 jsou zobrazeny korelační diagramy pro různé fyzikální parametry. V grafu 20 jsou zobrazeny sloupcové diagramy znázorňující podíly jednotlivých radioaktivních prvků na celkovém dávkovém příkonu gama záření ve vrtu pro jednotlivé typy hornin. Hodnoty jsou vypočteny podle průměrných koncentrací prvku pro daný horninový typ ze spektrometrických analýz horninových vzorků.

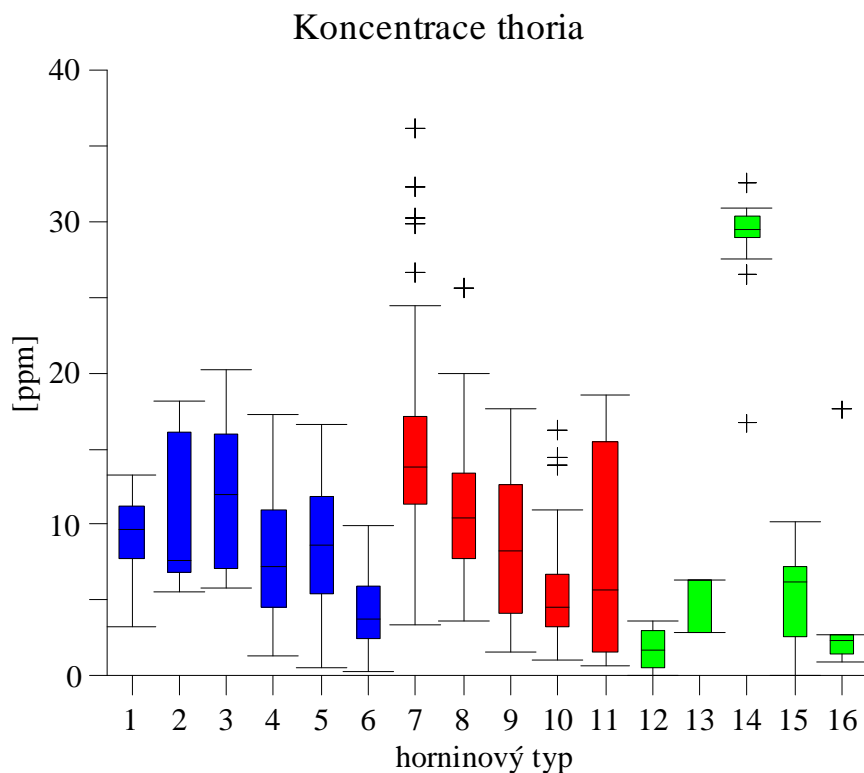
Rozdělení horninových vzorků do skupin podle litologie s přiřazeným číslem horninového typu jsou v tabulce 5.



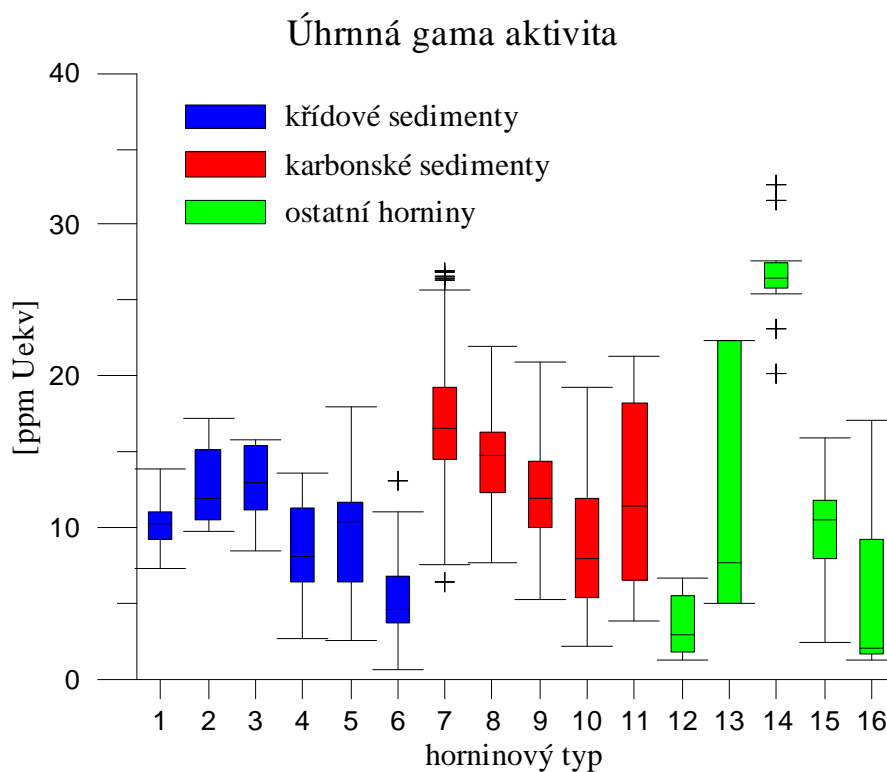
Graf 4 Krabicové diagramy koncentrace draslíku pro různé horninové typy (viz tabulka 5).



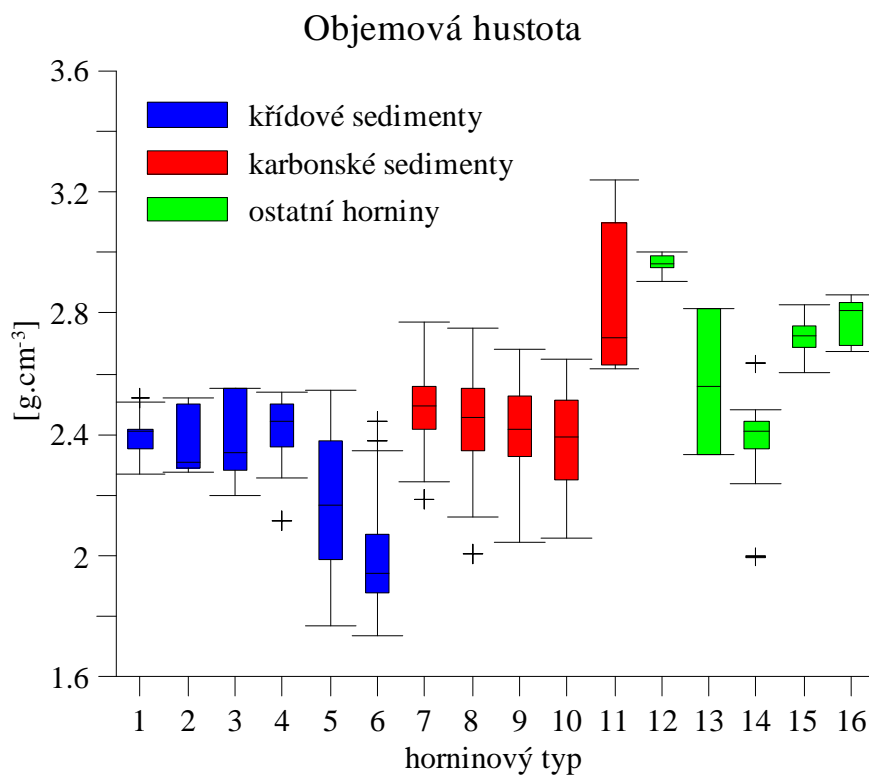
Graf 5 *Krabicové diagramy koncentrace uranu pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*



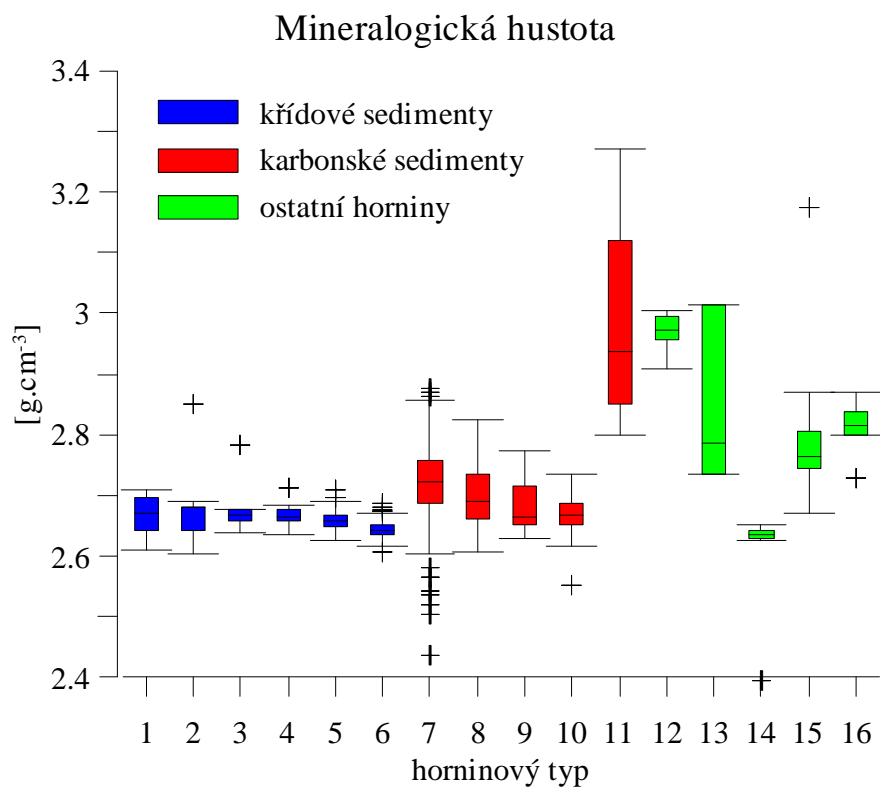
Graf 6 *Krabicové diagramy koncentrace thoria pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*

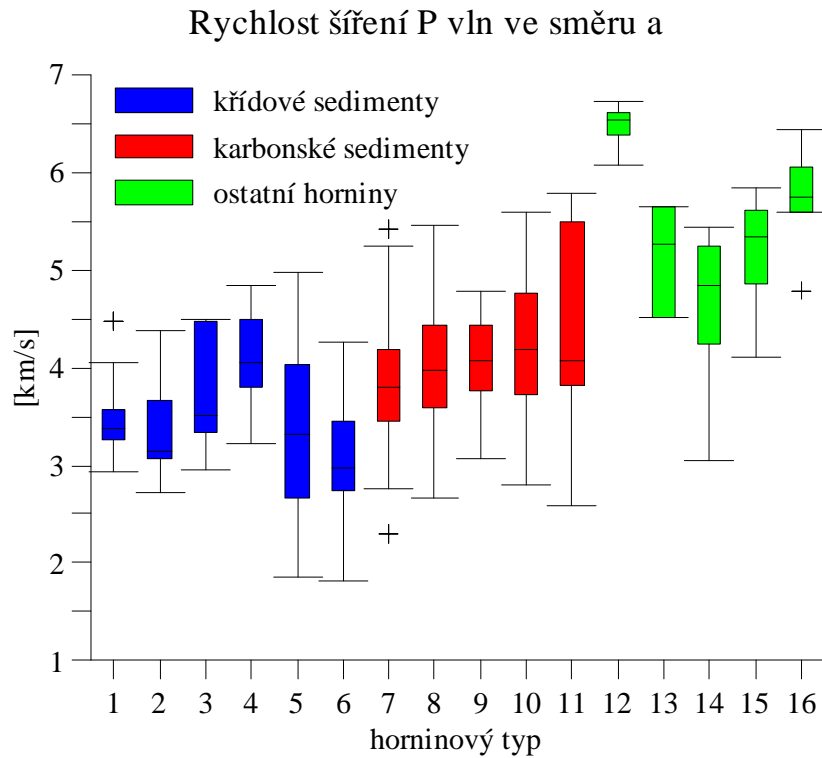


Graf 7 *Krabicové diagramy úhrnné gama aktivity pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*

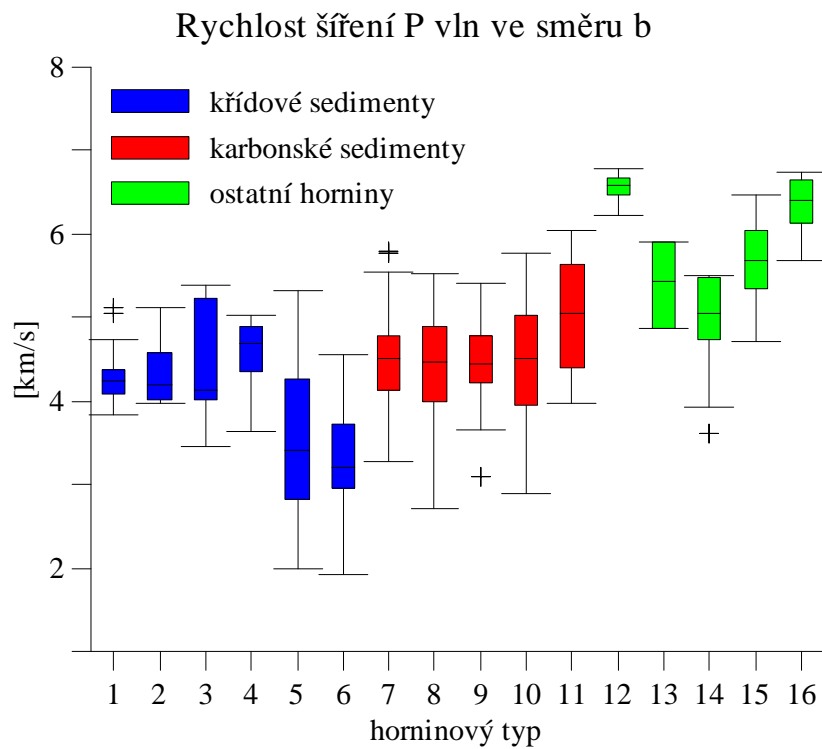


Graf 8 *Krabicové diagramy objemové hustoty pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*

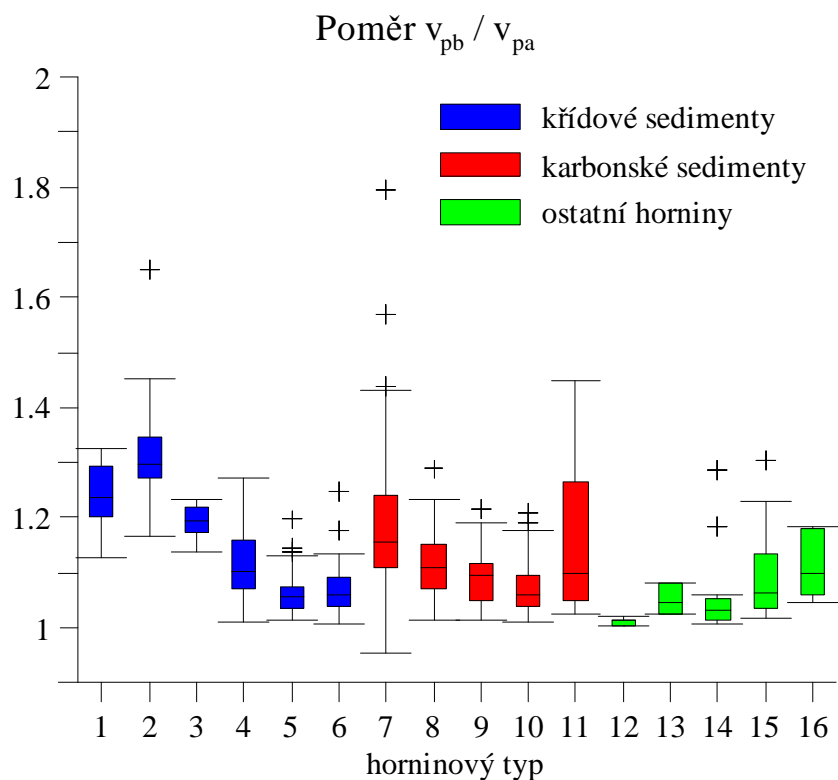




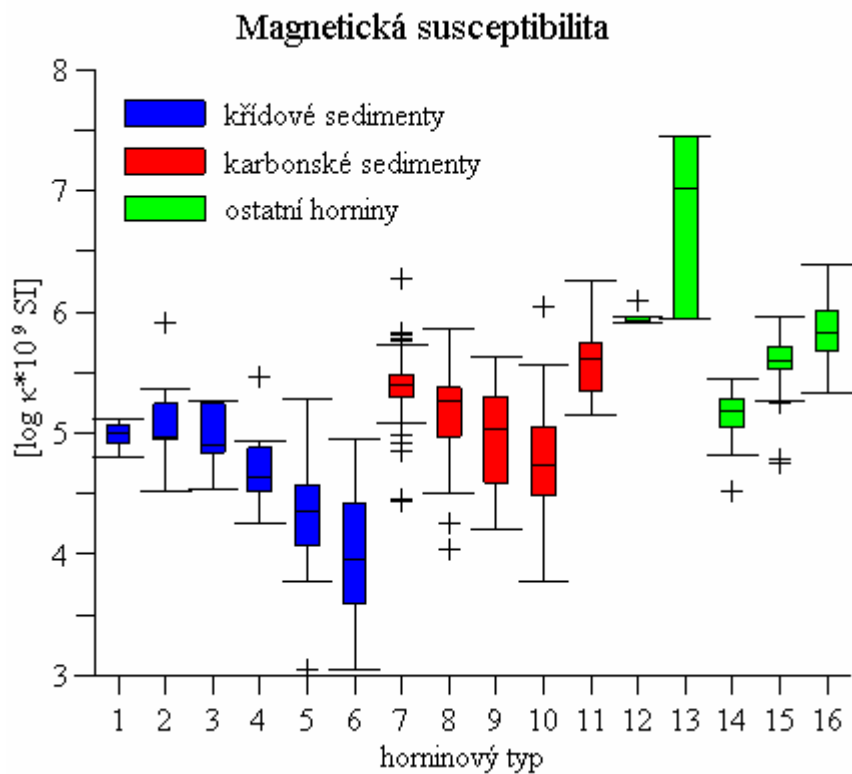
Graf 11 *Krabicové diagramy rychlosti šíření P vln v horninových vzorcích ve směru a (kolmo na laminaci) pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*



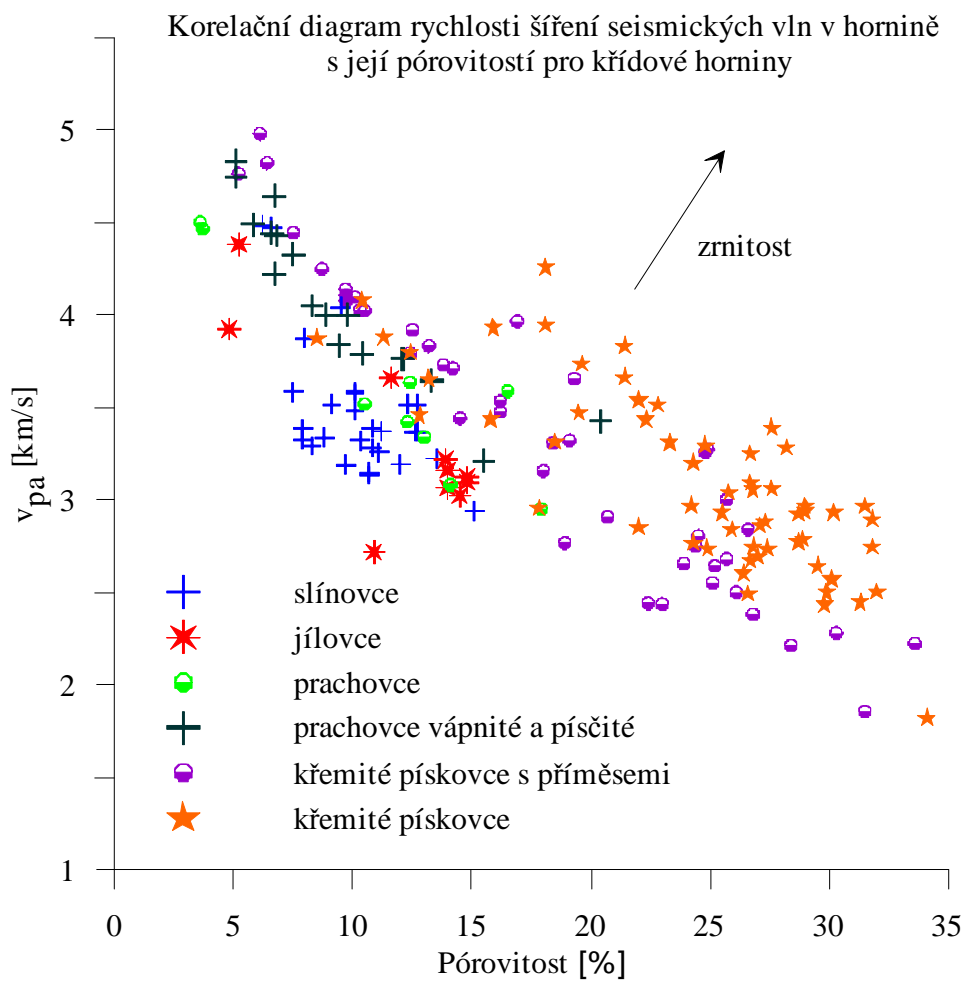
Graf 12 *Krabicové diagramy rychlosti šíření P vln v horninových vzorcích ve směru b (v rovině laminace) pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*



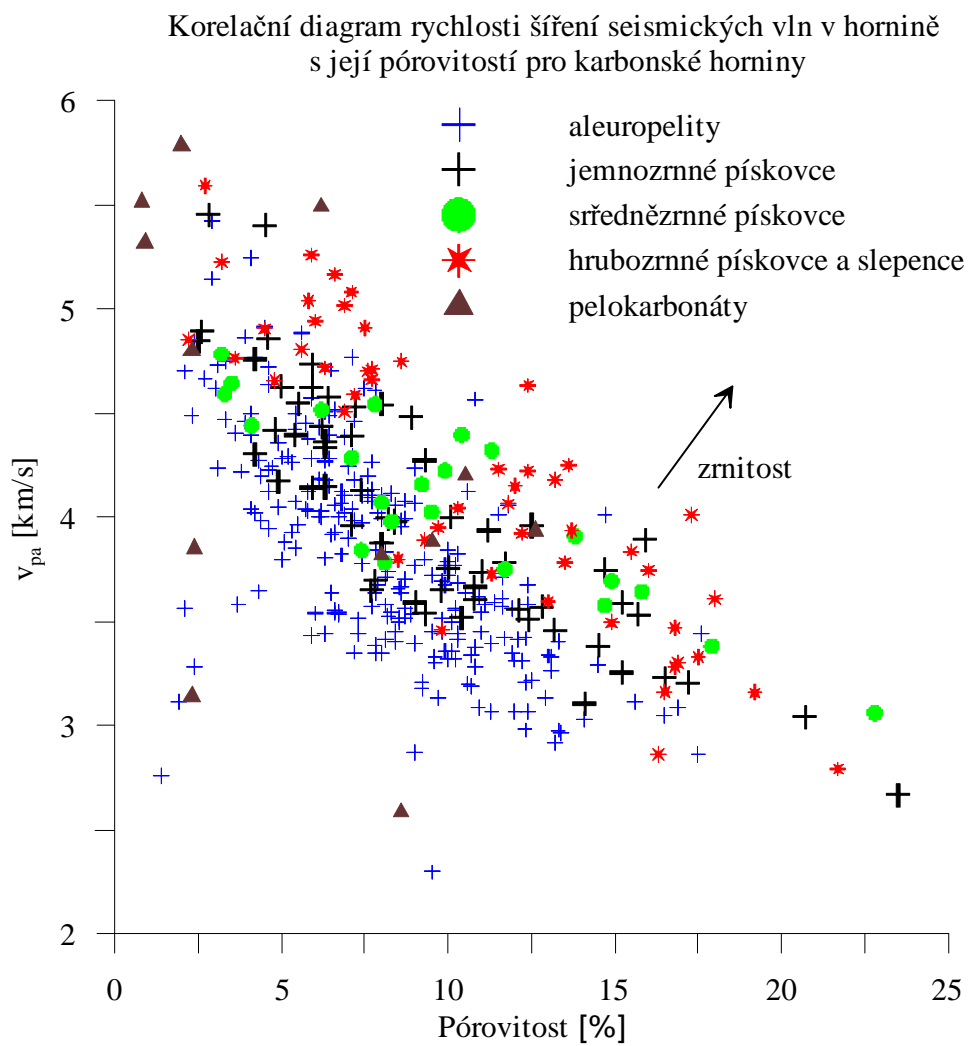
Graf 13 *Krabicové diagramy poměru rychlosti šíření akustického signálu ve směru a a ve směru b pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*



Graf 14 *Krabicové diagramy magnetické susceptibilita pro různé horninové typy (viz tabulka 5).*

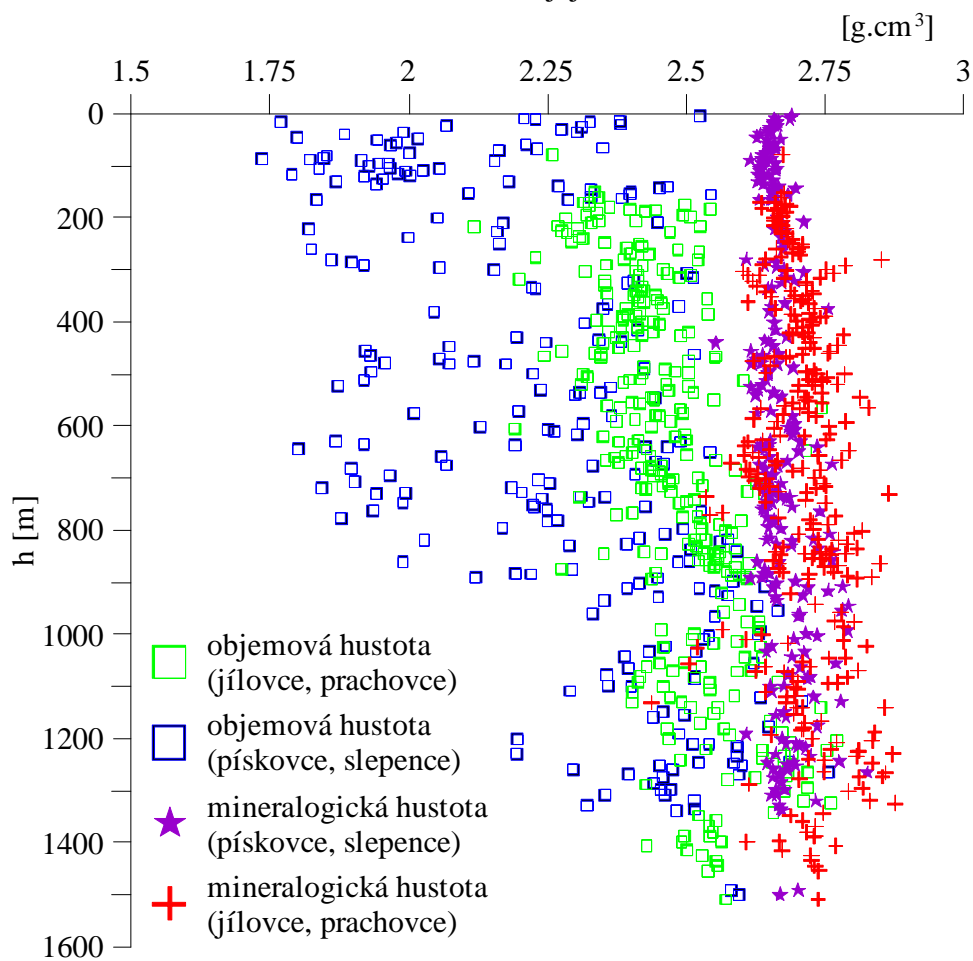


Graf 15 Korelační diagram rychlosti šíření seismických vln v hornině ve směru a s její pórovitostí v křídových horninách. Odlišnými symboly jsou zobrazeny různé horninové typy.



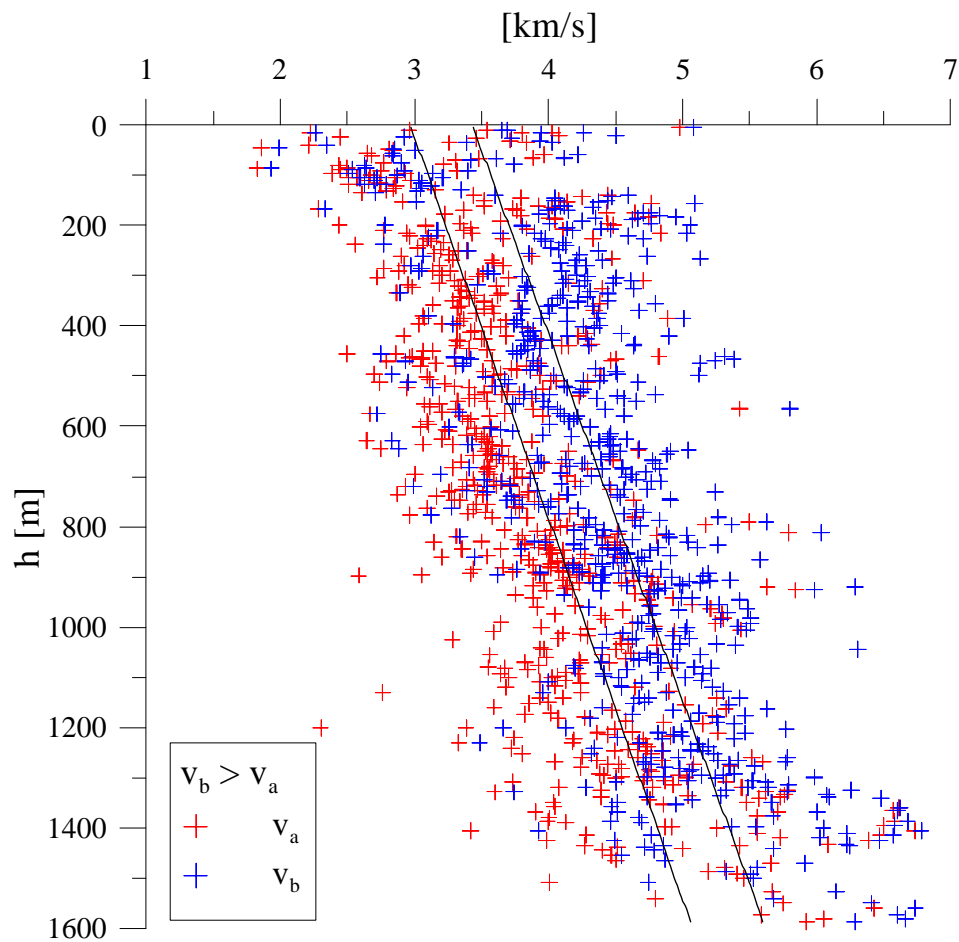
Graf 16 Korelační diagram rychlosti šíření seismických vln v hornině ve směru a s její pórovitostí v karbonských horninách. Odlišnými symboly jsou zobrazeny různé horninové typy.

Korelační diagram objemové a mineralogické hustoty sedimentů s hloubkou jejich uložení



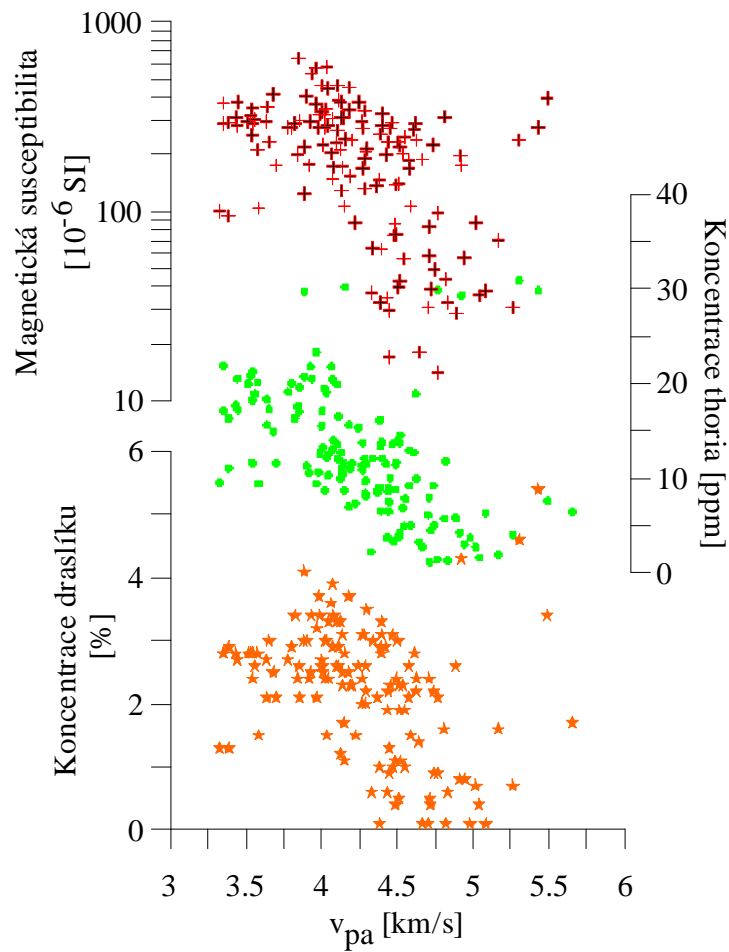
Graf 17 Korelační diagram objemové a mineralogické hustoty sedimentů s hloubkou jejich uložení. Různými symboly jsou zobrazeny pískovce, prachovce a jinými symboly pískovce a slepence.

Korelační diagram rychlosti šíření seismických vln s hloubkou



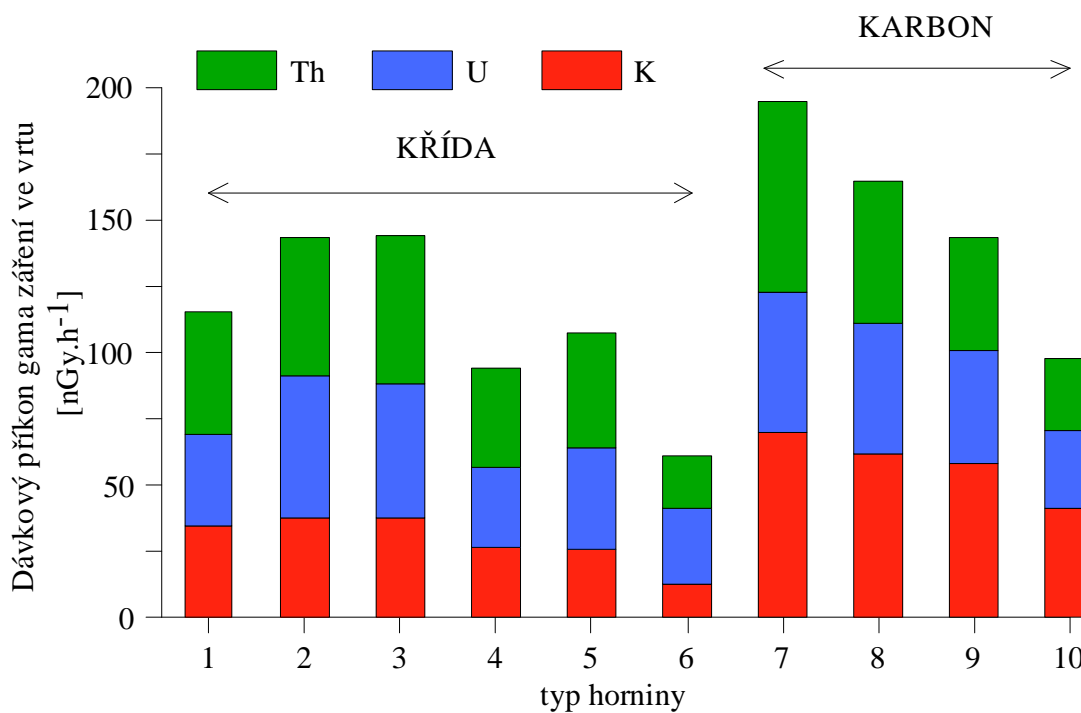
Graf 18 Diagram korelace rychlosti šíření seismických vln v horninových vzorcích s hloubkou jejich uložení. Samostatně jsou zobrazeny rychlosti šíření seismických vln ve směru a a ve směru b. Bodovými údaji jsou proloženy regresní přímky.

Diagram korelace přítomnosti tří chemických složek horniny s rychlostí šíření seismických vln v sedimentech s pórovitostí 5-8 %



Graf 19 Korelační diagram koncentrace draslíku, koncentrace thoria a magnetické susceptibilita na rychlosti šíření seismických vln ve směru \underline{a} v horninových vzorcích. Pro korelaci jsou použity pouze vzorky s pórovitostí 5-8 % za účelem minimalizace vlivu pórovitosti na rychlost šíření akustického signálu.

Podíl Draslíku, Uranu a Thoria na celkové radioaktivitě sedimentů



Graf 20 Sloupcové diagramy znázorňující podíly jednotlivých radioaktivních prvků na celkovém dávkovém příkonu gama záření ve vrtu. Hodnoty jsou vypočteny podle průměrných koncentrací prvku pro daný horninový typ z analýz horninových vzorků.

9 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti z karotážních křivek

9.1 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu DB-1

KŘÍDA

V turonských monotónních vápnitých sedimentech dávají výpočty pórovitosti z NNK i z R_{ap} 164 obdobné výsledky souhlasící s laboratorními daty. V úseku 160-180 m došlo k výraznému zvýšení pórovitosti z NNK oproti laboratornímu údaji. Příčinou je pokles intenzity NNK. GK ani kavernometrie se v úseku výrazně nemění.

Stanovení pórovitosti z NNK v cenomanu dává věrohodné výsledky souhlasící s laboratorními údaji. Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 v cenomanu v korycanských vrstvách jsou zvýšené oproti laboratorním údajům. Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 v prachovcích peruckých vrstev jsou zvýšené oproti laboratorním údajům, výpočet probíhal podle zjištěného korelačního vztahu (vztah 9) vztahujícího se k mořským usazeninám.

KARBON

Výsledky stanovení pórovitosti v karbonských sedimentech z NNK i z R_{ap} 164 jsou věrohodné, výrazně se neodchylují od laboratorních dat. V poloze pískovců v hloubce 1095-1114 m jsou výsledky stanovení pórovitosti z NNK mírně zvýšené oproti laboratorním datům, výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 vykazují naopak nižší hodnoty oproti laboratorním údajům, poloha pískovců není oproti okolním aleuropelitům odporově kontrastní. To je patrně způsobeno přítomností vrstevní vody s měrným elektrickým odporem blízkým 0,22 Ω m.

9.2 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu STR-1

KŘÍDA

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 z větší části nejsou v rozporu s laboratorními daty. Poněkud nižší hodnoty oproti laboratorním datům vykazují pórovitosti stanovené z R_{ap} 164 v úseku 85-120 m. Tento rozdíl je určen lokální platností popsané korelace formačního faktoru s pórovitostí (vztah 9). V úseku cca 185-210 m jsou pórovitosti stanovené z R_{ap} 164 zvýšené oproti laboratorním údajům pravděpodobně

v důsledku přítomnosti silně vápnité polohy s vysokým měrným elektrickým odporem a nízkou pórovitostí, podobně jako v případě vrtu MV-1.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK vykazují ve svrchní části vrtu do hloubky 150 m s výjimkou polohy 90-105 m nižší hodnoty oproti laboratorním údajům. Příčinou je příliš vysoká oprava na jílovitost, způsobená relativně vysokou úrovní radioaktivity pískovců, která je srovnatelná s radioaktivitou podložních slínovců. Výsledky stanovení pórovitosti z NNK ve spodní části křídového profilu pod úrovní 150 m nejsou v rozporu s laboratorními daty.

KARBON

Výsledky stanovení pórovitosti v karbonských sedimentech z R_{ap} 164 podle Ellanskij (1978) (vztah 8) velmi dobře souhlasí s laboratorními údaji. V mšeckých a hředelských vrstvách (1105-1168 m) jsou hodnoty pórovitosti stanovené z R_{ap} 164 zvýšené oproti laboratorním údajům. Jílovce představují uloženiny hlubokého jezera, které se svým sedimentačním prostředím vzniku odlišují od okolních hornin.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK v líňském souvrství jsou reálné, do značné míry souhlasí s laboratorními daty. V úseku 782-794 m se nacházejí žíly neovulkanitů, jejichž přítomnost se projevuje zvýšením radioaktivity. V blízkosti žilného tělesa jsou sedimenty pravděpodobně kontaktně metamorfovány, proto zde pórovitost není stanovena. Soustavně nižší hodnoty oproti laboratorním datům i výsledkům stanovení pórovitosti podle vztahu 8 vykazují pórovitosti z NNK v bazální části líňského souvrství pod 1050 m.

Problematické je stanovení pórovitosti z NNK ve svrchní části slánského souvrství v mšeckých až kamenomosteckých vrstvách (1078-1170 m). Celý úsek se výrazně liší od podloží i nadloží svou vysokou úrovní radioaktivity, což komplikuje opravu na jílovitost.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK v jelenických vrstvách, kladenském a týneckém souvrství jsou vcelku reálné, do značné míry se shodují s laboratorními daty. V polohách prachovců v cca 1221, 1227 a 1237 m jsou pórovitosti z NNK zvýšené oproti laboratorním datům, patrně v důsledku jejich relativně nízké radioaktivity a opravy na jílovitost.

9.3 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu Vf-1

KŘÍDA

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 ve svrchní části vrtu do cca 210 m (teplické a březenské souvrství, flyšoidní facie) vykazují ve většině profilu spíše nižší hodnoty oproti laboratorním výsledkům. Tento rozdíl je určen lokální platností popsané korelace formačního faktoru s pórovitostí (vztah 9).

Výsledky stanovení pórovitosti podle NNK ve svrchní části vrtu do 210 m jsou reálné, nejsou v rozporu s laboratorními údaji.

Ve spodní části teplického a březenského souvrství (vápnité jílovce) není k dispozici dostatek laboratorních dat pro kalibraci NNK a porovnání výsledků stanovení pórovitosti.

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 v turonských horninách jsou v dobré shodě s laboratorními daty. Zvýšené oproti laboratorním datům jsou pórovitosti stanovené z R_{ap} 164 v přechodové zóně mezi cenomanem a turonem.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK v turonských horninách jsou v dobré shodě s laboratorními daty.

V cenomanských pískovcích se zdá pórovitost stanovená z R_{ap} 164 i z NNK nadhodnocená, ale srovnání s laboratorními daty není jednoznačné, cenoman není dostatečně navzorkován.

KARBON

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 podle vztahu 8 v líňském souvrství jsou v dobré shodě s laboratorními daty.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK v karbonském úseku vrtu se ve značné části souvrství příliš neshodují s laboratorními údaji a s výsledky stanovení pórovitosti podle vztahu 8 (Ellanskij 1978). V úseku cca 1020-1075 jsou výsledky zvýšené oproti laboratorním údajům i výsledkům stanovení pórovitosti podle vztahu 8. Příčinou je vysoký útlum NNK při nízké radioaktivitě hornin (vápnitých jílovců, prachovitých pískovců). V úsecích 1150-1190 m, 1240-1290 m a 1330-1360 m vykazují výsledky stanovení pórovitosti nižší hodnoty oproti laboratorním údajům i výsledkům stanovení pórovitosti z R_{ap} 164. Příčinou je zvýšená úroveň radioaktivity a následná příliš vysoká oprava na jílovitost v těchto úsecích.

9.4 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu PU-4

Ve vrtu PU-4 byla pro nedostatek dat v křídovém úseku vrtu do 64 m vyhodnocena pórovitost pouze v karbonském úseku vrtu.

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 podle vztahu 8 (Ellanskij 1978) jsou věrohodné, do značné míry souhlasí s laboratorními daty. Místy se negativně projevuje malé rozlišení zdánlivého měrného elektrického odporu mezi pískovci a jílovcí pravděpodobně v důsledku přítomnosti vrstevní vody s měrným elektrickým odporem blízkým $0,22 \Omega m$.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK jsou celkově reálné, z velké části souhlasí s laboratorními daty. Místy vykazují pórovitosti stanovené z NNK nereálně nízké hodnoty v důsledku příliš vysoké opravy na jílovitost, což je způsobeno zvýšenou úrovní radioaktivity sedimentů (úseky 415-440 m a 1070-1130 m). V úseku 870-910 m je pórovitost stanovená z NNK zvýšená oproti laboratorním údajům, toto zvýšení hodnot se projevuje i u stanovení pórovitosti z AK.

Výsledky stanovení pórovitosti z AK v líňském souvrství až do hloubky cca 350 m jsou více či méně zvýšené oproti ostatním údajům pórovitosti. Ve svrchní části souvrství do hloubky cca 200 m jsou výsledky stanovení pórovitosti dosti zvýšené oproti ostatním údajům. V části souvrství 200-350 m jsou výsledky stanovení pórovitosti z AK zvýšené oproti ostatním údajům pórovitosti v menší míře. Ve spodní části líňského souvrství pod 350 m jsou výsledky stanovení pórovitosti z AK reálné, odpovídající ostatním karotážním i laboratorním výsledkům.

Nadhodnocení pórovitosti podle AK je patrně způsobeno nedostatečnou opravou na jílovitost. Křivka GK v líňském souvrství špatně rozlišuje jílovité a nejílovité horniny. Jílovce líňského souvrství mají relativně nízkou úroveň radioaktivity ve srovnání s nadložními křídovými jílovcí i podložními jílovcí slánského souvrství.

Výsledky stanovení pórovitosti z AK v kladenském až slánském souvrství jsou věrohodné, v zásadě odpovídají laboratorním i ostatním karotážním údajům pórovitosti. Pórovitost stanovená z AK v jílovcích mšeckých a hředelských vrstev je oproti ostatním údajům pórovitosti zvýšená. Jde o sedimenty vzniklé v jezerních podmínkách a mohou se lišit v rychlosti šíření akustického signálu od nadložních a podložních jílovců. V úseku 870-910 m je pórovitost stanovená z AK zvýšená oproti laboratorním údajům, toto zvýšení hodnot oproti laboratorním údajům pórovitosti se projevuje i u stanovení pórovitosti z NNK. Velmi dobrá shoda pórovitosti stanovené z AK s laboratorními údaji existuje

v bazální části nýřanských vrstev v monotónním hrubozrnném písčitém vývoji mirošovského obzoru.

V blízkosti metráže 472 a 1260 m se na výpočtu pórovitosti z AK, NN a v prvním případě i z R_{ap} 164 projevila uhelná sloj jako anomálie nereálně vysokých pórovitostí.

9.5 Zhodnocení výsledků výpočtů pórovitosti ve vrtu MV-1

KŘÍDA

Výsledky stanovení pórovitosti v křídových sedimentech z NNK a z AK jsou velmi podobné, do značné míry se shodují s laboratorními výsledky pórovitosti, od laboratorních údajů se výrazněji liší ve svrchní části sledu do cca 90 m. V tomto úseku vykazují hodnoty pórovitosti z AK i z NNK nižší hodnoty oproti laboratorním datům. Příčinou je zde příliš vysoká oprava na jílovitost z GK. GK dosahuje v tomto úseku (pískovce) relativně vysokých hodnot srovnatelných s hodnotami GK v jílovcích a prachovcích bělohorského a jizerského souvrství. Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 ve většině křídového profilu jsou věrohodné, do značné míry souhlasí s laboratorními daty. Větší odchylky se vyskytují v úseku cca 140-190 m a v úseku cca 250-270 m, tyto rozdíly jsou určeny lokální platností zjištěné korelace formačního faktoru s pórovitostí (vztah 9). V úseku 250-270 m je neplatnost vztahu 9 způsobena přítomností silně vápnité polohy s vysokým měrným elektrickým odporem a nízkou pórovitostí.

KARBON

Výsledky stanovení pórovitosti z R_{ap} 164 v karbonských sedimentech jsou dosti věrohodné, v zásadě se shodují s laboratorními daty. V úseku 565-620 m jsou pórovitosti pískovců stanovené podle R_{ap} 164 snižené oproti ostatním údajům pórovitosti. Křivka R_{ap} 164 má malé rozlišení mezi pískovci a jílovcí v důsledku prosycení elektrolytem s měrným elektrickým odporem blízkým 0,22 Ω m.

Výsledky stanovení pórovitosti z NNK ve většině karbonského úseku vrtu jsou reálné, výrazně se neodchylující od laboratorních dat. V polohách jílovců kolem metráží 329 a 350 m je pórovitost z NNK zvýšená oproti laboratorním údajům i údajům z křivky R_{ap} 164. Polohy jílovců a pískovců se zde kontrastně projevují v parametru NNK, ale jílovce se neprojevují zvýšenou radioaktivitou.

Výsledky stanovení pórovitosti podle NNK v úseku 450-485 m jsou sníženy oproti laboratorním výsledkům i ostatním karotážním údajům. Pravděpodobně je to důsledek zvýšené úrovně radioaktivity sedimentů v úseku.

Výsledky stanovení pórovitosti podle NNK v prachovcích bazální části kladenského souvrství pod 870 m jsou zvýšené oproti laboratorním údajům i karotážním výsledkům. Příčinou je nízká úroveň radioaktivity prachovců a z toho vyplývající nedostatečná oprava neutronové pórovitosti na jílovitost.

Výsledky stanovení pórovitosti podle AK v líňském souvrství nejsou uspokojivé, ve značné části souvrství jsou výsledky stanovení pórovitosti z AK zvýšené oproti laboratorním i ostatním karotážním metodám. Naměřená křivka AK je velmi členitá. Je pravděpodobné, že naměřené hodnoty Δt neodpovídají reálným hodnotám. Možné vysvětlení je, že jsou měřeny falešné hodnoty Δt v důsledku existence velkého množství seismických rozhraní, na kterých dochází k odrazu a lomu seismického paprsku.

Výsledky stanovení pórovitosti podle AK ve slánském až kladenském souvrství jsou reálné, významně se neodchyľují od ostatních karotážních ani laboratorních údajů pórovitosti.

V hloubce 562 m se projeví na hodnotách pórovitosti vypočtené z NNK, AK a méně na hodnotách z R_{ap} 164 uhelná sloj mocnosti 1,7 m (Žbánek et al. 1991) jako anomálie relativně vyšších nereálných pórovitostí.

9.6 Průměrné rozdíly mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty

V tabulce 19 jsou vypočteny průměry z absolutních hodnot rozdílů mezi pórovitostí stanovené z odporové karotáže (Δp_R), z neutron neutron karotáže (Δp_{NN}), z akustické karotáže (Δp_{AK}) a laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra. Jsou použita úplná data z celých vrtů. Zvlášť jsou posuzovány horniny křídové a karbonské. Jako diskrétní hodnota pórovitosti z karotážního měření je použit aritmetický průměr z intervalu 2 m (21 hodnot). Pórovitost v křídě je stanovena podle vztahu 9, pórovitost v karbonských sedimentech podle vztahu 8.

V tabulce 20 jsou srovnány průměrné absolutní rozdíly mezi laboratorními výsledky stanovení pórovitosti na vzorcích vrtných jader a stanovením pórovitosti z karotážních měření v čistých křídových křemítych pískovcích. Posuzovány jsou výpočty pórovitosti z karotážního měření R_{ap} 164 podle Archieho vztahu (vztah 4) (Δp_{RA}) a podle

vztahu 9 (Δp_{RK}) a dále z AK (Δp_{AK}) a z NNK (Δp_{NN}). Ve vrtech PU-4 a DB-1 není k dispozici dostatek vhodných dat k vzájemnému porovnání.

V tabulce 21 jsou srovnány průměrné absolutní rozdíly mezi laboratorními výsledky stanovení pórovitosti na vzorcích vrtných jader a stanovením pórovitosti z karotážních měření v karbonských pískovcích. Posuzovány jsou výpočty pórovitosti z karotážního měření R_{ap} 164 podle (Ellanskij 1978) Δp_{RE} (vztah 8) a dále z AK (Δp_{AK}) a z NNK (Δp_{NN}). V karbonu vrtu Vf-1 není vyvinut dostatek pískovců k vzájemnému porovnání.

Data v tabulkách 19, 20 a 21 představují vzájemné relativní srovnání dvou odlišných skupin dat. Terénní karotážní data a vzorky vrtného jádra se liší svou reprezentativností horninového masivu. Oba druhy dat jsou ovlivněná také negeologickými faktory jako jsou zejména průměr vrtu, nepřesnosti ve stanovení měrného elektrického odporu vrstevní vody, porušení vrtného jádra vrtáním a podobně. Významné chyby mohou také vzniknout posunem karotážní hloubky oproti hloubce vrtného jádra. Ve prospěch tohoto hodnocení stojí naopak statistické chování velkého množství posuzovaných dat. I přes uvedené nepřesnosti dává stanovení průměrného rozdílu mezi laboratorními údaji a karotážními výpočty přibližnou představu o spolehlivosti stanovení pórovitosti podle studovaných karotážních metod.

Tabulka 19 Průměrný absolutní rozdíl mezi karotážním výpočtem pórovitosti z odporové karotáže (Δp_R), neutron neutron karotáže (Δp_{NN}), akustické karotáže (Δp_{AK}) a laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra. Jsou použita úplná data z celých vrtů.

Průměrný rozdíl pórovitosti mezi výpočtem z karotáže a stanovením na vzorcích [%]						
	Křída			Karbon		
	Δp_R	Δp_{NN}	Δp_{AK}	Δp_R	Δp_{NN}	Δp_{AK}
MV-1	4,5	3,4	3,3	2,6	4,1	4,8
DB-1	4,9	3,3	-	2,7	3,0	-
St-1	4,7	6,0	-	2,5	3,1	-
Vf-1	7,8	6,4	-	2,6	4,6	-
Pu-4	-	-	-	3,4	4,6	5,3

Tabulka 20 Průměrný absolutní rozdíl mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty pórovitosti z odporového měření R_{ap} 164 podle Archieho vztahu (Δp_{RA}), podle vztahu 9 (Δp_{RK}), z NNK (Δp_{NN}) a z AK (Δp_{AK}) v čistých křídových pískovcích.

Průměrný rozdíl pórovitosti (křídové pískovce) [%]				
	Δp_{RK}	Δp_{RA}	Δp_{NN}	Δp_{AK}
MV-1	3,1	5,0	2,2	2,7
DB-1	-	-	-	-
St-1	5,1	8,1	6,1	-
Vf-1	4,5	2,1	4,9	-
Pu-4	-	-	-	-

Tabulka 21 Průměrný absolutní rozdíl mezi laboratorním stanovením pórovitosti na vzorku vrtného jádra a mezi karotážními výpočty pórovitosti z odporového měření R_{ap} 164 podle vztahu 8 Ellanskij (1978) (Δp_{RE}), z NNK (Δp_{NN}) a z AK (Δp_{AK}) v karbonských pískovcích.

Průměrný rozdíl pórovitosti (karbonské pískovce) [%]			
	Δp_{RE}	Δp_{NN}	Δp_{AK}
MV-1	4,4	4,6	4,0
DB-1	3,8	3,6	-
St-1	2,4	2,8	-
Vf-1	-	-	-
Pu-4	4,5	4,8	3,6

10 Zhodnocení výsledků statistického zpracování fyzikálních vlastností hornin ze vzorků vrtných jader.

Koncentrace draslíku (graf 4)

Srovnání koncentrací draslíku v jednotlivých typech sedimentárních hornin ukazuje obecný pokles koncentrace draslíku s rostoucí zrnitostí hornin. Tento trend obecně platí pro křídové i karbonské horniny s výjimkou pelokarbonátů. Úroveň obsahu draslíku v karbonských sedimentech je obecně vyšší, než v křídových sedimentech. Nejvyšší koncentrace draslíku byly zjištěny u karbonských ryolitů, nejnižší naopak u podložních zelených břidlic a doleritů.

Koncentrace uranu (graf 5)

V křídových horninách mají oproti ostatním typům hornin relativně vyšší obsahy uranu horninové typy 2 a 3 (prachovce a jílovce). Úroveň koncentrace uranu v ostatních typech křídových hornin se příliš nemění. V karbonských klastických sedimentech ukazuje srovnání koncentrací uranu obecný pokles obsahu uranu s rostoucí zrnitostí hornin. Nejnižší obsahy uranu mají podložní dolerity. Melafyry jsou zastoupeny pouze čtyřmi vzorky, ve třech případech mají nízkou koncentraci uranu do 3 ppm, pouze v jednom případě byla změřena koncentrace uranu 20 ppm eU.

Koncentrace thoria (graf 6)

Srovnání koncentrací thoria v jednotlivých typech sedimentárních hornin ukazuje obecný pokles koncentrace thoria s rostoucí zrnitostí hornin. Tento trend je poměrně výrazný v karbonských klastických horninách. V křídových horninách je tento trend méně výrazný. Nejvyšší obsahy thoria byly naměřeny u ryolitů, v ostatních vyvřelých a metamorfovaných horninách jsou koncentrace thoria spíše podprůměrné.

Úhrnná gama aktivita (graf 7)

Obsahy draslíku, uranu a thoria se projevují v intenzitě úhrnné gama aktivity hornin. Se vzrůstající zrnitostí klastických sedimentů obecně klesá úroveň úhrnné gama aktivity. V křídových horninách se trend neprojevuje ve všech skupinách hornin. V karbonských horninách se tento trend projevuje poměrně výrazně. Úhrnná gama aktivita karbonských sedimentů je obecně vyšší než u křídových sedimentů. Pelokarbonáty

vykazují široké rozmezí radioaktivity. Nejvyšší úroveň radioaktivity byla zjištěna v ryolitech. V melafyrech má pouze jeden vzorek vysokou úroveň radioaktivity přes 20 ppm Uekv, zbylé tři mají do 8 ppm Uekv.

Objemová hustota (graf 8)

Objemová hustota v křídových horninách v typech 1 až 4 nevykazuje přílišné rozdíly ve skupinách. V pískovcích, zvláště křemitých (typ 6) byly zjištěny výrazně nižší hodnoty objemové hustoty. Vzhledem k malým rozdílům v mineralogické hustotě mezi typy křídových hornin je patrné, že objemová hustota je řízena pórovitostí. V karbonských klastických sedimentech je patrný mírný pokles objemové hustoty s rostoucí zrnitostí sedimentů. Vysokou objemovou hustotou se projevují pelokarbonáty (typ 11). Nejnižší objemové hustoty mají křídové křemité pískovce (typ 6).

Mineralogická hustota (graf 9)

V chování parametru mineralogické hustoty se výrazně odlišují křídové a karbonské sedimenty. Křídové horniny nevykazují v parametru mineralogické hustoty přílišné rozdíly mezi jednotlivými typy. V karbonských horninách je patrný pokles mineralogické hustoty s rostoucí zrnitostí klastických sedimentů. Nejvyšší mineralogické hustoty byly zjištěny u pelokarbonátů (typ 11). Nejnižší mineralogické hustoty vykazují některé karbonské aleuropelity (typ 7).

Pórovitost (graf 10)

Ze srovnání pórovitostí v jednotlivých horninových typech je patrné, že pórovitost křídových i karbonských sedimentů obecně roste s jejich zrnitostí. V křídových sedimentech je tento obecný trend dosti výrazný. Tomuto trendu se vymyká horninový typ 4 (prachovec vápnitý a písčítý). Možným vysvětlením by mohla být zvýšená vápnatost těchto sedimentů ve formě tmelu. Pórovitosti horninových typů 4 a 1 (slínovce) jsou srovnatelné.

Pórovitost karbonských sedimentů je obecně nižší než u křídových sedimentů. Pórovitost karbonských klastik roste se zrnitostí méně výrazně než u křídových sedimentů. Nejnižší hodnoty pórovitosti jsou pozorovány u pelokarbonátů (typ 11). Nejvyšších pórovitostí dosahují křídové pískovce (typ 5 a 6).

Rychlost šíření seismických P vln ve směru *a* (graf 11)

V křídových horninách v typech 1 až 4 lze pozorovat trend narůstání rychlosti šíření P vln ve směru *a* se vzrůstající zrnitostí. V křídových pískovcích (typy 5 a 6) jsou pozorovány obecně relativně nízké rychlosti šíření seismických P vln ve směru *a*. V karbonských horninách lze pozorovat nepříliš výrazný trend narůstání rychlosti šíření P vln ve směru *a* se vzrůstající zrnitostí klastických sedimentů. Nejvyšší rychlosti šíření seismických vln ve směru *a* se vyskytují v podložních doleritech. V sedimentech se objevují nejvyšší rychlosti šíření seismických vln ve směru *a* v některých pelokarbonátech (typ 11). Nejnižší rychlosti šíření seismických vln ve směru *a* jsou pozorovány v křídových pískovcích (typ 5 a 6).

Rychlost šíření seismických P vln ve směru *b* (graf 12)

V křídových aleuritech a pelitech (typ 1 až 4) jsou pozorovány obecně vyšší hodnoty rychlosti šíření seismických P vln ve směru *b* než v křídových pískovcích (typ 5 a 6). Karbonské sedimenty typu 7 až 10 v parametru rychlosti šíření seismických P vln ve směru *b* nevykazují přílišné rozdíly mezi jednotlivými horninovými typy. Relativně vyšší rychlosti šíření P vln ve směru *b* oproti ostatním karbonským sedimentům byly zjištěny u pelokarbonátů (typ 11).

Poměr rychlostí šíření seismických P vln ve směru *b* a ve směru *a* (graf 13)

Rychlost šíření seismických P vln ve směru *b* (v rovině laminace) je vyšší než rychlost šíření seismických P vln ve směru *a* (kolmo na laminaci). U křídových i karbonských sedimentů je zřejmý obecný trend poklesu poměru v_{pb}/v_{pa} s rostoucí zrnitostí. Hodnoty poměru rychlostí šíření seismických P vln v_{pb}/v_{pa} blízké jedné odpovídají izotropnímu prostředí z hlediska rychlosti šíření seismických vln. V rámci křídových hornin vykazují nejvyšší poměry v_{pb}/v_{pa} jílovce (horninový typ 2), nejnižší poměry v_{pb}/v_{pa} mají obecně pískovce (typy 5 a 6). V karbonských horninách se objevují nejvyšší poměry v_{pb}/v_{pa} v aleuropelitech a pelokarbonátech.

Magnetická susceptibilita (graf 14)

Magnetická susceptibilita se mění v rozmezí několika řádů, proto byl pro vykreslení zvolen parametr $\log \kappa \cdot 10^9$. V křídových i karbonských sedimentárních horninách se projevuje trend poklesu magnetické susceptibility s rostoucí zrnitostí. Karbonské

sedimenty mají obecně vyšší magnetickou susceptibilitu, než křídové sedimenty. Některé velmi odlehle hodnoty byly v grafu zanedbány.

Korelace rychlosti šíření seismických P vln v hornině ve směru a na pórovitosti pro křídové horniny (graf 15)

Jednotlivé horninové typy jsou znázorněny odlišnými symboly. Obecně platí, že se vzrůstající pórovitostí klesá rychlost šíření seismických vln. Porovnání korelace rychlosti šíření seismických vln s pórovitostí pro jednotlivé horninové typy napovídá, že při konstantní pórovitosti rychlost šíření seismických vln roste se zrnitostí.

Korelace rychlosti šíření seismických P vln v hornině ve směru a na pórovitosti pro karbonské horniny (graf 16).

Jednotlivé horninové typy jsou znázorněny odlišnými symboly. V karbonských horninách má korelace rychlosti šíření seismických vln obdobný charakter jako v křídových horninách. Obecně platí, že se vzrůstající pórovitostí klesá rychlost šíření seismických vln. Porovnání korelace rychlosti šíření P vln s pórovitostí pro jednotlivé horninové typy ukazuje, že při konstantní pórovitosti rychlost šíření seismických vln roste se zrnitostí.

Korelace objemové a mineralogické hustoty sedimentů s hloubkou jejich uložení (graf 17)

Odlišnými symboly jsou zobrazeny mineralogická a objemová hustota jemnozrnných (jílovce a prachovce) a hrubozrnných (pískovce a slepence) hornin. Objemové hustoty rostou s hloubkou uložení hornin. Na základě koeficientů regresních přímk (tabulka 22) lze říci, že objemové hustoty pískovců a slepenců jsou nižší a rostou s hloubkou uložení rychleji, než objemové hustoty jílovců a prachovců. Mineralogické hustoty se s hloubkou uložení zřetelně nemění. V tabulce 22 jsou uvedeny koeficienty regresních přímk proložených daty objemové a mineralogické hustoty a jejich koeficientů determinace R^2 .

Tabulka 22 Koeficienty regresních přímků proložených daty objemové a mineralogické hustoty (graf 17) a jejich koeficientů determinace R^2 .

Koeficienty regresních přímků ve tvaru $\sigma \text{ [g.cm}^3\text{]} = k * h \text{ [km]} + q$				
		koeficienty		
		k	q	R^2
Objemová hustota	jílovce a prachovce	0.19	2.34	0.41
	pískovce a slepence	0.35	2.05	0.35
Mineralogická hustota	jílovce a prachovce	0.05	2.67	0.07
	pískovce a slepence	0.04	2.65	0.16

Korelace rychlosti šíření seismických P vln v horninových vzorcích s hloubkou jejich uložení (graf 18)

Odlišně jsou zobrazeny rychlosti šíření seismických vln ve směru *a* a ve směru *b*. Rychlost šíření seismických vln v obou směrech s hloubkou uložení horniny roste. Oběma skupinami dat byly proloženy regresní přímky. Zjištěné koeficienty regrese jsou uvedeny v tabulce 23.

Tabulka 23 Koeficienty definující regresní přímky proložené hodnotami rychlosti šíření seismických vln v grafu 18.

Koeficienty regresních přímků ve tvaru $v_p \text{ [km/s]} = k * h \text{ [km]} + q$			
	koeficienty		
	k	q	R^2
v_{pa}	1.32	2.97	0.45
v_{pb}	1.37	3.43	0.47

Směrnice obou proložených přímků se příliš neliší. Rychlosti šíření seismických vln ve směru *a* jsou v průměru o cca 0,5 km/s nižší než rychlosti šíření seismických vln ve směru *b*.

Korelace koncentrace draslíku, koncentrace thoria a magnetické susceptibility na rychlosti šíření seismických vln ve směru a v horninových vzorcích (graf 19)

Pro vykreslení korelačního diagramu jsou použity pouze vzorky s pórovitostí 5-8 % za účelem minimalizace vlivu pórovitosti na rychlost šíření seismických vln a zobrazení korelace mezi parametry chemického složení horniny a rychlostí šíření seismických vln v hornině. Magnetická susceptibilita studovaných hornin se mění v rozmezí několika řádů, proto je zobrazena v logaritmickém měřítku. U všech tří zobrazených parametrů lze pozorovat jistou míru korelace s rychlostí šíření seismických vln. S rostoucím obsahem draslíku, uranu a magnetických minerálů lze pozorovat pokles rychlosti šíření seismických vln. Jistá míra korelace mezi těmito parametry souvisí pravděpodobně s jílovitostí hornin.

Podíly jednotlivých radioaktivních prvků na celkovém dávkovém příkonu gama záření hornin ve vrtu (graf 20)

Hodnoty dávkového příkonu gama záření hornin ve vrtu jsou vypočteny podle průměrných koncentrací prvku pro daný horninový typ ze spektrometrických analýz horninových vzorků. Na diagramu 20 lze vidět, že podíly draslíku, uranu a thoria na úhrnné gama aktivitě hornin v sedimentech jsou obdobné. Úhrnná gama aktivita v sedimentech obecně klesá s rostoucí zrnitostí hornin. V křídových sedimentech se tomuto trendu vymykají křemité pískovce s příměsemi (horninový typ 5). V karbonských sedimentech je trend poklesu úhrnné gama aktivity se zrnitostí dobře patrný. Celkově je úhrnná gama aktivita karbonských sedimentů vyšší, než u křídových sedimentů.

11 Závěry

11.1 Závěry k výpočtům pórovitosti z karotážních měření

Pro stanovení pórovitosti z elektrické odporové metody R_{ap} 164 je stěžejní detailní znalost měrného elektrického odporu elektrolytu vyplňujícího póry horniny. Měření elektrické odporové karotáže pro účely stanovení pórovitosti sedimentů je proto vhodné provádět až po vyčištění vrtu od zbytků vrtného výplachu, který může měrný elektrický odpor elektrolytu v blízkém okolí vrtu výrazně ovlivnit.

Stanovení pórovitosti z elektrické odporové metody podle vztahu 8 (Ellanskij 1978) je možné pouze v karbonských horninách s vysokou mineralizací vrstevních vod.

Stanovení pórovitosti z elektrické odporové metody v dobře vytříděných, nejílovitých křídových pískovcích, kde není potřebná žádná oprava na jílovitost je možné podle Archieho vztahu (vztah 4).

Pro stanovení pórovitosti z elektrické odporové karotáže v mořských křídových usazeninách s příměsí jílovité frakce, byl použit empirický vztah mezi formačním faktorem a pórovitostí. Použitý vztah není vhodný pro silně vápnité polohy.

Výsledky stanovení pórovitosti z odporových metod v cenomanském a turonském úseku vrtu Vf-1 je nutné uvažovat v kontextu způsobu, jakým byl stanoven měrný elektrický odpor elektrolytu v pórech R_w v době měření R_{ap} 164.

Stanovení pórovitosti z akustické karotáže vykazuje lepší výsledky v úsecích s klidným polem křivky AK, příliš členité pole křivky AK může být důsledkem přítomnosti mnoha seismických rozhraní, na kterých dochází k odrazení a lámání vln a měřené hodnoty rychlosti šíření seismických vln v horninách mohou být zkreslené.

Velmi dobrá shoda pórovitosti stanovené z AK s laboratorními údaji existuje ve významném kolektoru ve vrtu PU-4 v bazální části nýřanských vrstev v monotónním hrubozrnném písčitém vývoji mirošovského obzoru a také v křídovém úseku vrtu MV-1. Data AK byla bohužel dostupná pouze na těchto dvou vrtech, proto jsou možnosti hodnocení spolehlivosti stanovení pórovitosti z AK omezené.

Pro stanovení pórovitosti z NNK je největším omezením nutnost kalibrace podle vzorků vrtného jádra. Výhodou tohoto způsobu kalibrace je částečné odstranění vlivu průměru vrtu, popřípadě dalších nežádoucích vlivů, například přítomnosti chlóru.

Správná oprava na jílovitost je důležitá zejména pro výsledky stanovení pórovitosti z NNK a AK. Správnost opravy na jílovitost závisí na míře korelace jílovitosti

s radioaktivitou sedimentů a její stálosti v rámci geologické jednotky. Chyby ve stanovení jílovitosti jsou způsobeny pravděpodobně proměnlivým mineralogickým složením jílovců a pravděpodobně také sekundárními přesuny radioaktivních prvků způsobujících jejich akumulaci, nesouvisející s jílovitostí. Hlubší studium parametru jílovitosti by vyžadovalo užší propojení geofyzikálních metod s laboratorními analytickými metodami.

Stanovení pórovitosti z karotážních metod je obtížné, je možné při splnění geologických a technických předpokladů. Příznivější podmínky a tedy přesnější určení pórovitosti nabízí homogenní polohy vrtného profilu. Pro vyšší přesnost a spolehlivost karotážního stanovení pórovitosti sedimentů je velmi vhodné doplnit karotážní měření analýzou vrtného jádra.

11.2 Závěry ke zpracování fyzikálních vlastností horninových vzorků

U některých studovaných parametrů byl pozorován statistický pokles nebo nárůst hodnot s rostoucí zrnitostí sedimentů. Pokles hodnot s rostoucí zrnitostí se výrazněji projevil v úhrnné gama aktivitě, koncentraci draslíku a thoria, objemové hustotě, poměru rychlosti šíření seismických P vln v_{pb}/v_{pa} a magnetické susceptibilitě. Nárůst hodnot s rostoucí zrnitostí se výrazněji projevil u pórovitosti a rychlosti šíření seismických P vln ve směru a v karbonských sedimentech.

Byly pozorovány rozdíly mezi fyzikálním projevem křídových a karbonských sedimentů. Karbonské sedimenty se od křídových výrazněji liší vyššími obsahy radioaktivních prvků, zejména draslíku a vyšší úrovní magnetické susceptibility. Další odlišností karbonských sedimentů oproti křídovým sedimentům je trend poklesu mineralogické hustoty s rostoucí zrnitostí sedimentů. V křídových horninách tento trend pozorován není.

Byla zjištěna rozdílná korelace objemové hustoty jemnozrnných (jílovce, prachovce) a hrubozrnných (pískovce, slepence) hornin s hloubkou. U pískovců a slepenců je objemová hustota nižší a roste s hloubkou rychleji, než u jílovců a prachovců.

U křemitých pískovců s příměsemi (typ 5) byla pozorována úhrnná gama aktivita srovnatelná s úhrnnou gama aktivitou slínovců (typ 1) a vápnitých a písčitých prachovců (typ 4). Tento fakt může narušovat předpoklady pro výpočet jílovitosti z gama karotáže v křídových horninách.

12 Seznam použité literatury

Bulínová, M. (1984): Závěrečná zpráva o karotážním měření na vrtě DB-1. Geindustria, Praha

Bulínová, M. (1988): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtě MV-1. Geindustria, Praha

Čapek, A., Kokošková, L. (1985): Vysoká Libeň. Vyhodnocení vrtu VL-2. Vodní zdroje, Praha

Ellanskij, M. M. (1978): Petrofizičeskije svjazi i komplexnaja interpretacija danyh promyslovoj geofiziki. Nedra, Moskva

Halliburton Logging Services, Inc.: (1991): .Log Interpretation Charts. HLS, Houston, USA

Hearst, J. R., Nelson, P. H., Paillet, F. L. (2000): Well Logging for Physical Properties. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Herčík, F. (1987): Hydrogeologická syntéza České křídové pánve. Stavební geologie, Praha

Holub, V., Chaloupský, J., Čadková, Z., Čech, J., Hercogová, J., Jetel, J., Knobloch, E., Rybářová, L., Schovánková, D., Slavík, J., Švábenická, L., Valečka, J., Valín, F., Vejlupek, M. (1984): Strukturální vrt Vf-1 Volfartice. Ústřední ústav geologický, Praha

Chaloupský, J., Kukul, Z., Pražák, J., Slavík, J., TÁSLER, R. (1984): Vrt DB-1, Dolní Bousov. Ústřední ústav geologický, Praha

Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda J., Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České Republiky. Academia, Praha

Chochlíková, J. (1983): Závěrečná zpráva o karotážním měření vrtu Vf-1. Geindustria, Praha

Kachlák, V. (2008): Geologický vývoj území České republiky. Doplněk k publikaci "Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého paliva". SÚRAO, Praha

Karous, M. (1989): Geoelektrické metody průzkumu. SNTL, Praha

Klener, J. (1983): Strukturní vrt Strachaly (Str-1). Závěrečná zpráva. Ústřední ústav geologický, Praha

Kobr, M. (1975): Fyzikální vlastnosti sedimentů české křídly.- Zpráva PŘF UK Přírodovědecká fakulta UK, Praha

Kobr, M. (1976): Přehled metod geofyzikálních měření ve vrtech. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Kobr, M., Mareš, S. (1979): Metodické pokyny pro karotážní práce II. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Křest'án, J. (1973): Vývoj algoritmů pro komplexní interpretaci číslicově zapsaných karotážních měření- Etapová zpráva za rok 1972. ČSUP - Geologický průzkum Liberec, Hamr u České Lípy

Křest'án, J. (1974): Vývoj algoritmů pro komplexní interpretaci číslicově zapsaných karotážních měření- Etapová zpráva za rok 1973. ČSUP - Geologický průzkum Liberec, Hamr u České Lípy

Lovborg, L. (1984): The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers - theory, problems, and facilities. Risø National Lab. Rep., M-2456, Risø, Denmark.

Mareš, S. (1966): Kolektorské vlastnosti hornin v karbonu Kladensko-rakovnické pánve. GP Praha, karotáž Tuchlovice

Mareš, S. (1967): Kolektorské vlastnosti karbonských hornin v Kladensko-rakovnické pánvi podle karotáže. Kandidátská disertační práce, PŘF UK, Praha

Mareš, S., Kružík, H. (1970): Výzkum metodiky pro stanovení porozity cenomanských pískovců karotážními metodami. GPUP Hamr u České Lípy-PřF UK, Praha

Marušiak, I., Těžký, A. (1969): Studium možností kvantitativní interpretace elektrokarotážních měření na uranovém ložisku Hamr u České Lípy. UGF, Brno

Mitevová, J., Píchová, E. (1989): Fyzikální vlastnosti hornin vrtů Brodce-1, Dolní Slivno-1, Chorušice-1, Jabkenice-1, Kropáčova Vrutice-1, Mělnické Vtelno-1, Nemyslovice-1 a Sušno-1. Geofyzika n.p., Brno

Patnode, G.E., Wyllie, M.R.J. (1950): The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation. A.I.M.E., Vol. 189, pp. 47-52.

Píchová, E. (1983): Fyzikální vlastnosti hornin na vrtu Volfartice-1. Geofyzika n.p., Brno

Pirson, S. (1966): Handbook of well log analysis. Instituto del libro, Habana

Šula, S. (1968): Etapová zpráva za 1.část IV. Etapy hydrogeologického průzkumu v povodí liběchovky. Stavební geologie, Praha

Trojan, Č. (1966): Vyhodnocení hydrogeologického vrtu v obci Vraný. IGHP, Žilina

Uhmann, J. (1983): Výzkum uhlonosných formací Českého masívu - Fyzikální vlastnosti hornin vrtu Strachaly-1. Geofyzika n.p., Brno

Uhmann, J. (1984): Výzkum uhlonosných formací Českého masívu - Fyzikální vlastnosti hornin vrtu Dolní Bousov-1. Geofyzika n.p., Brno

Vendelštejn, B. J. (1963): Albom nomogram i paletok dlja interpretacii dannyh geofizičeskich metodov issledovanija skvažin. Gostoptechisdat, Moskva

Vlasák, J. (1983): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtu STR-1. Geoindustria, Praha

Vlasáková, J. (1981): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtu PU-4. Geoindustria, Praha

Žbánek, J. (1988): Závěrečná zpráva úkolu Peruc - Kokovice. Zpráva o vrtu Pu 2, Pu 3 a Pu 4. Geoindustria, Praha

Žbánek, J., Bernreiter, V., Bosák, P., Bylová, I., Drozen, J., Kužvartová, A., Molhancová, H., Příbyl, V., Vlasáková, J., Žáková, B. (1988): Vyhledávací etapa průzkumu - Peruc - Kokovice – černé uhlí. Stav ke dni: 31.12.1988. Geoindustria, Praha

Žbánek, J., Alexejeva, L., Benda, V., Bosák, P., Crha, J., Franke, M., Kláš, P., Martinec, P., Neužil, V., Pěgřimočová, J., Prouza, J., Rejent, J., Souta, M., Státník, E., Striitzko, J. (1991): Vyhledávací průzkum Mělník – Benátky nad Jizerou, surovina: černé uhlí, stav ke dni: 30.11.1990. Geoindustria, GMS, Praha