

Sbor. geol. věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 19	Str. 9—63	12 obr.	12 tab.	— příl.	Praha 1991 ISSN 0036-5289
--------------------	-------------------------------------	--------------	------------	------------	------------	------------------------------

Hydrogeologie cenomanu labské oblasti české křídové pánve

Hydrogeology of the Cenomanian aquifer in the Labe region of the Bohemian Cretaceous Basin

Ján Jetel¹ - Lýdia Rybářová²

Předloženo 15. srpna 1989

*Bohemia
Cenomanian
Hydrogeology
Permeability
Gases (gaseous phase)
Gas storage
Hydrochemistry
Mineral waters*

1 : 50 000
13-12, 14, 21—24, 41, 42

Jetel, J. - Rybářová, L. [1991]: Hydrogeologie cenomanu labské oblasti české křídové pánve. — Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 19, 9—63. Praha.

V ý t a h: Cenomanské pískovce labské oblasti české křídové pánve představují jediný souvislý vrstvý kolektor tohoto území. Zhodnocení výsledků hydrogeologických prací pro ověření možnosti podzemního uskladňování plynu v tomto kolektoru podává souhrnný obraz o hydraulických parametrech kolektoru, o podmínkách proudění a o chemismu bazální křídové zvodně. Zvláštní pozornost se věnovala kvantitativnímu i kvalitativnímu výzkumu plynových poměrů. V důsledku sycení hlubinným CO₂ se zde vytvořila rozsáhlá akumulace uhličitých minerálních vod, omezující možnosti využití pro zásobování vodou. Nízká průměrná propustnost a nepravidelný vývoj kolektoru má za následek značnou stagnaci podzemních vod. Podzemní voda zde proudí od SSV k JJZ k regionální bázi odvodnění — údolí Labe — průměrnou efektivní rychlostí 0,06—0,6 metru za rok. Podzemní uskladnění plynu by zde bylo možné pouze při využití technologie uskladňování v horizontální vrstvě s použitím umělé clony.

¹ *Geologický ústav D. Štúra, Bratislava, pracovisko Košice, Garbanova 1, 040 11 Košice*

² *Ústřední ústav geologický, Malostranské nám. 19, 118 21 Praha 1*

Úvod

Cenomanský kolektor labské faciální oblasti české křídové pánve je vzhledem k pelitickému vývoji turonu a coniacu jediným víceméně souvislým vrstvovým kolektorem této oblasti (nebereme-li v úvahu připo-

vrchovou zónu turonských a coniackých pelitů). Z hlediska pozice v křídové pánvi představuje typický bazální kolektor. Akumulaci podzemních vod v tomto kolektoru pak označujeme jako bazální zvodeň české křídové pánve. Cenomanský kolektor je nejspodnějším členem svrchního strukturního patra české pánve (Jetel 1968a) jako hydrogeologicko-strukturní jednotky I. řádu.

S výjimkou okrajových částí (miletínská synklinála, hořícký hřbet, j. okraj na styku s kolínskou oblastí) byly hydrogeologické údaje o tomto kolektoru až do rozsáhlých prací pro ověření možnosti výstavby podzemního zásobníku plynu v tomto území, realizovaných ve smyslu závěrů studie Jetela (1968b) a podle projektu Jetela a Kleina (1970), jen zcela ojedinělé. Údaje o hydraulických parametrech kolektoru, o chemismu podzemních vod, o plynových poměrech a o minerálních vodách získané během tohoto výzkumu umožňují podat ucelený obraz o bazální zvodni české křídové pánve v rozsahu labské oblasti uvnitř hlavní křídové synklinály. Předkládaná syntéza hydrogeologických poznatků zahrnuje území vymezené na Z zhruba spojnicí obcí Týnec nad Labem—Křinec—Kopidno—Jičín, na S j. úpatím hoříckého hřbetu a jílovickým zlomem, na V a J tokem Labe v úseku Hradec Králové—Pardubice—Týnec nad Labem. Z labské oblasti s.l. tedy nezahrnuje pouze s. okrajovou část na S od jílovického zlomu, úsek na V od Labe a blízké okolí Poděbrad.

1. Hydrogeologická prozkoumanost

První ucelené představy o hydrogeologii území formuloval Hynie (1949a, 1961). Až do konce 60.let zde však byly sporadické hydrogeologické údaje známy jen z několika vrtů, ve kterých byly zaznamenány výskyty plynů nebo minerálních vod (Libáň: Plzák 1922; Sezemice: Hynie - Noskovsky 1944, Soukup 1945, 1949, Plíčka 1956; Bohdaneč: Jahn 1913, Schulz 1914, Hynie 1949b; Sopřeč: Kůst 1945). Novější údaje z lázní Bohdaneč uvádí Hercog (1968).

Při regionálním hydrogeologickém průzkumu oblasti Nový Bydžov—Chlumec nad Cidlinou (Herešová - Švoma 1969) zde byly do cenomanského kolektoru vyhloubeny vrty HV-HJ-101 Písek a HV-HJ-103 Kladruby nad Labem (Švoma 1969a,b). Hydrogeologické poznatky z Přeloučska při j. okraji území zhodnotil Hercog (1963). V rámci výzkumu podloží české křídové pánve se v z. části území realizovaly hydrogeologické práce na strukturních vrtech opěrného profilu Kolín—Nová Paka, které podstatně přispěly k poznání z. části území (Kolářová 1971). Území pak bylo zahrnuto do celkového hodnocení české pánve (Jetel 1971, 1974). Přehledné zhodnocení labské oblasti podle soudobých po-

znatků podal Krásný (1968a). Jihozápadní část území byla předmětem výzkumu pro stanovení ochranných pásem lázní Poděbrady (Krásný 1968b, Kolářová - Krásný 1968, 1972). Získané poznatky mají zásadní význam pro poznání z. části cidlinsko-labské akumulace uhličitých vod labské oblasti. Minerální vody z. části území popisuje Kolářová (1978).

Jak jsme se již zmínili, soustavné hydrogeologické poznatky o území přinesl teprve výzkum možností podzemního uskladňování plynu (Jetel - Klein 1972, Jetel 1976, Jetel - Rybářová 1976, 1977). Přehled prací realizovaných při tomto výzkumu podává kap. 3.1. Nové poznatky tohoto výzkumu, týkající se výskytů minerálních vod, publikovali Jetel a Rybářová (1979). Souhrn poznatků získaných při tomto výzkumu byl dále využit v přehledném zpracování hydrogeologie širšího území při sestavení listu 13 Hradec Králové základní hydrogeologické mapy ČSSR 1 : 200 000 (Krásný et al. 1982). Poznatky o stratigrafii a litologii křídly publikovali Klein - Hercogová - Rejchrt (1982).

Cenné údaje o hydrogeologii cenomanu za z. okrajem území přinesly hydrogeologické práce na strukturních vrtech Seletice (Jetel 1972) a Dolní Bousov (Jetel - Rybářová 1984, 1986). Lepší pochopení hydrogeochemických a plynových poměrů pak umožňují poznatky, uvedené ve zhodnocení permokarbonu mnichovohradištské pánve (Jetel 1985c, Jetel - Rybářová 1988), který zasahuje do nejzápadnější části území.

2. Přehled geologie

Sedimentární výplň české křídové pánve ve zkoumaném území náleží cenomanu, turonů a spodnímu až střednímu coniacu (Klein et al. 1982). Sedimentace začala v depresích, protažených ve směrech VJV—ZSZ až SSV—JJZ cenomanskými fluvialními nebo fluvialně lakustrinními sedimenty, odpovídajícími peruckým vrstvám ve smyslu Čecha et al. (1980). Jde o cykly se sukcesí typů \pm slepenec—hrubozrnný pískovec— \pm středozrnný až jemnozrnný pískovec \pm prachovec a jílovec \pm uhelný jílovec (Klein et al. 1982). Perucké vrstvy zde dosahují maximální mocnosti okolo 20 m. Mořská sedimentace začíná ve středním cenomanu a pokračuje ve svrchním cenomanu. Sedimenty mořského cenomanu se označují jako korycanské vrstvy (Čech et al. 1980). Podle Kleina et al. (1982) zde mají charakter písčité, nerovnoměrně vyvinuté, pozitivně gradačně zvrstvené jednotky, obvykle se slepenci nebo šterčíkovými pískovci na bázi, výše s pískovci zčásti glaukonitickými a nejvýše se slinitým glaukonitickým prachovcem. Na elevacích se vyskytují jílovité sle-

pence, organodetrické vápence a písčité nebo jílovitopísčité glaukonitické sedimenty většinou metrových mocností, zatímco maximální mocnost pískovců přesahuje 30 m. Maximální mocnost cenomanského souvrství byla zjištěna vrtem NB-2 u Mlékosrb (51,5 m).

Sedimentace spodního a středního turonu má charakter asymetrických cyklů typu vápnitý jílovec—slínovec/prachovito-písčitý slínovec a jílovitý vápenec—slínovec (bělohorské souvrství spodního turonu o mocnosti do 70 m, jizerské souvrství středního turonu o maximálních mocnostech přes 200 m — Klein et al. 1982). Svrchní turon (teplické souvrství — Čech et al. 1980) o mocnosti do 60 m je tvořen vápnitými jílovci převažujícími nad slínovci. Jako vápnité jílovce a slínovce je vyvinut i spodní a střední coniak (březenské souvrství s rohateckými vrstvami na bázi — Čech et al. 1980).

Křídová pánev má ve zkoumaném území asymetrickou stavbu s maximálními hloubkami přes 500 m (zjištěné maximum mocnosti křídý 529,5 m na vrtě Vy-1 Všešary) v depresích s. části, které náleží systému plochých asymetrických vrás sv. Čech (Klein 1979, Klein et al. 1982). Klein (1979) rozlišil na základě výsledků vrtných a geofyzikálních prací ve zkoumaném území mezi jílovickým zlomem a Chlumcem nad Cidlinou řadu dílčích tektonických jednotek směru SZ—JV. Směrem od jílovického zlomu k JZ je to

- severní regionální deprese,
- myštěveská deprese, pokračující k JV přímskou depresí,
- chotělická elevace a dále k JV janatovská a těchlovická elevace,
- roudnická deprese, pokračující k JV zvíkovskou depresí,
- bydžovská deprese,
- hlušická elevace a babická elevace v jejím jv. prodloužení,
- obědovická deprese,
- mlékosrbská elevace (s redukcí cenomanských sedimentů na vrcholu).

Podloží cenomanu je ve zkoumaném území tvořeno z největší části horninami ordoviku (anchimetamorfované břidlice až fylity, křemenné pískovce, křemence, droby) a proterozoika (vulkanicko-sedimentární komplex s převahou sericitických fylitů, hlubinné vyvřeliny). Sedimenty permokarbonu zde byly zastíženy v malé, zřejmě tektonicky omezené urbanické pánvi jz. od Hradce Králové (jílovec, prachovce, drobové pískovce, psefity — pravděpodobně svrchní karbon — o mocnosti 200—300 m — Klein 1979), a dále na z. okraji území, kam zasahuje permokarbon mnichovohradištské pánve.

3. Hydrogeologické práce při výzkumu možnosti podzemního uskladňování plynu ve zkoumaném území

3.1. Přehled provedených prací

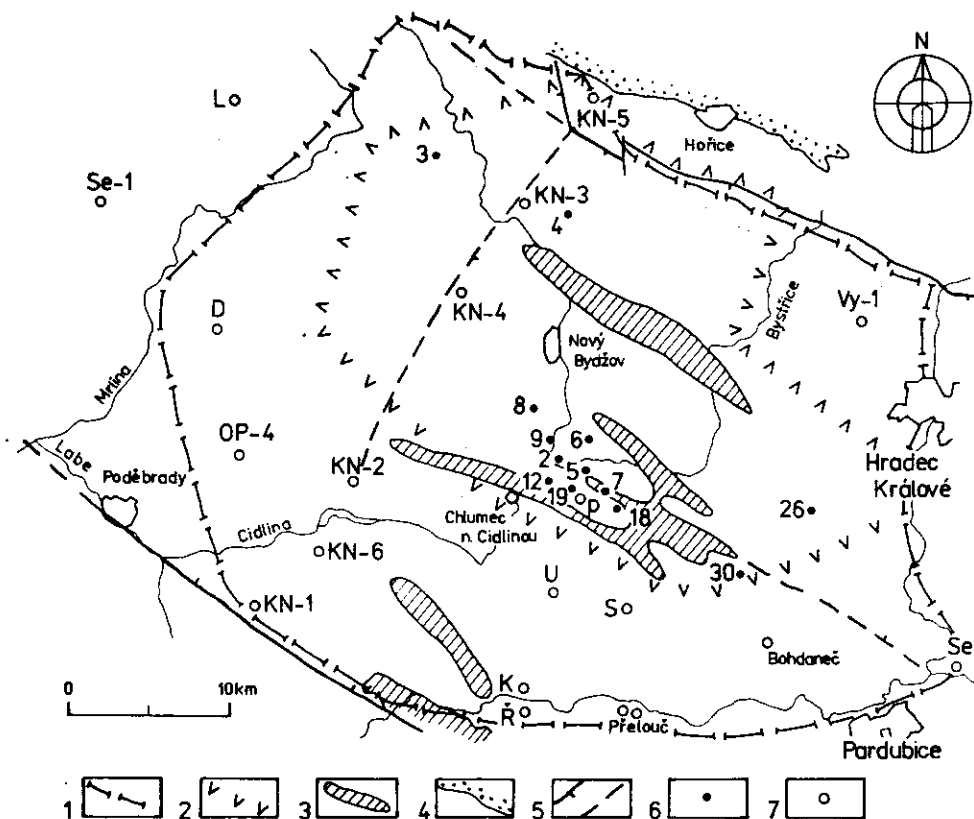
Základní zaměření prací vycházelo ze závěrů studie Jetela (1968b). Při celkově velmi nepříznivých podmínkách podzemního uskladňování plynu na území Čech byla jako relativně nejnadějnější k vyhledávání vhodných struktur vybrána labská faciální oblast s potenciálním kolektorem (cenoman) pod více než 400–500 m mocným nadložním izolátorem, s možností nalezení elevačních struktur nebo jiných druhů pastí. Při zpracování projektů výzkumu (Jetel - Klein 1970, 1972) bylo zájmové území omezeno na širší okolí Nového Bydžova a Chlumce nad Cidlinou uvnitř kontury s. okraj Chlumce nad Cidlinou—Záhornice—Žitenín (na SV od Kopidlna)—Sobčice—jílovické zlomové pásmo—j. okolí Třebovetic—Nechanice—Březhrad—Opatovice nad Labem—Rohovládova Bělá—s. okraj Chlumce nad Cidlinou. Převážná většina prací se soustředila do území mlékosrbské elevace v širším v. okolí Chlumce nad Cidlinou. Cílem úkolu bylo získat poznatky o hydraulických parametrech cenomanského kolektoru a o hydrogeochemických, plynových a piezometrických poměrech bazální křídové zvodně se zaměřením na posouzení vhodnosti kolektoru k vybudování podzemního zásobníku plynu akviferového typu (tj. ve zvodněném kolektoru).

Při hydrogeologickém výzkumu pro podzemní zásobník se uskutečnily hydrodynamické zkoušky v jednotlivých otevřených úsecích v těchto vrtech (obr. 1):

- NB-2 Mlékosrby: 390—435 m (cenoman) + 2 úseky ordoviku,
- NB-3 Volanice: 489—501 m (cenoman) + 1 úsek proterozoika,
- NB-4 Loučná Hora: 519—540 m (proterozoikum), 497—519 m (cenoman),
- NB-5 Kosice: 362—407 m (ordovik), 359—372 m (ordovik),
- NB-6 Kosice: 456—549 m (ordovik), 419—455 m (cenoman),
- NB-7 Kosičky: 349—373 m (cenoman + ordovik),
- NB-8 Zadražany: 442—479 m (ordovik), 418—432 m (cenoman),
- NB-9 Luková: 429—456 m (ordovik), 385—426 (cenoman),
- NB-12 Nové Město (dvůr Ostrov): 400—436 m (ordovik), 377—396 m (cenoman),
- NB-19 Písek (dvůr Oktaviánov): 406—430 m (ordovik), 381—393 m (cenoman),
- NB-26 Žižkovec-Sedlice: 503—590 m (permokarbon + ordovik), 503—558 m (permokarbon), 468—479 m (cenoman),
- NB-30 Křičev: 405—423 m (cenoman).

Na ostatních vrtech hloubených v rámci daného výzkumu bylo od hydrogeologických zkoušek pro nepřítomnost cenomanu nebo nevhodný litologický vývoj upuštěno (NB-10 Měník, NB-11 Písek, NB-13 Michnovka, NB-14 Chudeřice, NB-17 Obědovice, NB-20 Chýšť, NB-21 Káranice, NB-22 Michnovka-Kasaličky, NB-23 Dobřenice).

Převážná většina vrtů s hydrogeologickými pracemi (NB-2, -5, -6, -7, -8, -9, -12, -18, -19) byla situována v mlékosrbské struktuře mezi Chlumcem nad Cidlinou, Zachraštany, Kosičkami a Chudeřicemi. V severní části území byly; situovány vrty NB-3 a NB-4, v jv. části vrty NB-26 a NB-30. Rozmístění vrtů znázorňuje obrázek 1, stratigrafické profily popisují



1. Vymezení zkoumaného území a rozmístění vrtů s hydrogeologickými údaji
 1 — hranice popisovaného území, 2 — hranice širšího zájmového území podzemního zásobníku plynu, 3 — plochy bez cenomanského kolektoru, 4 — výchozy cenomanu na hoříckém hřbetu, 5 — hlavní zjištěné a předpokládané zlomy, 6 — vrty řady NB 2 = NB-2, 3 = NB-3 atd.), 7 — ostatní vrty [D = Dymokury, K = HV-HJ-103 Kladruby nad Labem, L = Libáň, P = HV-HJ-101 Písek, R = Rečany nad Labem-Trnávka, S = Sopřeč, Se = Sezemice, U = HV-100 Újezd; u ostatních vrtů uvedeno původní označení]

Klein et al. (1982). Kromě vrtů NB-5, -9 a -26 (Jetel - Rybářová 1976) byly přítoky z úseků v podloží cenomanu zanedbatelně nízké.

3.2. Metodika vyhodnocení prací

Podkladem pro stanovení hydraulických parametrů hornin byly výsledky hydrodynamických zkoušek ve vrtech a výsledky laboratorního stanovení pórovitosti a propustnosti vzorků jader hornin. Z hlediska informační hodnoty údajů hydrodynamických zkoušek šlo ve smyslu naší klasifikace (Jetel 1985a) většinou o údaje typu Ic, umožňující stanovení odporových hydraulických parametrů podle principů neustáleného proudění z výsledků stoupacích a někdy i odběrových zkoušek. V některých případech však dosahovaly získané údaje pouze kvality kategorie IIa, takže jejich přímou interpretaci mohly být získány pouze zdánlivé hodnoty odporových parametrů a k odhadu skutečných hodnot hydraulických parametrů bylo nutno použít odhad přepočtové diference d (Jetel 1985a,b). Pokud jde o metodiku vyhodnocení hydrodynamických zkoušek v podmínkách neustáleného proudění při průzkumu zvodněnců k uskladňování plynu, odkazujeme na podrobný popis, který uvedli Witherspoon et al. (1967).

Reálný průběh jednotlivých stadií zkoušek spolu s parametry dosažitelné měřicí techniky neumožnil v některých případech využít teoretických možností interpretace. Komplikace způsobovalo i vytváření dvoufázového systému voda-plyn ve vrtech během zkoušek při vysokých koncentracích CO_2 . Syčení oxidem uhličitým se projevovalo nepříznivě jednak ve značné rozkolísanosti hladin, tlaku i vydatnosti během čerpání, jednak deformací časového průběhu změn hladiny či tlaku při odběrových i stoupacích zkouškách (srov. Stegemeier - Matthews 1958, Moritz 1959, Jetel 1982). Podrobnější charakteristiku metodických problémů interpretace výsledků zkoušek ve výše uvedených vrtech uvádějí Jetel a Rybářová (1976).

Závažným problémem při výpočtu hydraulických parametrů intenzitní povahy (koeficientu filtrace a koeficientu propustnosti) bylo stanovení efektivní mocnosti kolektoru. V zásadě se do efektivní mocnosti zahrnovaly výrazně propustnější členy vrstevního komplexu na základě makroskopického popisu, s přihlédnutím k výsledkům petrofyzikálních rozborů a geofyzikálních měření ve vrtech. V řadě případů je ovšem při značné nehomogenitě kolektoru jednoznačné určení efektivní mocnosti a intenzitních parametrů k ní vztažených problematické.

Reprezentativní střední hodnoty otevřené pórovitosti a průlinové propustnosti se odvozovaly z výsledků laboratorních stanovení výpočtem vá-

žených průměrů. Jako váhy byly vzorkům přiřazovány zjištěné nebo předpokládané mocnosti vrstvy reprezentované daným vzorkem. Reprezentativní střední hodnota byla u pórovitosti stanovována jako vážený aritmetický průměr, u propustnosti vzhledem k převažujícímu lognormálnímu rozdělení (J e t e l 1985a) jako vážený geometrický průměr. Střední hodnoty odvozené z laboratorních stanovení mohou být ovšem zkresleny tím, že při výběru a přípravě vzorku se často zachovávají jen méně propustné (více zpevněné) partie, zatímco vzorky s nejvyšší propustností a pórovitostí se často rozpadnou. Obdobné zkreslení nastává ostatně již při vrtání. Naproti tomu může dojít k nadhodnocení laboratorně stanovené propustnosti tím, že při měření v horizontálním směru dochází v laminovaných pískovcích k tvorbě umělých diskontinuit na plochách laminace (lze tak vysvětlovat např. rozdíly mezi laboratorně a terénně stanovenou propustností na vrtech NB-3 a NB-4).

Vzhledem k tomu, že v daném území proudí nebo může proudit cenomanským kolektorem podzemní voda a plyny o různé kinematické viskozitě, byly hydraulické vlastnosti hornin vyjádřeny jak charakteristikami z hlediska proudění podzemní vody o dané viskozitě (koeficient průtočnosti T , koeficient filtrace k), tak i charakteristikami absolutního systému (viz J e t e l 1982), tj. koeficientem absolutní průtočnosti T_a a koeficientem propustnosti K .

3.3. Postup při určování hydraulických parametrů kolektoru z hydrodynamických zkoušek ve vrtech

Jako příklad postupu při odvození hydraulických parametrů cenomanského kolektoru z výsledků hydrodynamických zkoušek ve vrtech lze uvést výpočet pro úsek C vrtu NB-2 Mlékosrby. Zkoušený úsek zde zahrnoval cenomanský kolektor, otevřený perforací kolony o průměru 133 mm v intervalech 390,5—391,0 m, 392,0—406,1 m, 408,5—410,0 m, 411,6—413,0 m, 414,2—415,2 m, 419,6—422,6 m, 427,7—435,5 m. Efektivní mocnost zvodněnce činila 27,5 m. Měřením přetlaku na ústí uzavřeného vrtu byla zjištěna úroveň statické hladiny ve výšce 8,2 m nad ústím vrtu. Z měření vydatnosti přetoku při čtyřech různých úrovních přetlaku byla odvozena hodnota měrné vydatnosti $q = 0,096 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, čemuž odpovídá index průtočnosti $Y = \log 10^6 q = 4,98$.

Pro odhad koeficientu průtočnosti a koeficientu filtrace bylo nutno odhadnout hodnotu základní přepočtové difference d_0 (J e t e l 1979, 1985a,b). Pro neustálené proudění bez vlivů bočních hranic a v podmínkách platnosti Jacobovy logaritmické aproximace Theisovy studňové funkce platí vztah (J e t e l 1985a,b)

$$d_o = \log [0,183 \log (2,25at/r_v^2)] \quad (1)$$

(a = koeficient hydraulické difuzivity, t = čas trvání odběru, r_v = vnitřní poloměr vrtu v otevřeném úseku). Potřebnou vstupní hodnotou je tu koeficient hydraulické difuzivity

$$a = T/S \quad (2)$$

(T = koeficient průtočnosti, S = koeficient zásobnosti). V prvním přiblížení odhadneme koeficient průtočnosti k dosažení do vzorce (2) jako

$$T_Y = \text{antilog}(Y-9) = 10^{(Y-9)}. \quad (3)$$

Pro $Y = 4,98$ vyjde $T_Y = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. K odhadu koeficientu zásobnosti

$$S = S_s \cdot M \quad (4)$$

(S_s = měrná pružná zásobnost, M = mocnost zvodněnce) použijeme vztah

$$S_s = \gamma \cdot \beta^*, \quad (5)$$

kde γ = měrná tíha kolektorové kapaliny, β^* = koeficient celkové pružné kapacity, určený jako

$$\beta^* = \beta_h + m\beta_k \quad (6)$$

(β_h = objemová stlačitelnost skeletu horniny, β_k = objemová stlačitelnost kolektorové kapaliny, m = otevřená pórovitost). S přihlédnutím k dané hloubce pod terénem a ke stupni zpevnění cenomanského kolektoru byly podle tabulek (J e t e l 1982) zvoleny hodnoty $\beta_h = 5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ a $\beta_k = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$. Vážený průměr otevřené pórovitosti vzorků cenomanského kolektoru na vrtu NB-2 činí 0,174. Po dosazení do vzorce (6) získáme odhad $\beta^* = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$. Při měrné tíze kolektorové vody zhruba $\gamma = 1 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$ pak činí odhad koeficientu měrné zásobnosti $S_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$, takže $S = 5,5 \cdot 10^{-5}$. Po dosazení S a T_Y do vzorce (2) vyjde odhad $a = 1,8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Protože se při přelivové zkoušce neprojevoval pokles měrné vydatnosti s velikostí deprese a s časem, lze zjištěnou hodnotu q přiřadit časovému trvání nejdelší deprese (120 h). Tento čas ($t = 4 \cdot 10^5 \text{ s}$) dosadíme spolu s odhadem hydraulické difuzivity a a s hodnotou $r_v = 0,062 \text{ m}$ do vzorce (1), z něhož vyjde první odhad $d_o = 0,20$.

Při odhadu hydraulických parametrů s použitím základní přepočtové difference d_o vycházíme z funkčního vztahu mezi koeficientem průtočnosti T a měrnou vydatností q (J e t e l 1985a,b).

$$T = \text{antilog} (\log 10^6 q + d - 9) = \text{antilog} (Y + d - 9), \quad (7)$$

kde d = celková přepočtová difference (antilog $x = 10^x$). Dosadíme-li za přepočtovou diferenci d základní přepočtovou diferenci d_o , která před-

stavuje logaritmickou přepočtovou diferencí pro hydrodynamicky dokonalý vrt (J e t e l 1985a,b), získáme v případě reálného vrtu s dodatečnými hydraulickými odpory pouze hodnoty zdánlivých hydraulických parametrů (T_z , k_z , K_z , T_{az}), jako např. koeficient zdánlivé průtočnosti

$$T_z = \text{antilog} (Y + d_0 - 9), \quad (8)$$

apod. Z měrné vydatnosti při přelivové zkoušce lze tedy v prvním přiblížení odhadnout koeficient průtočnosti pro hydrodynamicky dokonalý vrt podle vzorce (8) jako $T = T_z = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Zdánlivý koeficient filtrace $k_z = T_z/M$ pak činí $5,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při teplotě kolektorové vody $25,2^\circ\text{C}$ lze pak počítat s dynamickou viskozitou kolektorové vody $\mu = 0,89 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ (viz např. tab. 4 in J e t e l 1982). Pro odhad odpovídající hodnoty koeficientu propustnosti použijeme vztah

$$K = k \cdot \mu/\gamma. \quad (9)$$

Pro $k_z = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vyjde $K_z = 5 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 = 0,5 \mu\text{m}^2$. Jde ovšem o propustnost zdánlivou, která současně s přírodní propustností kolektoru odráží i propustnost na stěně vrtu, sníženou v důsledku hydrodynamické nedokonalosti (skinového efektu apod.).

Ke stanovení skutečných hodnot hydraulických parametrů kolektoru, neovlivněných nedokonalostí vrtu, použijeme interpretaci údajů o časových změnách hladiny při stoupací zkoušce. Přepočtem údajů o přetlaku měřeném po uzavření vrtu na ústí (po ustáleném přetoku $0,76 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) na údaje o hladině zjistíme směrnici reprezentativního přímkového úseku grafu „výška hladiny — $\log t$ “ (J e t e l 1982) $i = 0,63 \text{ m}$. Po dosazení hodnot $Q = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $i = 0,63 \text{ m}$ do rovnice

$$T = 0,183 Q/i \quad (10)$$

vyjde hodnota $T = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, kterou můžeme přijmout jako charakteristiku přírodní průtočnosti zkoušeného zvodněnce v prostoru ovlivněném zkouškou. Příslušná průměrná hodnota koeficientu filtrace potom činí $k = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, čemuž podle vztahu (9) odpovídá koeficient propustnosti $K = 7,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, tj. $0,71 \mu\text{m}^2$. Zjištění hodnoty T dovoluje opravit první odhad koeficientu hydraulické difuzivity a a základní přepočtové diference d_0 ; dosazením T do vzorce (2) vyjde $a = 4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, které dosadíme do vzorce (1), z něhož vyjde $d_0 = 0,22$. Správnost volby reprezentativního úseku grafu ke stanovení směrnice i posoudíme porovnáním hodnoty indexu Y s transformací koeficientu průtočnosti (J e t e l 1985a,b)

$$Y_T = 9 + \log T. \quad (11)$$

Pro $T = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ bude $Y_T = 5,34$, takže celková diference (Jetel 1985a,b)

$$d = Y_T - Y \quad (12)$$

bude činit $d = 0,36$, což není v rozporu s očekávanými (možnými) hodnotami d a nenaznačuje proto nereálnost zvolené interpretace. Dodatečné hydrodynamické odpory, podmiňující nedokonalost vrtu, vyjadřuje přitom dodatečná přepočtová diference

$$d_d = d - d_o \quad (13)$$

Pro opravenou hodnotu $d_o = 0,22$ vychází v daném případě $d_d = 0,14$. Podle nově opravené hodnoty $d_o = 0,22$ můžeme znovu upřesnit hodnotu T_z ($1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), k_z ($5,8 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a K_z ($5,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$).

Velikost dodatečných odporů se někdy v praxi vyjadřuje pomocí poměru produktivity (Gatlin 1957)

$$PR = K_z/K (= T_z/T = k_z/k) \quad (14)$$

Pro $T_z = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ platí $T/T_z = 1,39$, takže $PR = 0,72$. Vrt NB-2 tedy poskytuje v důsledku své hydrodynamické nedokonalosti pouze 72 % vydatnosti, odpovídající přírodním vlastnostem zvodněnce. Ve smyslu definice přepočtové diference (Jetel 1985b) je poměr PR spojen s dodatečnou přepočtovou diferencí d_d vztahem

$$PR = \text{antilog } d_d \quad (15)$$

Za předpokladu, že ztotožníme veškeré dodatečné odpory zahrnuté do poměru PR nebo diference d_d se skinovým efektem s.l. (srov. Jetel 1982, 1985a), lze z hodnoty PR odvodit velikost koeficientu skinového efektu (Van Everdingen 1953) podle vztahu

$$\varphi = \ln(r_d/r_v)/PR - \ln(r_d/r_v) \quad (16)$$

(Hawkins 1956), kde r_d = výpočtový dosah deprese, r_v = vnitřní poloměr vrtu. Při neustáleném proudění je r_d a tedy i φ funkcí času. Hodnotu φ vyjádříme proto stejně jako u dalších vrtů pro $t = 24$ h; podle vztahu

$$r_d = 1,5 \sqrt{at} \quad (17)$$

vyjde $r_d = 882$ m, takže z rovnice (16) vychází pro $t = 24$ h koeficient skinového efektu $\varphi = +3,7$.

Pro posouzení průtočnosti zvodněnce pro libovolnou kolektorovou tekutinu vypočítáme hodnotu koeficientu absolutní průtočnosti

$$T_a = K \cdot M, \quad (18)$$

tj. pro $K = 7,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, $T_a = 2,0 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$.

4. Hydrogeologická funkce hornin

Podle hydrogeologické funkce hornin lze rozlišit v geologickém profilu území izolační komplex turonsko-coniackých vápnitých jílovců a slínovců, bazální cenomanský kolektor (převážně pískovce) a předkřídové horniny s převážně izolační funkcí. Kolektory lokálního významu jsou rozpukané pelity připovrchové zóny, permokarbonské pískovce a slepence a rozpukané horniny staršího paleozoika a proterozoika v podloží křídý. Proměnlivou nebo přechodnou funkci mají některé typy jemnozrných jílovitých nebo prachovitých pískovců cenomanu a cenomanské slepence s jemnozrnou až pelitickou matrix. Vertikální rozčlenění profilu cenomanu z hlediska hydrogeologické funkce je prostorově velmi proměnlivé vzhledem k variabilitě mocností a pestrému petrografickému, texturnímu a strukturnímu vývoji. V území s příznivým vývojem cenomanu (vrty NB-2, -6, -8, -9, -12, -18, -19, -26) převažují v korycanských vrstvách zpravidla výrazně pískovce a slepence nad prachovci a jílovcí. Nejvyšší část cenomanu tvoří zpravidla tmavošedé slínité prachovce a vápni-tojílovité prachovce až silně glaukonitické pískovce s polohami jílovců. Tyto sedimenty mají v podstatě funkci izolátoru společně s nadložními turonskými pelity. Směrem k bázi následují střídající se pískovce různé zrnitosti, představující vlastní cenomanský kolektor. Při vyšším obsahu jílovité základní hmoty v mezizrnových prostorech se však funkce pískovců může měnit a uvnitř komplexu dobře propustných pískovců s nízkým obsahem jílovité složky se pak mohou chovat jako izolátory. Propustnost pískovců korycanských vrstev může být podstatně ovlivněna obsahem glaukonitu, je-li vyvinut v trásňovité formě výplně mezizrnových pórů, podstatně snižující celkovou propustnost (Klein et al. 1973, 1976). Hydrogeologická funkce cenomanských pískovců je do značné míry určována i stupněm silicifikace, která vede k řádovému poklesu průlinové propustnosti. Zásadní vliv silicifikace na funkci cenomanských pískovců velmi názorně dokumentují např. výsledky vrtu NB-6.

V jemnozrných a zčásti i ve středozrných pískovcích (zejména v jv. části území) je vyvinuta místy velmi intenzivní laminace, která podstatně mění propustnost zejména ve směru kolmém na laminaci. Při vyšším obsahu jílovité složky tak ztrácejí laminované pískovce funkci kolektoru.

Sedimenty peruckých vrstev jsou vyvinuty v poměrně pravidelných cyklech. Hrubozrné pískovce nebo slepence na bázi cyklu se směrem do nadloží zjemňují při současném poklesu propustnosti až po výrazné izolátory (jílovité prachovce a prachovité jílovce) v nejvyšších částech cyklů.

V převážné většině území s příznivým vývojem cenomanu se uplatňuje výrazný až zcela převažující vliv rozpukání na celkovou propustnost ce-

nomanského kolektoru (nejvýrazněji na vrtech NB-8, -9 a -18). Význam primární průlinové propustnosti pak při členění vrstevního profilu podle hydrogeologické funkce ustupuje do pozadí.

5. Hydraulické parametry hornin

Přehled hodnot hydraulických parametrů cenomanského kolektoru ve zkoumaném území, stanovených metodami popsanými v kapitole 4, je uveden v tabulkách 1—4. Představu o prostorovém rozdělení hodnot hydraulických parametrů cenomanského kolektoru podávají obrázky 2 a 3.

Tabulka 1

Přehled kvantitativních charakteristik průtočnosti a propustnosti cenomanského kolektoru podle údajů vrtů řady NB

vrt	T_z	T	M	k_z	k	μ	K_z	K
	[$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	[m]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[mPa.s]	[μm^2]	[μm^2]
NB-2	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	27,5	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	0,89	0,51	0,71
NB-3	$7,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	7,4	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	0,86	0,089	0,16
NB-4	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	9,6	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	0,79	0,024	0,025
NB-6	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	11,1	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,88	1,23	2,20
NB-8	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	6,2	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	0,90	1,10	2,95
NB-9	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	17,8	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	0,92	1,55	4,01
NB-12	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	8,4	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,93	0,13	0,14
NB-18	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	14,8	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	0,91	0,49	3,47
NB-19	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	4,0	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	0,93	2,07	5,35
NB-26	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	7,5	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,86	0,63	1,17
NB-30	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	23,6	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$8,2 \cdot 10^{-7}$	0,92	0,041	0,075

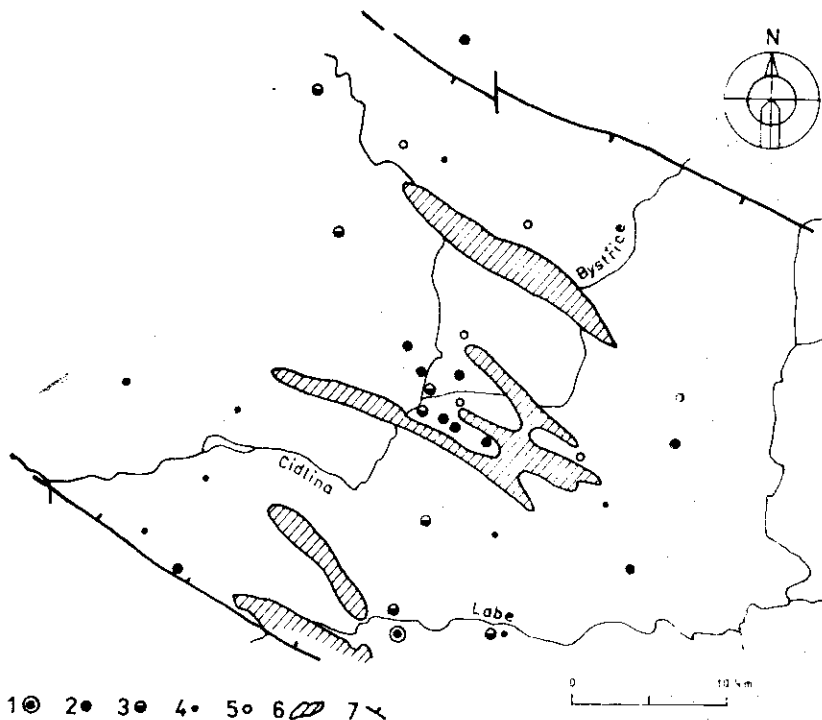
T_z = koeficient zdánlivé průtočnosti, T = koeficient průtočnosti, M = přijatá mocnost zvodněného kolektoru, k_z = zdánlivý koeficient filtrace, k = koeficient filtrace, μ = přijatá dynamická viskozita kolektorové vody, K_z = koeficient zdánlivé propustnosti, K = koeficient propustnosti

Vztah mezi hydraulickými parametry cenomanského kolektoru, mocnostmi a faciálním vývojem cenomanského souvrství v území mlékosrbské struktury znázorňuje obrázek 4. O statistickém rozdělení charakteristik propustnosti a průtočnosti informují obrázky 5, 6, 8 a 9.

5.1. Propustnost cenomanského kolektoru

5.1.1. Prostorové rozdělení propustnosti cenomanského kolektoru

Nejvyšších propustností může cenomanský kolektor dosahovat místy na j. okraji území v údolí Labe. Svědčí o tom výsledky vrtu v Řečanech nad Labem (K a m b e r s k ý 1961), kde lze z indexu propustnosti $Z = 5,40$ odhadnout průměrný koeficient propustnosti cenomanského kolektoru na $K = 130 \mu\text{m}^2$ (koeficient filtrace $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). V osmistupňové klasifikaci propustnosti (J e t e l 1982) je to silně propustný kolektor II. třídy.



2. Plošné rozdělení průměrné propustnosti cenomanského kolektoru
1 — koeficient propustnosti K vyšší než $10 \mu\text{m}^2$ (10^{-11} m^2), 2 — $K = 1-10 \mu\text{m}^2$, 3 — $K = 0,1-1 \mu\text{m}^2$, 4 — $K = 0,01-0,1 \mu\text{m}^2$, 5 — $K < 0,01 \mu\text{m}^2$ (10^{-14} m^2), 6 — plochy bez cenomanského kolektoru, 7 — zlomy

Uvnitř zkoumaného území byly nejvyšší propustnosti cenomanského kolektoru zjištěny v sz. a jz. části mlékosrbské struktury na vrtech NB-6 Kosice, NB-8 Zdražany, NB-9 Luková, NB-18 Chudeřice, NB-19 Oktaviánov a HV-HJ-101 Písek. Průměrné propustnosti cenomanského kolektoru o

Tabulka 2

Přehled srovnávacích logaritmických parametrů propustnosti a průtočnosti bazálního cenomanského kolektoru zjištěných staršími vrty

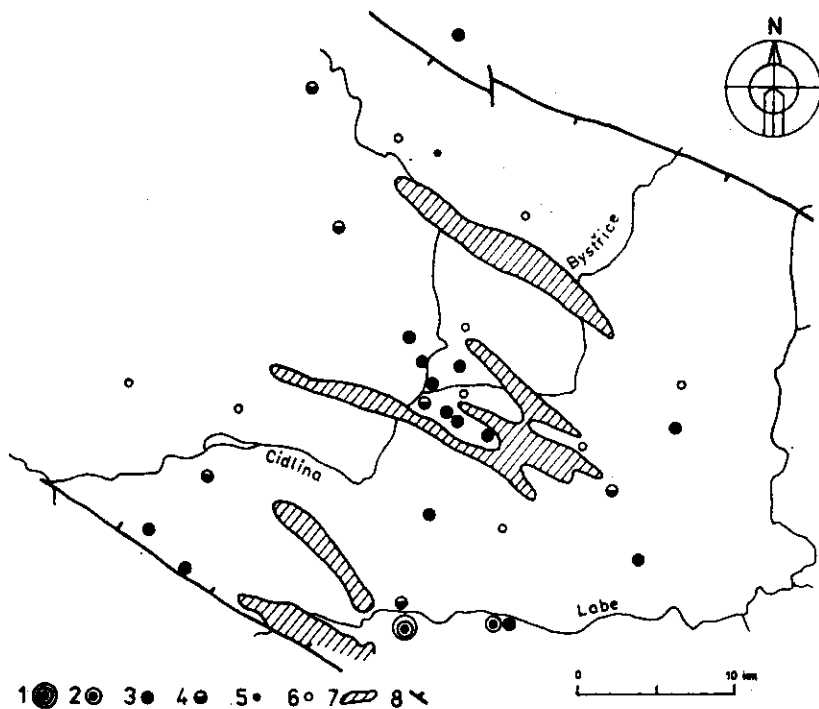
vert	zdroj informace	index propustnosti Z	index průtočnosti Y
HV-HJ-101 Písek	J. Švoma 1969b	3,85	4,20
HV-HJ-103 Kladruby nad Labem	J. Švoma 1969b	3,24	5,11
Újezd	D. Herešová - J. Švoma 1969	3,20	4,85
HV-1 Bohdaneč	F. Hercog 1968	3,83	5,28
Přelouč — V-1	D. Herešová - J. Švoma 1969	<3,43	<5,08
Přelouč — Tesla	D. Herešová - J. Švoma 1969	3,84	5,53
Řečany nad Labem	K. Kamberský 1961	5,40	6,58
Sopřeč	J. Kůst 1945	1,7	2,7
KN-1 Volárna	M. Kolářová 1971	3,39	4,53
KN-2 Dlouhopolsko	M. Kolářová 1971	<2,0	2,48
KN-3 Chotělice	M. Kolářová 1971	0,60*	1,78*
KN-4 Hlušice	M. Kolářová 1971	2,77	4,08
KN-5 Sobčice	M. Kolářová 1971	3,81	5,04
KN-6 Polní Chrčice	M. Kolářová 1971	<2,60	3,88
OP-4 Vrbice	M. Kolářová - J. Krásný 1972	1,90	2,78

* údaj o pochybné reprezentativnosti

efektivní mocnosti většinou okolo 5—20 m se zde pohybují v rozpětí hodnot koeficientu propustnosti $K = 2-5 \mu\text{m}^2$ (koeficient filtrace $k = 2 \cdot 10^{-5}$ až $6 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Jde zde tedy o mírně propustný kolektor IV. třídy.

Příznivý vývoj cenomanského kolektoru zastihl dále i vrt NB-2 Mlékosrby v z. části mlékosrbské struktury, vrt NB-26 Žižkovec-Sedlice na V od této struktury a vrt v Újezdě na JJZ od této struktury. Průměrná — dosti slabá až mírná — propustnost tu odpovídá IV.—V. třídě ($K = 0,5$ až $1,1 \mu\text{m}^2$, $k = 4 \cdot 10^{-6}$ — $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Obdobnou průměrnou propustnost vykazuje (s výjimkou silně propustného úseku u Řečan nad Labem) také cenomanský kolektor dále k J v údolí Labe mezi Přeloučí a Týncem nad Labem ($K = 0,6$ — $3,1 \mu\text{m}^2$, $k = 5 \cdot 10^{-6}$ — $3 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

V ostatních částech zkoumaného území, představujících většinu jeho plochy, jsou průměrné propustnosti cenomanského kolektoru výrazně nižší: pohybují se od nepatrných hodnot maximálně do hodnot K okolo $0,16 \mu\text{m}^2$ (většinou okolo $0,01$ — $0,1 \mu\text{m}^2$), tj. do hodnot k okolo $2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, s převahou hodnot k v intervalu $1 \cdot 10^{-7}$ — $1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Převážně tedy jde o kolektory velmi slabě a slabě propustné (VI.—VII. třída). Na úrovni VI. třídy (K řádu $10^{-2} \mu\text{m}^2$, k řádu $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) se pohybuje



3. Plošné rozdělení průtočnosti cenomanského zvodněnce

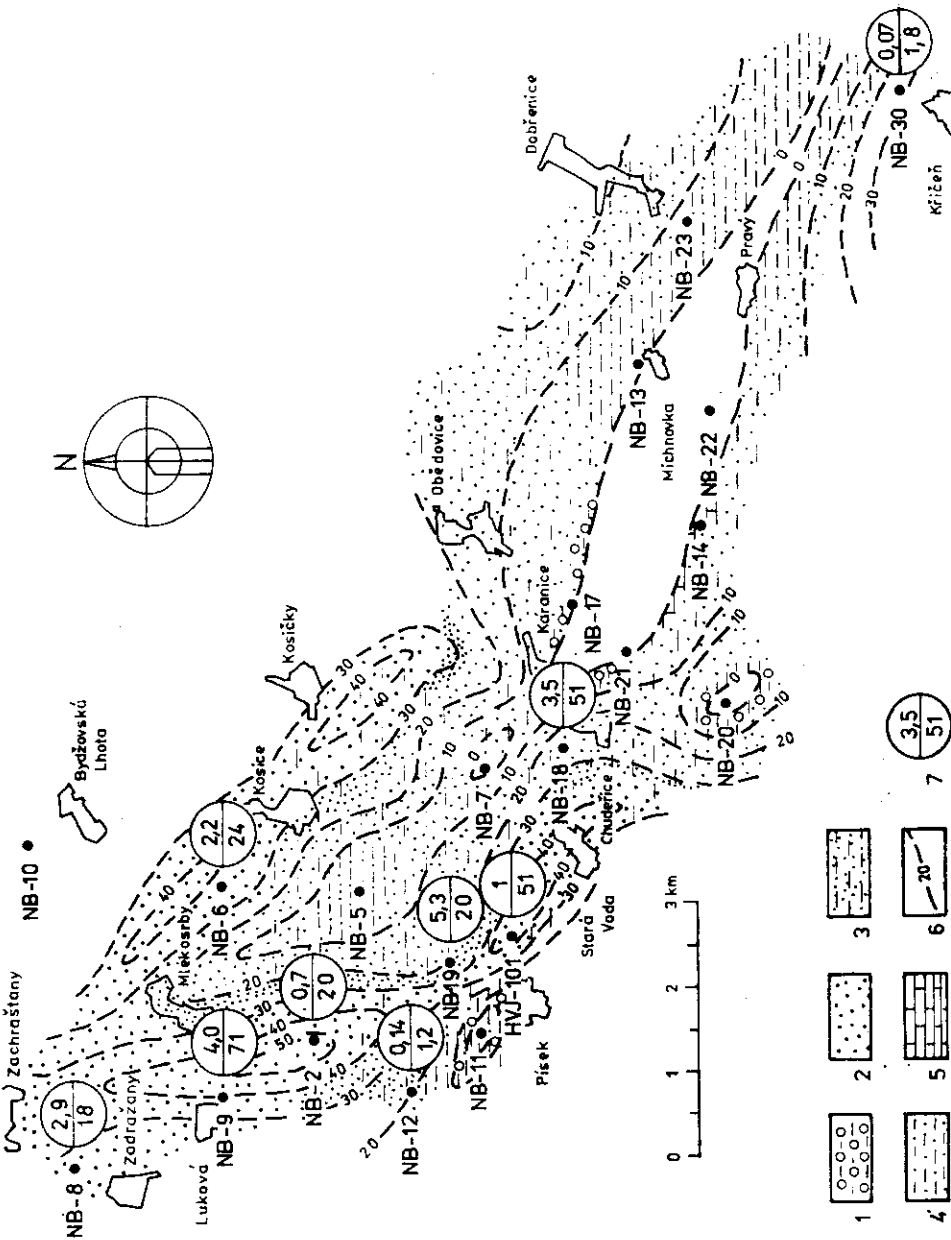
- 1 — koeficient absolutní průtočnosti T_a vyšší než $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$, 2 — $T_a = 1 \cdot 10^{-10}$ — $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$, 3 — $T_a = 1 \cdot 10^{-11}$ — $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$, 4 — $T_a = 1 \cdot 10^{-12}$ — $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$, 5 — $T_a = 1 \cdot 10^{-13}$ — $1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$, 6 — $T_a < 1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3$, 7 — plochy bez cenomanského kolektoru, 8 — zlomy

propustnost cenomanského kolektoru na ojedinělých vrtech v z. části území (OP-4 Vrbice) a za jeho z. okrajem (DB-1 Dolní Bousov). Nepatrná až velmi slabá propustnost cenomanského kolektoru (VII.—VIII. třída) byla zjištěna na řadě vrtů ve střední a v. částí mlékosrbské struktury (NB-5 Kosice, NB-13 Michnovka, NB-14 Chudeřice, NB-17 Obědovice, NB-23 Dobřenice) a dále k V (NB-25 Urbanice). Průměrná propustnost zde dosahuje nanejvýše řádu $K = 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (k řádu $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Mimořádně nízká propustnost udávaná z vrtu KN-3 nemusí být reprezentativní hodnotou (může jít o zdánlivou propustnost danou vysokým skinovým efektem v důsledku nedokonalého očištění stěn vrtu po delším stání vrtu — srov. Kolářová 1971).

Prostorové rozdělení propustnosti cenomanského kolektoru je ve zkoumaném území určováno především faciálním vývojem (obr. 4). Při posuzování tohoto vztahu v jednotlivých případech je však nutno mít na zřeteli, že se uváděné přijaté hodnoty propustnosti vztahují na tu část profilu, která funguje jako kolektor. Necharakterizují tedy průměrnou propustnost cenomanského souvrství jako celku. Zvýšené průměrné propustnosti se proto mohou vyskytnout i při nepříznivém faciálním vývoji, pokud je uvnitř izolačního komplexu vyvinuta byť i málo mocná, ale výrazně propustnější kolektorská vrstva (např. ve vrtu NB-19).

Vedle faciálního vývoje je prostorové rozdělení propustnosti ovlivněno do značné míry i rozpukáním, zvláště v souvislosti s tektonickým porušením. Tak by se např. na zvýšené propustnosti cenomanského kolektoru a případně i staropaleozoického podloží na vrtech NB-8 a NB-9 mohlo podílet i tektonické porušení související se systémem vzájemně kolmých zlomů, jehož průběh zhruba ve směru S—J se předpokládá v z. části mlékosrbské struktury (srov. Macháčková - Macháček - Klein 1976, Klein et al. 1975, 1976).

Z hlediska budování podzemního zásobníku plynu je třeba se zmínit i o vztahu rozdělení propustnosti ke geologické struktuře. Ve vrcholových částech mlékosrbské elevační zóny leží vrty, které buď nezastihly cenoman vůbec (NB-7, -11, -20, -21, -22), nebo jen ve velmi redukované mocnosti (NB-10, -13, -14, -17). Propustnosti cenomanského kolektoru jsou zde zcela nedostatečné. Na úpatí svahů elevací, při okrajích depresí nebo v mělkých depresích leží vrty NB-8, -12, -19 (tedy vrty s vysokou i nízkou propustností). V hlubších a centrálních částech depresí (NB-2, -6, -9, -18, HV-HJ-101) je propustnost cenomanského kolektoru vysoká. Výjimkou je vrt NB-30 v depresi s nepříznivým faciálním vývojem. Příznivá propustnost na vrtu NB-26 v depresi s nepříznivým vývojem je dána přítomností lokální polohy velmi silně pórovitého jemnozrnného pískovce. Podrobný rozbor vlastností cenomanského souvrství ve vztahu ke geologické struktuře uvádí zpráva Kleina et al. (1976).



4. Vztah propustnosti a průtočnosti v území mikrosrbské struktury k faciálnímu vývoji a mocnosti cenomanského souvrství
 1 — jílovité slenpence, 2 — jemnozrné pískovce blízké křemenným, zčásti glaukonitické, 3 — jemnozrné glaukonitické pískovce převážně jílovito-prachovité, 4 — jílovité pískovce, 5 — prachovce, 6 — organodetritické vápence, 7 — celková mocnost cenomanského souvrství (m), 8 — *nahole* koeficient propustnosti K v μm^2 , 9 — koeficient absolutní průtočnosti T_a v 10^{-12} m³. Litologie a mocnosti podle V. Kleina et al. (1975)

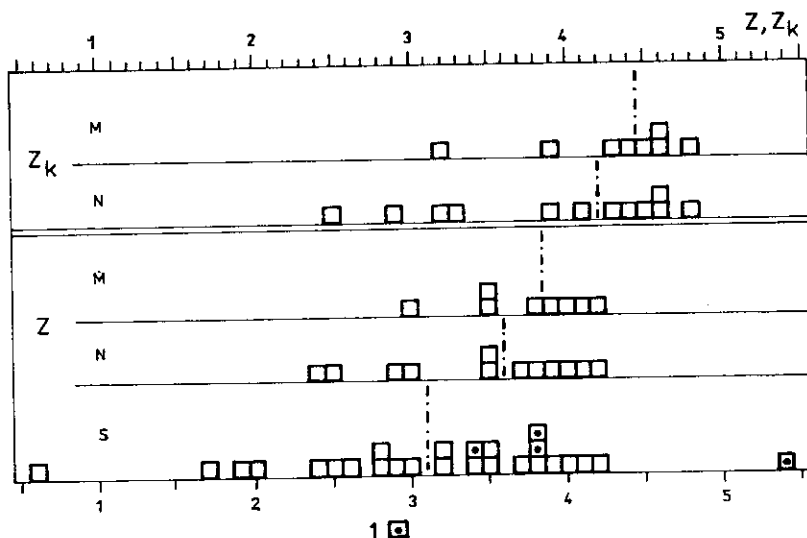
5.1.2. Statistické rozdělení hodnot propustnosti cenomanského kolektoru

Statistické zhodnocení údajů o hydraulických parametrech cenomanského kolektoru ve zkoumaném území je dosti problematické vzhledem k značné prostorové variabilitě a nehomogenitě a k nerovnoměrnému (nenáhodnému) rozmístění vrtů (především soustředění většiny vrtů do mlékosrbské struktury). Distribuci hodnot indexu propustnosti Z a logaritmické transformace Z_k koeficientu filtrace definované vztahem (Jeteš 1985a,b)

$$Z_k = 9 + \log k \quad (19)$$

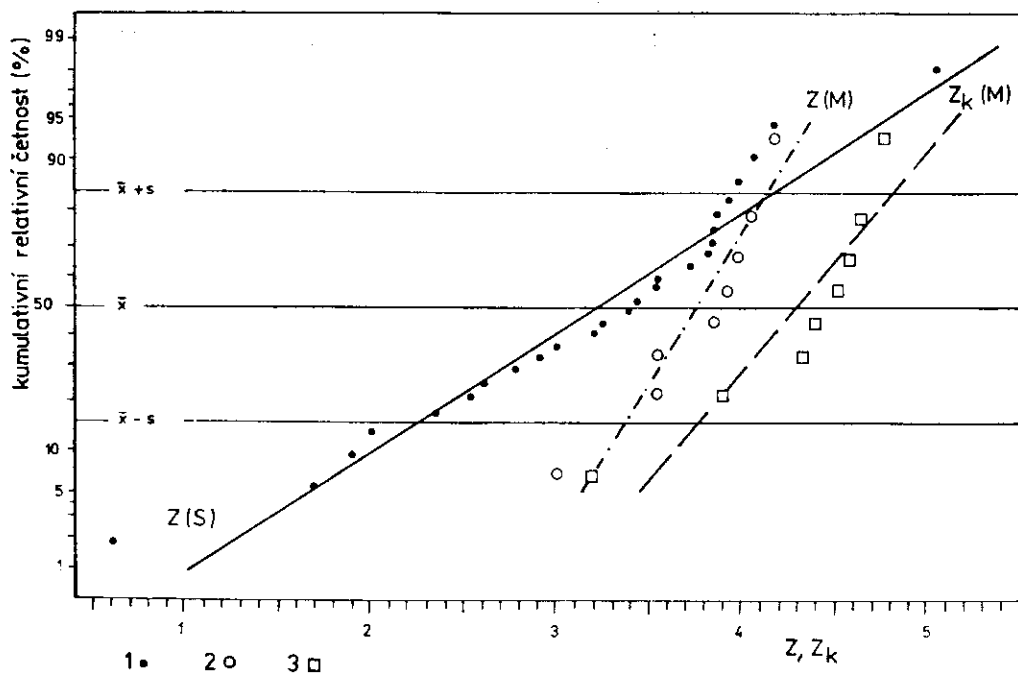
(k = koeficient filtrace v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) zobrazuje histogram na obr. 5 a kvantilový graf na obr. 6. V souhrnném souboru S 26 údajů jsme vydělili dílčí soubor M 8 údajů z příznivého vývoje cenomanu mlékosrbské struktury (NB-2, -6, -8, -9, -12, -18, -19, HV-HJ-101) a dílčí soubor N 12 údajů, vytvořený spojením souboru M s údaji z dalších vrtů řady NB s hydrodynamickými zkouškami ve výrazně vyvinutém cenomanském kolektoru (NB-3, -4, -26, -30).

Hodnoty indexu propustnosti Z souboru S leží v rozpětí 0,60 až 5,40 (obr. 5) okolo mediánu $\text{Md}(Z) = 3,41$ s aritmetickým průměrem $\text{M}(Z) =$



5. Statistické rozdělení průměrné propustnosti cenomanského kolektoru ve zkoumaném území (histogram hodnot indexu propustnosti Z a logaritmické transformace koeficientu filtrace Z_k)
 M = příznivý vývoj v mlékosrbské struktuře, N = soubor M +ostatní vrty řady NB, S = souhrnný soubor všech údajů; i – vrty na s. a j. okraji území

= 3,20 při směrodatné odchylce $s_z = 0,975$. Po vyloučení anomálně nízké hodnoty z vrtu NK-3 (viz podkapitola 5.1.1) se spodní hranice variačního rozpětí zvýší na $Z_{\min} = 1,70$ a hodnota $M(Z)$ stoupne na 3,31 při $s_z = 0,834$. Jak ukazuje obr. 6, lze rozdělení hodnot Z aproximovat normálním rozdělením, které odpovídá lognormálnímu rozdělení propustnosti. Určitou odchylku od normálního modelu způsobují hodnoty Z v rozpětí 3,8–4,2, jejichž rozdělení je výrazně strmější; projevuje se tak statistická nehomogenita souboru S způsobená hodnotami z vrtů soustředěných do příznivého úseku mlékosrbské struktury. Soubor M vykazuje rozpětí hodnot $Z = 3,00$ –4,16 s $Md(Z) = 3,88$, $M(Z) = 3,75$ a $s_z = 0,378$. U souboru M lze zhodnotit i rozdělení hodnot koeficientu filtrace k , vyjádřeného logaritmickou transformací Z_k [rovnice (19)]. Hodnoty Z_k (obr. 5, 6) tu leží v intervalu 3,19–4,76 s mediánem $Md(Z_k) = 4,46$, aritmetickým průměrem $M(Z_k) = 4,29$ a směrodatnou odchylkou $s_z = 0,515$. Hodnotě $M(Z_k)$ odpovídá ve smyslu vztahu (19) geometrický průměr koeficientu filtrace $g(k) = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, intervalu hodnot Z_k odpovídá rozpětí hodnot $k = 1,5 \cdot 10^{-6}$ – $6 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



6. Kvantilový graf hodnot indexu propustnosti Z a logaritmické transformace koeficientu filtrace Z_k cenomanského kolektoru ve zkoumaném území
 1 — hodnoty indexu Z souhrnného souboru S, 2 — hodnoty indexu Z z příznivého vývoje v mlékosrbské struktuře (soubor M), 3 — hodnoty Z_k souboru M

5.1.3. Podíl puklinové a průlinové propustnosti na celkové propustnosti cenomanského kolektoru

Ze srovnání průměrných hodnot koeficientu propustnosti K_j stanovených laboratorně na vzorcích jader s hodnotami propustnosti K zjištěnými z hydrodynamických zkoušek ve vrtech vyplývá, že na výsledné propustnosti cenomanského kolektoru se výrazně podílí propustnost puklinová. Hodnoty K_j , odpovídající propustnosti horninového monolitu — tj. v podstatě propustnosti průlinové (mezizrnové), případně mikropuklinové, jsou totiž v převážné většině případů nižší než hodnoty K reprezentující celkovou propustnost. Podle hodnot poměru K/K_j v tabulce 3 lze soudit, že podíl puklinové propustnosti na celkové propustnosti roste s celkovou propustností: zatímco na vrtech s dosti slabou a slabou propustností (NB-3, -4, -12) je rozdíl mezi hodnotami K a K_j málo výrazný, je zvýšení celkové propustnosti účinkem rozpukání na vrtech s vyššími pro-

Tabulka 3

Vztah průlinové a celkové propustnosti cenomanského kolektoru a přehled ukazatelů dodatečných odporů ve vrtech řady NB

vert	K_j	K/K_j	K/K_z	d	d_d	PR	φ
NB-2	0,40	1,8	1,4	0,36	0,14	0,68	3,7
NB-3	{0,05—0,18}	{0,7—2,4?}	1,8	0,38	0,24	0,55	7,0
NB-4	0,15 ^x	0,17	1,1	0,16	0,07	0,93	0,8
NB-6	1,17	1,9	1,9	0,43	0,24	0,54	8,3
NB-8	0,10	29	2,7	0,60	0,40	0,38	16,4
NB-9	{0,07—0,25} ^{xx}	{12—44} ^{xx}	{2,6}	{0,59}	{0,40}	{0,38}	
NB-12	0,11	1,3	1,1	0,19	0,03	0,91	0,8
NB-18	0,23	15	7,1	1,05	0,85	0,14	61
NB-19	{0,37} ⁺	{14} ⁺	{2,6}	{0,60}	{0,39}	{0,39}	{16}
NB-26	{0,47} ⁺	{2,5 ⁺ }	2,1	0,41	0,23	0,47	10,1
NB-30			1,8	0,38	0,25	0,54	8,9

K = přijatá hodnota celkové propustnosti (μm^2);

K_j = průměrná hodnota laboratorně stanoveného koeficientu propustnosti vzorků jader (přijatá průměrná průlinová propustnost) v μm^2 ;

K_z = celková zdánlivá propustnost (μm^2);

d = celková logaritmická přepočtová diference;

d_d = dodatečná přepočtová diference;

PR = poměr produktivity ($= K_z/K$);

φ = koeficient skinového efektu;

^x průměr po vyloučení extrémního maxima {0,60 μm^2 }; po zahrnutí této hodnoty by průměr činil 0,29 μm^2 ;

⁺ jediná naměřená hodnota K_j ;

^{xx} rozpětí zjištěných hodnot u zkoumaných vzorků; výběr vzorků schopných rozboru není pro zastižený profil zcela reprezentativní

Pozn.: Hodnoty v závorkách mají jen orientační platnost

pustnostmi nejméně dvojnásobné (NB-2, -6). Na vrtech NB-8, -18 a -19 pak dosahuje poměr K/K_j hodnot 14—29 a podíl průřlinové propustnosti K_j/K klesá na 0,03—0,07! I když vezmeme v úvahu možné zkreslení hodnoty K_j faktory, na něž jsme upozornili v kapitole 3, lze konstatovat, že v některých částech cenomanského kolektoru (zvláště při tektonickém porušení) rozpukání zvyšuje propustnost o 1—1,5 řádu. Nepřímo lze na vztah průřlinové a puklinové propustnosti usuzovat i z porovnání celkové propustnosti K s průměrnou otevřenou pórovitostí (viz níže v kapitole 5.3).

5.1.4. Projevy dodatečných odporů při odběrových zkouškách

Jak jsme již naznačili v podkapitole 3.3., jsou rozdíly mezi zdánlivou propustností K_z a skutečnou propustností K , vyjádřené poměrem K/K_z , dodatečnou přepočtovou diferencí d_d nebo poměrem produktivity PR ukazatelem velikosti dodatečných hydraulických odporů při odběru z vrtu. Hodnoty těchto ukazatelů spolu s hodnotami koeficientu skinového efektu φ pro jednotlivé vrty řady NB uvádí tabulka 3. Koeficient φ byl počítán pro čas $t = 24$ h.

S výjimkou některých vrtů s nejnižší propustností (NB-4, -12) se při odběrových zkouškách projevoval kladný skinový efekt s.l. (srov. J e t e l 1982), tj. snížení propustnosti na stěně vrtu oproti přírodní propustnosti kolektoru. Koeficient skinového efektu se pohyboval v průměru okolo hodnoty $\varphi = 8$. Hodnota K/K_z se nejčastěji pohybovala okolo 2, d_d okolo 0,24 a PR okolo 0,54. Přitom lze pozorovat celkový růst dodatečných odporů s rostoucí propustností kolektoru. Zatímco u vrtů s nízkými propustnostmi (pod $K = 0,15 \mu\text{m}^2$) (NB-3, -4, -12, -30) byly projevy dodatečných odporů podprůměrné ($K/K_z = 1,1—1,8$; $d_d = 0,03—0,25$; $PR = 0,54$ až 0,93; $\varphi = 0,6$ až 7), u vrtů s nejvyššími propustnostmi (nad $2 \mu\text{m}^2$) (NB-6, -8, -18, -19) byly naproti tomu nadprůměrné ($K/K_z = 2—7$; $d_d = 0,24$ až 0,85; $PR = 0,14—0,54$; $\varphi = 8$ až 61!). Nejvyšší dodatečné odpory se projevíly ve vrtu NB-18. Uvedené charakteristiky dodatečných odporů reálných hydrogeologických vrtů byly u nás zjišťovány v takovém rozsahu poprvé. Mají proto význam nejen pro případné využití jednotlivých vrtů, ale především jako srovnávací materiál a orientace při interpretaci hydrodynamických zkoušek ve vrtech podobného druhu v jiných územích.

5.1.5. Hodnoty celkové logaritmické přepočtové difference

Jak ukazuje tabulka 1 a 3, u 10 vrtů řady NB byly vedle hodnot srovnávacích parametrů Z a Y stanoveny z údajů o neustáleném proudění při stoupacích zkouškách také striktně hydraulické parametry — koeficient

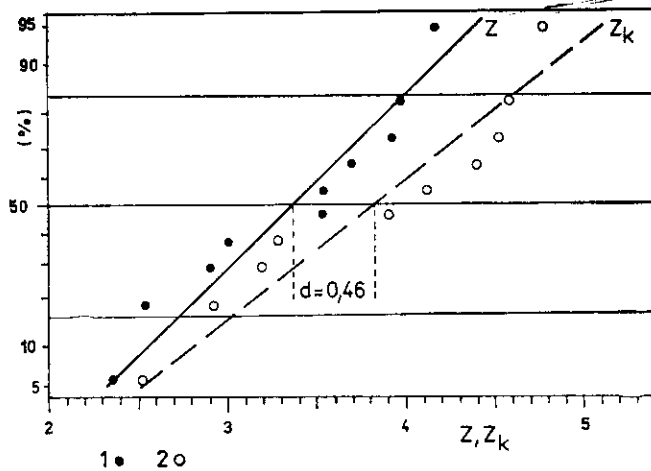
filtrace k a koeficient průtočnosti T . Z porovnání hodnot Z , resp. Y , s transformacemi Z_k , resp. Y_T , určenými podle vztahů [19] nebo [11], lze hodnotit také skutečné velikosti celkových přepočtových logaritmických diferencí d . Protože platí vztah

$$d = Z_k - Z = Y_T - Y, \quad (20)$$

postačí porovnání hodnot Z a Z_k . Z obrázku 7, kde jsou vyneseny současně hodnoty Z s odpovídajícími hodnotami Z_k , vyplývá, že teoretická čára vyrovnaného normálního rozdělení je mezi hodnotami Z a Z_k posunuta (J e t e l 1985a,b) pro kvantil 50 % o hodnotu $d = 0,46$, přičemž lze pozorovat růst posunu d od nízkých hodnot Z k vyšším tak, že posun d lze pro hodnoty Z v rozpětí 2,3–4,2 vyjádřit vztahem

$$d = 0,24 Z - 0,34. \quad (21)$$

7. Vztah mezi rozdělním indexu Z a logaritmické transformace koeficientu filtrace Z_k u vrtů, kde bylo možné přímé stanovení koeficientu filtrace
1 — Z , 2 — Z_k



K odhadu očekávané hodnoty d pro další praktické aplikace je lépe vyjít z regresní závislosti difference d na hodnotách Z . Pro uvedených 10 vrtů je vyjádřena regresní rovnicí

$$d = 0,21 Z - 0,25 \quad (22)$$

s nízkým výběrovým koeficientem korelace $r = 0,518$. Korelace je statisticky významnější po vyloučení extrémní hodnoty $d = 1,08$ z vrtu NB-18; pro 9 údajů platí potom regresní vztah

$$d = 0,18 Z - 0,21 \quad (23)$$

s koeficientem korelace $r = 0,748$. Rovnici (23) lze doporučit jako orientační vodítko k předběžnému odhadu celkové přepočtové difference ana-

logií při daném rozpětí hodnot Z ve vrtech s obdobnou konstrukcí a délkou zkoušek v podobných geologických podmínkách. Vztah (23) posloužil také k odhadu hodnot k a T z hodnot Z a Y u těch vrtů ve zkoumaném území, kde nebylo možné přímé stanovení hodnoty k a T podle údajů o neustáleném proudění.

5.2. Průtočnost cenomanského zvodněnce

5.2.1. Prostorové rozdělení průtočnosti

Ke kvantitativnímu vyjádření průtočnosti používáme vedle srovnávacího parametru — indexu průtočnosti Y — striktně hydraulicky definované parametry — koeficient průtočnosti T a koeficient absolutní průtočnosti T_a .

Nejvyšší průtočnosti (až okolo $T=1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $T_a=1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$) vykazuje díky dosti silné propustnosti při dostatečné mocnosti cenomanský zvodněnec v některých úsecích labského údolí na j. okraji území (vrt Řečany nad Labem: $Y=6,58$; K a m b e r s k ý 1961). Lokálně zde tedy dosahuje průtočnosti cenomanského zvodněnce I. třídy (velmi vysoká průtočnost) ve smyslu klasifikace K r á s n é h o (1986). Průtočnost cenomanského zvodněnce dosahuje místy vysoké úrovně II. třídy i v dalších úsecích údolí Labe v okolí Přelouče ($T=3 \cdot 10^{-4}$ — $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $T_a=4 \cdot 10^{-11}$ — $1,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$).

Tabulka 4

Charakteristiky průtočnosti cenomanského zvodněnce ve vrtech řady NB

vrt	index průtočnosti Y	Y_T	koeficient průtočnosti T [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	koeficient absolutní průtočnosti T_a [m^3]
NB-2	4,98	5,34	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-11}$
NB-3	3,77	4,15	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-13}$
NB-4	3,33	3,49	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-13}$
NB-6	5,02	5,45	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-11}$
NB-8	4,71	5,31	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$
NB-9	5,30	5,89	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-11}$
NB-12	3,92	4,11	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-12}$
NB-18	4,70	5,75	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-11}$
NB-19	4,76	5,36	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-11}$
NB-26	4,59	5,00	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-12}$
NB-30	3,91	4,29	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-12}$

$$Y_T = 9 + \log T$$

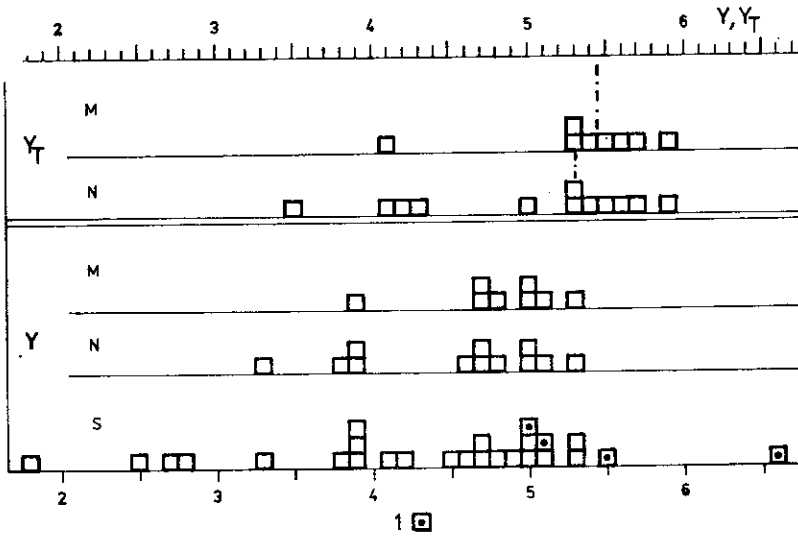
Uvnitř zkoumaného území dosahuje cenomanský zvodněnec nejvyšších průtočností ($T = 6 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $T_a = 5 \cdot 10^{-11} - 7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$) na vrtech NB-9 Luková, NB-18 Chudeřice a HV-1 Bohdaneč; lze ho zde označit jako středně průtočný zvodněnec III. třídy. Poněkud nižší průtočnosti stejné třídy ($T = 1 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $T_a = 1 \cdot 10^{-11} - 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$) zjistily další vrty v mlékosrbské struktuře (NB-2, -6, -8), na JZ od Hradce Králové (NB-26) a při s. i j. okraji území (KN-5, KN-1). Až na výjimky dosahuje tedy průtočnost cenomanského zvodněnce v částech území s příznivým vývojem cenomanu pouze III. třídy v klasifikaci Krásného (1986); v případě vyhovující kvality vody by taková úroveň průtočnosti kvalifikovala podle Krásného (1986) daný zvodněnec k využití rozptýlenými, většinou nevelkými odběry pro místní zásobování.

Řádově nižší průtočnosti zastihly vrty NB-12 na jz. okraji mlékosrbské struktury, NB-3 ve volanické struktuře, NB-4 v chotělické struktuře, NB-30 na S od Bohdanče, HV-HJ-103 u Kladrub nad Labem, vrty KN-2, KN-4 a KN-6, vrt v Sopřeči a vrt OP-4 Vrbice. Koeficient průtočnosti se zde pohybuje v rozpětí $T = 3 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ s hodnotami T_a v intervalu $3 \cdot 10^{-14} - 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$. Jde tu o zvodněnec IV.—V. třídy s nepatrnou, velmi nízkou nebo nízkou průtočností.

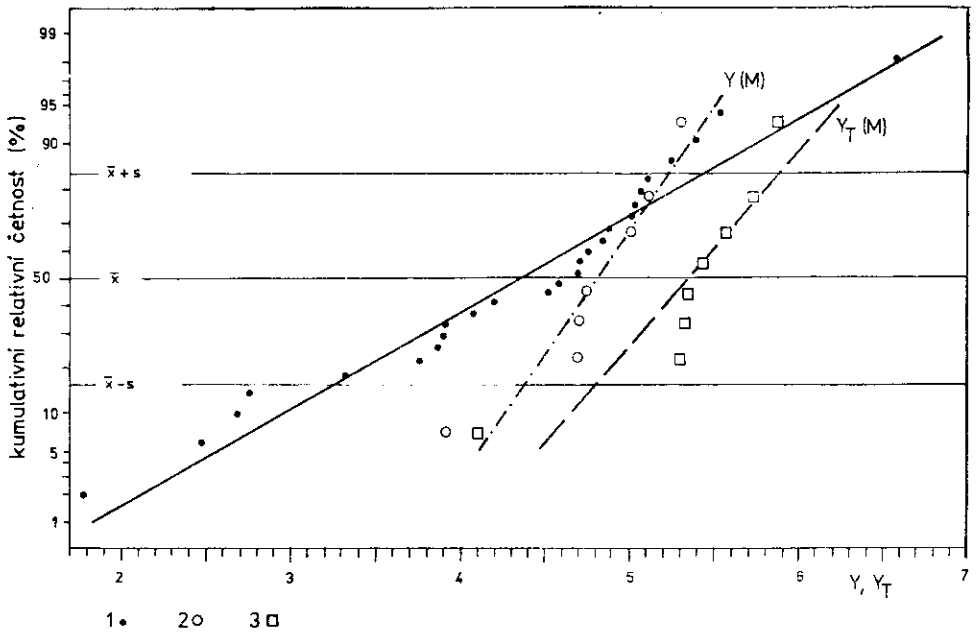
Průtočnost cenomanského zvodněnce klesá k nule s přibližováním k vrcholům elevací, kde cenoman chybí nebo má jen nepatrnou mocnost (tak např. ve vrtu NB-5 činí absolutní průtočnost cenomanských pískovců pouze $6 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3 - T$ řádu $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Nepatrnou průtočnost cenomanu zastihl také vrt KN-3 Chotělice.

5.2.2. Statistické rozdělení hodnot průtočnosti cenomanského zvodněnce

Při statistickém zpracování údajů o průtočnosti jsme postupovali stejně jako u údajů o propustnosti. Distribuci hodnot Y a Y_T znázorňují obrázky 8 a 9. V souhrnném souboru S leží hodnoty indexu průtočnosti Y v intervalu 1,78—6,58 okolo mediánu $Md(Y) = 4,64$ s aritmetickým průměrem $M(Y) = 4,34$ a směrodatnou odchylkou $s_Y = 1,051$. Po vyloučení extrémního minima z vrtu KN-3 se dolní mez hodnot Y zvýší na 2,48 při $M(Y) = 4,44$ a $s_Y = 0,955$. Normálnost rozdělení hodnot Y (obr. 9) naruší podobně jako u hodnot Z údaje v intervalu 4,7—5,4 z vrtů soustředěných v příznivé části mlékosrbské struktury. Hodnoty indexu Y v dílčím souboru M činí 3,92—5,30 s $Md(Y) = 4,87$, $M(Y) = 4,81$ a $s_Y = 0,417$. Rozdělení hodnot koeficientu průtočnosti T souboru M , vyjádřené ve formě logaritmických transformací Y_T podle vztahu (11), je charakterizováno rozpětím hodnot $Y_T = 4,11 - 5,89$ ($T = 1,3 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) s



8. Statistické rozdělení průtočnosti cenomanského zvodněnce ve zkoumaném území [histogram hodnot indexu průtočnosti Y a logaritmické transformace koeficientu průtočnosti Y_T]
 Označení souborů jako u obr. 5. 1 — viz obr. 5



9. Kvantilový graf hodnot indexu průtočnosti Y a logaritmické transformace koeficientu průtočnosti Y_T cenomanského zvodněnce ve zkoumaném území
 1 — hodnoty indexu Y souboru S, 2 — hodnoty indexu Y souboru M, 3 — hodnoty Y_T souboru M (označení souborů jako u obr. 5 a 6)

$Md(Y_T) = 5,40$. Aritmetickému průměru $M(Y_T) = 5,35$ odpovídá geometrický průměr koeficientu průtočnosti $g(T) = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, směrodatná odchylka hodnot Y_T činí 0,507.

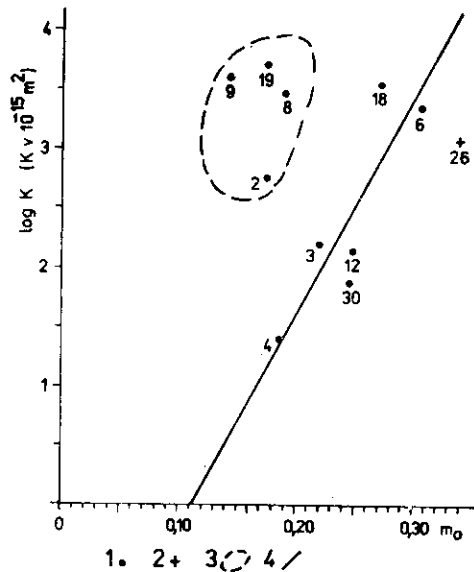
5.3. Kapacitní a kapacitně odporové charakteristiky cenomanského kolektoru

5.3.1. Pórovitost cenomanského kolektoru

Průměrné hodnoty otevřené pórovitosti cenomanského kolektoru (tab. 5) se v území zkoumaném vrty řady NB pohybují na jednotlivých vrtech převážně v rozpětí $m_0 = 0,17-0,31$ (17–31 %), v průměru okolo $m_0 = 0,22$ (22 %).

10. Vztah mezi průměrnou propustností K a otevřenou pórovitostí m_0 cenomanského kolektoru podle údajů z vrtů řady NB

1 — průměrná otevřená pórovitost ve vztahu k průměrné propustnosti, 2 — jediný údaj o otevřené pórovitosti (vrt NB-26) ve vztahu k průměrné propustnosti, 3 — vrty s předpokládaným významným podílem puklinové propustnosti, 4 — regresní přímka $\log K = f(m_0)$ pro údaje z vrtů NB-3, -4, -6, -12, -18 -30 (koeficient lineární korelace $r = 0,87$)



Závislost celkové propustnosti cenomanského kolektoru na průměrné otevřené pórovitosti není vzhledem k významné úloze puklinové propustnosti jednoznačná. Ilustruje to obrázek 10, na kterém lze rozlišit dvě skupiny bodů. První skupinu s poměrně vysokou propustností při relativně nízké otevřené pórovitosti ($m_0 = 0,14-0,19$) představují vrty NB-9, -19, -8 a -2. Ostatní body s rozpětím $m_0 = 0,19-0,33$ jsou uspořádány zhruba okolo společné přímky $\log K = f(m_0)$. Vyloučíme-li vrt NB-26, kde je k dispozici pouze jediný údaj o pórovitosti, lze závislost průměrného koefi-

cientu propustnosti K určeného hydrodynamickými zkouškami ve vrtu na průměrné otevřené pórovitosti m_0 pro vrty NB-3, -4, -6, -12, -18 a -30 vyjádřit regresní rovnicí

$$\log K' = -5,05 + 18,30 m_0 \quad (24)$$

s koeficientem lineární korelace $r = 0,872$ (K' = koeficient propustnosti v μm^2). Od přímky (24), znázorněné na obrázku 10, se nejvíce odchyluje bod NB-18; po jeho vyloučení získáme pro zbývajících 5 bodů novou regresní rovnici

$$\log K' = -4,55 + 15,65 m_0 \quad (25)$$

($r = 0,932$).

Uvedené roztrídění vrtů zřejmě odráží odlišný charakter propustnosti cenomanského kolektoru na jednotlivých vrtech. Zatímco pro první skupinu vrtů naznačují zjištěné vztahy rozhodující vliv puklinové propustnosti bez výrazného vztahu celkové propustnosti k otevřené pórovitosti, na vrtech NB-3, -4, -6, -12 a -30 s regresní závislostí (25) lze očekávat poměrně malý vliv puklinové propustnosti při výrazné závislosti celkové propustnosti kolektoru in situ na otevřené pórovitosti, a tedy i na propustnosti horninového monolitu. Přechodné postavení mezi oběma skupinami vrtů má vrt NB-18. Uvedené vztahy jsou do značné míry v souladu i s rozdělením hodnot poměru celkové a průlinové propustnosti v tabulce 3, komentovaným v podkapitole 5.1.3.

5.3.2. Celková pružná kapacita, pružná zásobnost a hydraulická difuzivita cenomanského zvodněnce

Vzhledem k tomu, že z odběrových zkoušek realizovaných ve zkoumaném území nejsou k dispozici údaje o časových změnách hladiny či tlaku mimo odběrové vrty, nelze přímo stanovit hodnoty kapacitních a kapacitně odporových parametrů (srov. J e t e l 1982). Jejich hodnotám se lze přiblížit pouze odhadem opírajícím se o tabulkové hodnoty v kombinaci s výsledky měření pórovitosti. Postup odhadu jsme popsali v kap. 3.3., výsledky shrnuje tabulka 5.

Odhady hodnot celkové pružné kapacity β^* se pro cenomanský zvodněnec v území vrtů řady NB pohybují v rozmezí $(1,9 \div 2,7) \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ s průměrem $2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$. Tomu odpovídají odhady koeficientu měrné pružné zásobnosti $S_s = (1,9 \div 2,7) \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ s průměrem $S_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$. V závislosti na mocnostech zvodněnce potom odhady koeficientu pružné zásobnosti S leží v intervalu $(0,8 \div 5,5) \cdot 10^{-5}$ s mediánem $\text{Md}\{S\} = 2,0 \cdot 10^{-5}$.

Tabulka 5

Odhady kapacitních a odporově kapacitních parametrů cenomanského zvodněnce pro vrty řady NB

vert	m_0	β^*	S_s	S	a
NB-2	0,174	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	4,0
NB-3	0,220	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,93
NB-4	0,186	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	0,16
NB-6	0,305	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	10
NB-8	0,189	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	17
NB-9	{0,143}*	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	{22}
NB-12	0,249	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,72
NB-18	0,271	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	16
NB-19	0,174	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	{30}
NB-26	{0,338}**	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	5,0
NB-30	0,245	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	0,37

m_0 = přijatá průměrná otevřená pórovitost kolektoru; β^* = odhad koeficientu celkové pružné kapacity zvodněného systému v $m^2 \cdot N^{-1}$; S_s = odhad koeficientu měrné zásobnosti v m^{-1} ; S = odhad koeficientu zásobnosti; a = odhad koeficientu hydraulické difuzivity v $m^2 \cdot s^{-1}$

* výběr vzorků není reprezentativní pro celou zastiženou mocnost; ** jediná hodnota měření

Pozn.: Hodnoty v závorkách mají jen orientační platnost

Hydraulická difuzivita je vzhledem na malou variabilitu hodnot zásobností přímým odrazem průtočnosti cenomanského zvodněnce. Její hodnoty byly odhadnuty jako podíl zjištěné průtočnosti a odhadnuté zásobnosti. Leží v intervalu $a = 0,16-30 m^2 \cdot s^{-1}$ s mediánem $Md(a) = 5,0 m^2 \cdot s^{-1}$.

5.4. Hydraulické parametry hornin v podloží cenomanu

Hydrodynamickými zkouškami z otevřených úseků v podloží cenomanu byla měřitelná propustnost prokázána jen u permokarbonských pískovců na vrtu NB-26 a v ordovických kvarcitech a břidlicích na vrtech NB-5 a NB-9.

Propustnost permokarbonských pískovců a slepenců na vrtu NB-26, vztažená na mocnost 46,4 m, dosahuje hodnoty $K = 0,04 \mu m^2$ a nevymyká se tedy v rozsahu propustností kolektorů v celém podkřídovém permokarbonu, jak jsme ji charakterizovali dříve (J e t e l 1971, 1974).

Nejvyšší propustnosti v podloží cenomanu byly zjištěny vrtem NB-9, kde dosahuje průměrná propustnost rozpukaných silně prokřemenělých fylitických břidlic ordoviku, vztažená na délku úseku 24 m, hodnotu koe-

ficientu propustnosti $K = 0,37 \mu\text{m}^2$. V podmínkách předvariského podloží křídly je to hodnota extrémně vysoká, daná zřejmě mimořádným tektonickým porušením, projevujícím se ostatně i v cenomanském kolektoru.

Silně rozpukané a drčené ordovické kvarcity na vrtu NB-5 dosahují při vztažení na mocnost silně porušených kvarcitů v bezprostředním podloží cenomanu (358,5—372,0 m) průměrné propustnosti okolo $K = 0,10 \mu\text{m}^2$.

V ostatních zkoušených úsecích podloží křídly byla propustnost zcela nepatrná.

6. Piezometrické poměry

Přehled zjištěných úrovní statických hladin a příslušných odpovídajících hodnot piezometrického napětí bazální zvodně křídové pánve ve zkoumaném území uvádí tabulka 6. Získané údaje potvrzují závěry o generálním úklonu piezometrické hladiny bazální zvodně křídové pánve v širším území od SSV k JJZ, tj. k údolí Labe pod Pardubicemi (mezi Pardubicemi a Poděbrady), které představuje bázi regionálního odvodnění celé přilehlé části české pánve (Jetel 1971, 1974; Krásný et al. 1982). Sklon piezometrické hladiny bazální křídové zvodně je velmi mírný — od úrovní okolo 260—280 m n.m. na s. okraji území na úrovně okolo 205—220 m n.m. na j. okraji území. V rozsahu převážně části mlékosrbské elevační zóny je sklon piezometrické hladiny zcela nepatrný a piezometrické napětí se zde pohybuje okolo $225 \pm 0,5$ m n.m. Pouze decimetrové rozdíly mezi jednotlivými vrty zde nedovolují určení sklonu hladiny, neboť leží v rozsahu běžných nepřesností určení statické hladiny. Poněkud vyšší piezometrická úroveň bazální zvodně byla zjištěna při sz. okraji mlékosrbské struktury (NB-8: 227 m n.m.) a za jejím v. okrajem (NB-26: 228 m n.m.).

Piezometrické poměry z. části zkoumaného území jsou málo jasné vzhledem k nedostatečné hustotě spolehlivých údajů. Údaje z vrtů KN-2 a KN-3 (Kolářová 1971) však naznačují možnost určité deformace piezometrického pole v území na Z od Nového Bydžova a Chlumce nad Cidlinou s výběžkem piezometrické elevace o piezometrickém napětí minimálně okolo 236 m n.m. od Hlušic směrem k Městci Králové a Dlouhopolsku (obr. 11). Celkový směr proudění v bazální zvodni od SSV k JJZ je tu modifikován lokálním směrem proudění z uvedené elevace k VJV do mlékosrbské struktury. Území mlékosrbské struktury potom představuje určitou piezometrickou depresi — výběžek nižšího napětí směrem k SSV zhruba ve směru údolí Cidliny nad Chlumcem nad Cidlinou. Nelze vyloučit, že tato piezometrická deprese vzniká následkem drenážního účinku údolí Cidliny jako místní báze odvodnění; drenážní účinek může zde být zčásti podmíněn i tektonickým porušením směru JJZ—SSV.

Tabulka 6

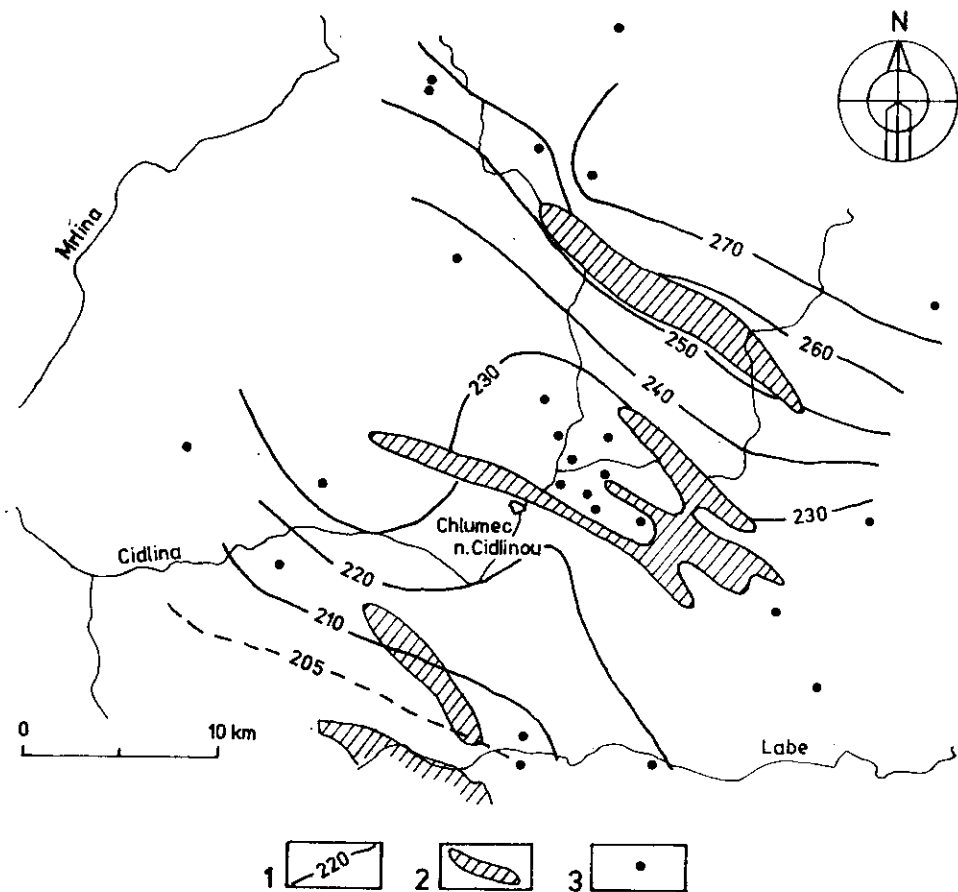
Přehled piezometrických údajů z vrtů řady NB

vrt	statická hladina		piezometrické napětí [m n.m.]
	hloubka pod terénem [m]	výška nad terénem [m]	
NB-2		8,2 ¹	226,6
NB-3	17,5		257,1
NB-4		36,8 ¹	277,4
NB-5		4,0 ¹	225,2
NB 6	15,1		224,9
NB-8	15,6		227,1
NB-9 ¹		5,6 ¹	225,4
NB-9 ²		5,1 ¹	224,9
NB-12		6,2 ¹	224,5
NB-18	7,5		224,6
NB-19		4,0 ¹	223,5
NB-26 ³	2,6		231,4
NB-26 ⁴	5,3		228,7
NB-26 ⁵	6,0		228,0
NB-30	19,8		222,1

¹ úsek 429—453 m (ordovik)² úsek 385—426 m (cenoman)³ úsek 503—590 m (permokarbon+krystalinikum)⁴ úsek 503—556 m (permokarbon)⁵ úsek 468—479 m (cenoman)

Piezometrický gradient v bazální křídové zvodni se ve zkoumaném území pohybuje v průměru okolo hodnoty $J = 2 \cdot 10^{-3}$. Snížený gradient okolo $J = 1,3 \cdot 10^{-3}$ se projevuje ve zmíněné piezometrické depresi mezi mlékosrbskou strukturou a údolím Labe. Naproti tomu lze předpokládat zvýšení gradientu až na hodnoty okolo $J = 4,4 \cdot 10^{-3}$ od s. okraje piezometrické deprese mlékosrbské struktury směrem k SSV až po jílovické zlomové pásmo.

Při průměrném piezometrickém gradientu $J = 0,003$ by průměrnému koeficientu filtrace $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ odpovídala průměrná filtrační rychlost $v = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a hodnotě $k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ hodnota $v = 2 \cdot 10^{-9}$



11. Schéma piezometrických poměrů bazální křídové zvodně

- 1 — hydroizopiezy bazální zvodně s uvedením piezometrického napětí v m n.m.,
 2 — plochy bez cenomanského kolektoru, 3 — vrty s piezometrickým údajem o bazální zvodni

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. V těchto řádech se bude pravděpodobně pohybovat filtrační rychlost v největší části území. Odhadneme-li koeficient účinnosti filtračního průřezu cenomanského kolektoru přibližnou hodnotou $m_A = 0,10$, bude uvedeným hodnotám filtrační rychlosti odpovídat odhad průměrné efektivní rychlosti pohybu podzemní vody v bazálním cenomanském kolektoru $u = 2 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tj. 0,06 až 0,6 m za rok. Tyto hodnoty svědčí přes svoji přibližnost o značné stagnaci podzemních vod bazální zvodně ve zkoumaném území. Hodnotu efektivní rychlosti pohybu podzemní vody 9 m za rok (tj. zhruba $3 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), kterou pro profil napříč křídovou pánví na S od Poděbrad odhadl Krásný (1968b), poklá-

dáme za nadhodnocenou — zřejmě v důsledku nadhodnocení průměrné efektivní hodnoty koeficientu filtrace cenomanského kolektoru (Krásný 1968b předpokládá hodnotu $k = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, která je pro vnitřní části křídové pánve evidentně nadhodnocena).

Souvislý proud podzemní vody v cenomanském kolektoru, nepřerušeny příčnými diskontinuitami (redukcí cenomanu na elevacích směru SZ—JV), by při uvedených odhadech efektivních rychlostí pohybu podzemní vody překonal průměrnou vzdálenost 30 km od jílovického zlomového pásma do údolí Labe mezi Přeloučí a Týncem nad Labem za 50 000—500 000 let.

7. Plynové poměry

Přehled vybraných výsledků výzkumu plynových poměrů na jednotlivých vrtech řady NB uvádějí tabulky 7 a 8. Koncentrace plynů jsou v textu i tabulkách přepočteny na standardní podmínky teploty (0 °C) a tlaku (0,101325 MPa = 760 torr).

Výsledky hydrogeologických prací potvrdily předpoklad o sycení bazální křídové zvodně ve zkoumaném území oxidem uhličitým. Sycení CO₂ bylo prokázáno ve všech vrtech, které zastihly cenomanský kolektor v mlékosrbské struktuře (NB-2, -5, -6, -8, -9, -12, -18, -19 a HV-HJ-101) a v jz. okolí Hradce Králové (NB-26, -30). Sycení oxidem uhličitým bylo dále zjištěno v sv. části území vrtem Vy-1 Všestary (Jetel - Rybářová 1979), na jv. okraji území vrtem v Sezemicích (Soukup 1945), na J od Chlumce nad Cidlinou v Sopřeči (Kůst 1945), v z. části území vrty OP-4 Vrbice (Kolářová - Krásný 1972), v Dymokurech (Kolářová 1978), v Libáni (Jetel - Rybářová 1979) a za z. okrajem území nejnověji vrtem DB-1 v Dolním Bousově (Jetel - Rybářová 1984, 1986). Příron CO₂ vytvořil v bazální zvodni rozsáhlou akumulaci uhličitých vod mezi Hradcem Králové, Pardubicemi, Poděbrady, Sadskou, Dolním Bousovem, Libání, Novým Bydžovem a Všestary, kterou Jetel a Rybářová (1979) označili jako „cidlinsko-labská akumulace uhličitých vod [kyselek]“. Oblast kyselek mezi Poděbrady, Nymburkem, Sadskou a Kounicemi představuje výběžek této akumulace k JZ.

Celkový obsah plynu se v bazální křídové zvodni ve vrtech řady NB pohybuje v rozpětí 500—1 560 ml.l⁻¹, v průměru okolo 900 ml.l⁻¹. Složení plynu v bazální zvodni uvádí tabulka 8. Je tvořeno z převážné většiny oxidem uhličitým, jehož objemový podíl se až na jedinou výjimku (viz tab. 8) pohybuje u vrtů řady NB v rozmezí 92,3—98,7 obj. %, v průměru okolo 97 obj. %. Nejvyšší podíl CO₂ zjistily vrty NB-18, -9, -2 a -8. Ve hmotnostním vyjádření se koncentrace CO₂ pohybují u vrtů řady NB od 0,91 do 3,01 g.l⁻¹ s průměrem okolo 1,8 g.l⁻¹. Nejvyšší celková kon-

Tabulka 7

Hodnoty fázového poměru a tlaku nasycení

vrt	fázový poměr G (plyn : voda)	tlak nasycení		celkový tlak nasycení [MPa abs. tlaku]	datum odběru vzorku
		$N_2 + Ar$	CO_2		
		[MPa abs. tlaku]			
NB-2	0,64+			0,446 0,442	PS 9/8/73 PS 10/8/73
NB-6	0,01—2,18				
NB-8	0,50+	0,288 0,287	0,172 0,189	0,469 0,484	PS 4/12/74 PS 17/12/74
NB-9	0,05—0,59	2,065 0,058	0,102 0,081	2,183 0,141	PS 27/2/75 PS 21/3/75
NB-12	xx	0,214 0,178	0,056 0,062	0,297 0,249	HV 22/1/75 PS 6/2/75
NB-18	0,02+	0,066	0,096	0,167	PS 24/4/75
NB-19	0,59+	0,453	0,165	0,668	HV 10/6/75
NB-26		0,154 0,141	0,098 0,110	0,331 0,271	HV 28/7/75 HV 10/9/75

+ průměrná hodnota

xx nelze stanovit pro nepatrný volný odplyn

PS — povrchová separace; HV — hlubinné vzorkování

Měření fázových poměrů a vzorkování plynů provedli na vrtu NB-2 J. Krajička - M. Hájek et al. (1973) na ostatních pracovníci n. p. Geoindustria, závod Tuchlovice. Metodiku prací popisuje J. Krajička (1977) a J. Krajička et al. (1973).

centrace CO_2 byla zjištěna na vrtu NB-8 (2,73—3,01 $g \cdot l^{-1}$), NB-2 (2,78 $g \cdot l^{-1}$) (Krajička - Hájek et al. 1973) NB-19 (2,56 $g \cdot l^{-1}$).

Pro srovnání s údaji o koncentracích CO_2 v minerálních vodách jiných území, kde se zpravidla uvádějí pouze obsahy tzv. volného CO_2 , uvádíme v tabulce 8 i zbytkové koncentrace CO_2 za separátorem po spontánním odplynění v separátoru (tyto hodnoty odpovídají „volnému CO_2 “ v běžných analýzách). Zbytkové koncentrace CO_2 se ve vodě čerpané z bazální zvodně pohybovaly na výše uvedených vrtech řady NB mezi 0,91 a 1,95 $g \cdot l^{-1}$, v průměru okolo 1,5—1,6 $g \cdot l^{-1}$.

Stanovené celkové tlaky nasycení v bazální křídové zvodni činily na výše uvedených vrtech řady NB 0,14—0,67 MPa absolutního tlaku, s extrémní stanovenou hodnotou 2,18 MPa na vrtu NB-9, v průměru okolo 0,4 MPa. Největší podíl na tlaku nasycení má však parciální tlak nasycení málo rozpustných plynů ($N_2 + Ar$). Parciální tlak CO_2 činil pouze 0,06

Tabulka 8

Chemické složení rozpuštěných plynů

vrt	celkové složení rozpuštěných plynů ve vrstevních podmínkách [obj. %]						celkový odplyn [ml.l ⁻¹]	celkový obsah CO ₂		zbytkový (volný) CO ₂ [mg.l ⁻¹]	datum odběru
	He	H ₂	O ₂	N ₂ +Ar	CH ₄	CO ₂		[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]		
NB-2	0,061	0,0033	0,035	N ₂ 2,62 Ar 0,014	0,00090	97,3	1404	2776	1500	PS 9/8/73	
	0,168	0,014	0,035	N ₂ 2,30 Ar 0,033	0,028	97,4	1404	2776	1700	PS 10/8/73	
NB-8	0,04 0,03	0,01 0,02	0,02 0,02	2,98 2,70		96,95 97,23	1420 1564	2722 3007	1875 1947	PS 4/12/74 PS 17/12/74	
NB-9	0,08 0,02	0,04 0,01	—	25,36 N ₂ 1,19 Ar 0,08		74,52 98,68	1385 737	2041 1437	1579 1323	PS 27/2/75 PS 21/3/75	
NB-12	0,04 st.	0,25 st.		6,30 5,01	1,13+ 0,49+	92,28 94,50	499 535	911 998	911 998	HV 22/1/75 PS 6/2/75	
NB-18	0,02	0,02	st.	N ₂ 1,18	0,06	98,69	847	1652	1609	PS 24/4/75	
NB-19	0,14	0,04	0,10	4,77	0,41	94,54	1372	2564	1529	HV 10/6/75	
NB-26	0,05 0,03	st. 0,005	—	2,60 N ₂ 2,24	2,88 0,53	94,47 97,19	931 924	1739 1776	1484 1691	HV 28/7/75 ^x HV 10/9/75 ^{xx}	

+ CH₄+ostatní uhlovodíky

x úsek 503—590 (permokarbon+kryštalínikum)

xx úsek 468—479 m (cenoman)

PS — povrchová separace; HV — hlubinné vzorkování

až 0,19 MPa s průměrem okolo 0,1 MPa a s maximem na vrtech NB-8 a NB-19.

Jako další charakteristika plynových poměrů byly na vrtech řady NB stanoveny i hodnoty fázového poměru G (plyn : voda). Při jednotlivých odběrových zkouškách se pohybovaly od hodnot neměřitelně nízkých (NB-12) až po hodnotu 2,18 (NB-6). V průměru činily okolo 0,2—0,5. Hodnota fázového poměru většinou rostla s čerpaným množstvím nebo vydatností přelivu. Velmi výrazná byla tato závislost na vrtu NB-6, kde měla exponenciálně parabolický charakter; v rozsahu měřených hodnot ji zde lze vyjádřit rovnicí

$$G = 10^{[8,73 Q - 5,23 Q^2 - 3,15]} \quad (26)$$

(Q = vydatnost odběru v l. s⁻¹).

Podle klasifikace Michalíčka (1974) lze plyn sytící bazální křídovou zvodeň ve zkoumaném území charakterizovat jako uhličitý (základní typ).

Vity ve volanické a chotělické struktuře nebyl zvýšený obsah CO₂ v bazální křídové zvodni zjištěn stejně jako při j. okraji území na J od Sopřeče a na JZ a Z od Chlumce nad Cidlinou. Kontura cidlinsko-labské akumulace uhličitých vod v bazální zvodni leží ve zkoumaném území vně spojnice zjištěných výskytů CO₂ Všestary—Sedlice—Sezemice—Kříčeň—Sopřeč—Nové Město—Luková—Hlušice—Vrbice a dále k JZ na Poděbradsko. Na Z a JZ probíhá potom kontura území se sycením CO₂ od Dymokur přes Libáň, Hlušice, Zadražany ke Všestarům. V podloží cenomanu zasahuje oblast sycení podzemních vod oxidem uhličitým dále k SZ (vrt DB-1 Dolní Bousov — Jetel - Rybářová 1986).

8. Chemismus podzemních vod

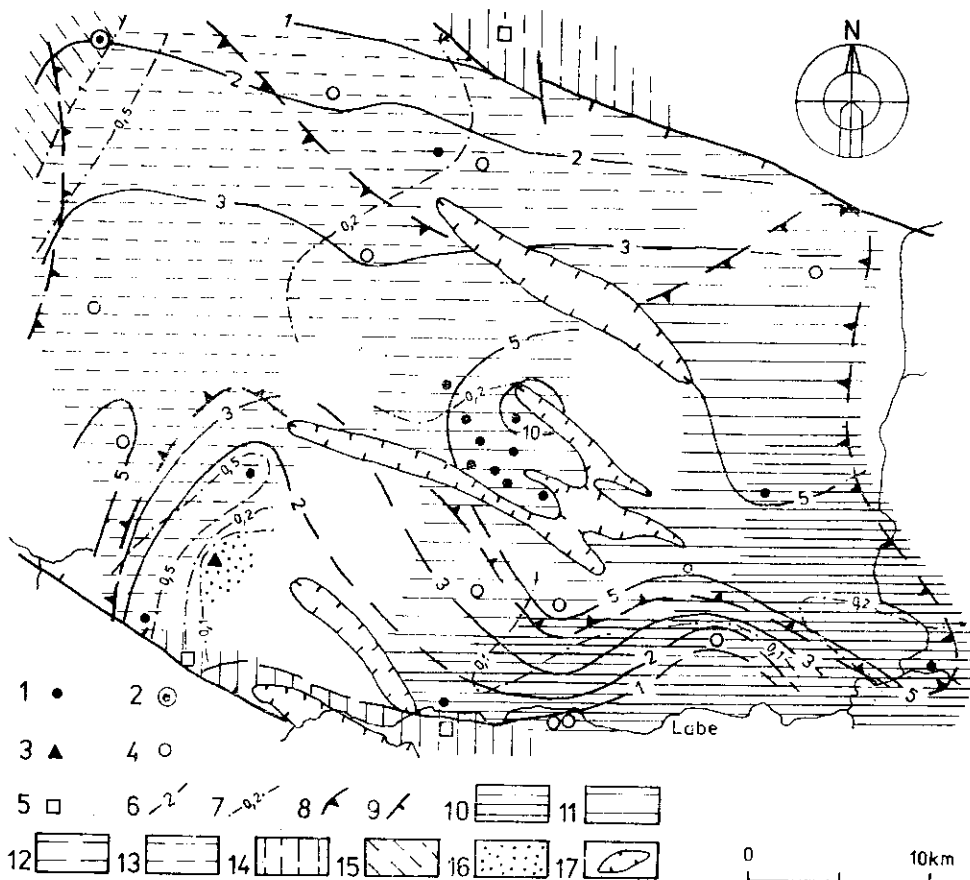
Vzhledem k tomu, že chemismus podzemních vod z většiny vrtů do bazální křídové zvodně ve zkoumaném území podrobně popisují monografie Jetela a Rybářové (1979) (vrty řady NB) a Kolářové (1971) (vrty řady KN) a údaje o vrtech řady OP uvádějí Kolářová a Krásný (1972), podáváme zde pouze souhrnné zhodnocení celkových prostorových zákonitostí rozdělení chemismu bazální křídové zvodně spolu s jeho základní charakteristikou. Přehled o chemismu bazální křídové zvodně ve zkoumaném území poskytuje mapka na obrázku 12. Pro typologickou charakteristiku používáme klasifikaci Alekina (1970) a molární klasifikaci Jetela a Pačesa (1979), přičemž přihlížíme i ke klasifikaci, kterou navrhl Gazda (1971).

Podzemní vody bazální křídové zvodně v cenomanském kolektoru a v bezprostředním podloží křídý náleží (až na ojedinělé výjimky při okrajích území) v celém zkoumaném území natrium-hydrogenkarbonátovým vodám Alekinova typu C_1^{Na} . Celková mineralizace je výrazně ovlivněna sycením vod oxidem uhličitým. V oblasti sycení CO_2 se dosud zjištěné mineralizace pohybují v rozpětí 2,0–12,6 g.l⁻¹ okolo mediánu 5,5 g.l⁻¹. Většina hodnot zde leží v intervalu 3,4–7,0 g.l⁻¹, vyšší mineralizace mají vody z cenomanu ve vrtech NB-18 (8,0 g.l⁻¹) a nejsilněji mineralizovaná voda z vrtu NB-6 Kosice (12,6 g.l⁻¹) a dále voda z podloží cenomanu z vrtu NB-9 Luková (7,6 g.l⁻¹). Uhličitě vody s nejnižší mineralizací byly zastíženy vrty Vy-1 Vřestary (3,1 g.l⁻¹), KN-4 Hlušice (3,1 g.l⁻¹) a vrtem v Libáni (2,0 g.l⁻¹). Naproti tomu mimo oblast sycení CO_2 dosahují celkové mineralizace při j. okraji území 0,6–1,6 g.l⁻¹ (výjimečně 3,6 g.l⁻¹), na S okolo 1,9–2,4 g.l⁻¹. Podstatně nižší jsou ovšem mineralizace na S od jílovického zlomu (vrt KN-5 Sobčice: 0,30 g.l⁻¹).

Zvýšené relativní i absolutní koncentrace chloridů se projevíly jednak ve starších rozborech z vrtu Libáň, kde měla voda původně převahu Cl^- nad HCO_3^- a náležela typu C_1^{Na} v subfacii Na-Cl-C (blíže viz J e t e l - R y b á ř o v á 1979), a dále zvýšeným podílem chloridů (33 ekv. %) ve vodě z podložního ordoviku na vrtu NB-9. Vyšší podíl chloridů byl zjištěn i v staropaleozoickém a proterozoickém podloží křídý na vrtech KN-1 (40 ekv. %) a OP-4 (39 ekv. %). Za s. okrajem území na Jičínsku je znám výskyt natrium-chloridové vody typu Cl_1^{Na} o celkové mineralizaci 3,83 g.l⁻¹ v subfacii Cl-Na-C z vrtu ve Studeňanech (Š t á v a 1963). Zvýšení koncentrací chloridů ve vodě bazální křídové zvodně je charakteristické pro celý z. okraj území a pro bazální zvodeň dále k Z (např. vrt Se-1 Seletice). Projeví se zde tzv. mrlinsko-jizerská chloridová anomálie (J e t e l 1985c). V území mlékosrbské struktury se podíl Cl^- s výjimkou vrtu NB-9 a NB-18 (25 ekv. %) pohybuje v rozpětí 12–19 ekv. % (medián 17 ekv. %). Růst podílu chloridů lze sledovat na růstu poměru $rCl/rHCO_3$ od hodnot okolo 0,1–0,2 v území Nový Bydžov–Týnec nad Labem–Přelouč–Bohdaneč–jz. okolí Hradce Králové až k hodnotám vyšším než 1 na z. okraji území (obr. 12).

Velmi nízké jsou koncentrace sulfátů, které se pohybují od hodnot nižších než minimální stanovitelná koncentrace (2 mg.l⁻¹) do hodnoty 174 mg.l⁻¹ (medián pouze 6 mg.l⁻¹). Výjimkou jsou zvýšené obsahy ve vodě typu S_1^{Na} (subfacie Na-C-S) z vrtu KN-6 Polní Chrčice (475 mg.l⁻¹) a dále v podloží cenomanu na vrtu KN-2 Dlouhopolsko (491 mg.l⁻¹ — K o l á ř o v á 1971).

Balneologicky významnou složkou jsou fluoridy, jejichž koncentrace v natrium-hydrogenkarbonátových vodách uvnitř zkoumaného území leží většinou v rozpětí 2,4–15,0 mg.l⁻¹ (s maximem ve vrtu Kladruby nad



12. Mapa chemismu bazální zvodně v cenomanském kolektoru

1 až 5 — vrtý s údaji o chemismu bazální zvodně; molární subfacie: 1 — Na-C-Cl, 2 — přechod mezi Na-C-Cl a Na-Cl-C, 3 — Na-C-S, 4 — C-Na-Cl, 5 — C-Ca-Na, C-Ca-S a C-Ca-Cl; 6 — izočáry celkové mineralizace v $g \cdot l^{-1}$; 7 — izočáry poměru r [Cl/HCO_3]; 8 — předpokládaná kontura cidliňsko-labské akumulace uhlíčitých vod v cenomanském kolektoru; 9 — zlomy; 10 až 16 — plošné rozšíření typů chemismu podle Alekinovy klasifikace s vyjádřením vyhraněnosti chemismu pomocí vnitřní relativní informační entropie H_r [Jetel 1975, 1987]; 10 — C_I^{Na} , vysoká vyhraněnost ($H_r = 0,30-0,39$); 11 — C_I^{Na} , $H_r = 0,40-0,49$; 12 — C_I^{Na} , $H_r = 0,50$ až $0,59$; 13 — C_I^{Na} , nejslabší vyhraněnost ($H_r \geq 0,60$); 14 — C_I^{Ca} , C_{IIIa}^{Ca} ; 15 — Cl_I^{Na} ; 16 — Si_I^{Na} ; 17 — plochy bez cenomanského kolektoru

Labem — Š v o m a 1969b). Medián ze všech vrtů s údaji o obsahu F^- ve zkoumaném území činí $3,2 \text{ mg} \cdot l^{-1}$. Nízké koncentrace ($0,3-1,6 \text{ mg} \cdot l^{-1} F^-$) vykazují vody z vrtů v z. části území (Libáň, NB-3, OP-4, KN-6) a vody facie C-Ca na s. i j. okraji území. Lze konstatovat nepřímou závislost mezi koncentracemi F^- a sycením CO_2 , neboť nejvyšší koncentrace F^- ($6-15 \text{ mg} \cdot l^{-1}$) byly zjištěny mimo území uhlíčitých vod (výjimkou je vrt Všeštiny s koncentrací fluoridů $7,5 \text{ mg} \cdot l^{-1}$).

Až na výjimky převládá ve zkoumaných vodách velmi výrazně natrium-hydrogenkarbonátová složka. Obsah první alkality (A_1) se pohybuje převážně mezi 68 a 81 ekv. %. Podle klasifikace G a z d y (1971) jde tedy převážně o vody vyhraněného základního typu Na-HCO₃.

Z hlediska molární klasifikace (J e t e l - P a č e s 1979) je pro uhličitě vody zkoumaného území charakteristická facie Na-C v subfacii Na-C-Cl s celkovou mineralizací 2,0—12,6 g.l⁻¹. Vrt Libáň představuje se zřetel-lem na zjištěný časový vývoj chemismu (J e t e l - R y b á ř o v á 1979) přechod mezi subfacií Na-Cl-C a Na-C-Cl. Subfacií Na-C-Cl náleží i ně- které vody mimo území sycení CO₂ (vrty KN-1, KN-2 a KN-3 profilu Ko- lín—Nová Paka, vrt HV-HJ-103 Kladruby nad Labem). Ojedinele se facie Na-C vyskytuje v subfacii Na-C-S (KN-6 Polní Chrčice). Pro vody bazální zvodně mimo oblast sycení CO₂ je charakteristická facie C-Na v subfacii C-Na-Cl s celkovou mineralizací 0,6—3,6 g.l⁻¹. Z vod sycených oxidem uhličitým náleží subfacii C-Na-Cl vody z vrtů Sopřeč, Dymokury, Všesta- ry, KN-4 Hlušice a OP-4 Vrbice. Na s. a j. okraji území se vyskytují málo mineralizované vody (0,3—1,1 g.l⁻¹) facie C-Ca v subfaciích C-Ca-Na, C-Ca-S, C-Ca-Cl a j. (obr. 12).

Jak vyplývá z podané charakteristiky chemismu bazální zvodně, proje- vují se v celém zkoumaném území s výjimkou s. a j. okrajů jen velmi málo výrazné kvalitativní rozdíly a vody mají v podstatě shodný hydro- chemický charakter, lišící se pouze stupněm vyhraněnosti natrium-hydro- genkarbonátového typu. K posouzení stupně této vyhraněnosti z hlediska podílu jednotlivých složek definovaných v klasifikaci navržené G a z d o u (1971) jsme pro zkoumané vody použili jako kritérium vyhraněnosti hod- notu vnitřní relativní informační entropie H_r (J e t e l 1975, 1987) (pro vrty NB ji uvádí tab. 10). Vypočtené hodnoty H_r se pohybují v rozmezí 0,30—0,70 (30—70 %) okolo mediánu 0,46 (46 %). Minimální hodnoty H_r , tj. nejvyšší vyhraněnost, vykazují v území uhličitých vod vrty NB-12, NB-6 a Sezemice ($H_r = 0,36—0,37$), mimo uhličitě vody potom vrty v údolí Labe (Kladruby nad Labem, Přelouč; 0,30—0,31). Jak ukazuje obrázek 12, nej- vyšší vyhraněnost typu Na-HCO₃ ($H_r = 0,30—0,39$) tedy vykazují vody v jv. části území mezi Přeloučí a jz. okolím Hradce Králové spolu s některými vodami z mlékosrbské elevace. Slabší vyhraněnost s vyššími hodnotami H_r v ostatních částech území je dána zvýšeným podílem chloridů (pod- loží křídly na vrtu NB-9, z. část území) nebo vyšším podílem Ca²⁺ a Mg²⁺. Ve smyslu vertikální hydrogeochemické zonálnosti (J e t e l 1970) před- stavují tedy vody s nejvyššími hodnotami H_r přechod jednak k vyšší (měl- ějí) podzóně C₁^{Ca}, jednak k hlubší podzóně C₁^{Na}.

Zhodnocení vnitřní relativní informační entropie dokresluje obraz o prostorovém rozdělení tohoto parametru v bazální křídové zvodni, jak jsme ho podali pro celou českou křídovou pánev již dříve (J e t e l 1971).

Tabulka 9

Chemické rozborý vod z vrtů řady NB

vrt	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺
	[mg.l ⁻¹]									
NB-2	1321,0	73,4	1,08	6,25	50,96	109,5	1,14	1,86	0,13	6,3
NB-3	255,0	28,2	0,20	1,00	43,4	164,7	—	—	2,19	133,7
NB-4	484,0	28,3	0,32	1,00	23,3	37,5	0,89	0,16	0,14	32,2
NB-5	1460,0	63,1	—	3,12	40,0	50,7	1,7	0,91	st.	0
NB-6	3390,9	110,0	2,74	<0,05	45,7	97,2	1,4	1,88	0,19	3,5
NB-8	1159,3	148,0	1,05	2,3	41,5	80,0	1,6	0,71	0,10	5,0
NB-9/a	2040	96	1,50	3,77	83,7	67,9	3,04	0,30	0,035	0,2
NB-9/b	1500	72	1,14	1,28	48,9	28,2	1,99	0,88	<0,01	<0,05
NB-12	1320	48,2	0,92	3,3	43,8	58,1	2,74	—	0,27	23,7
NB-18	2200	74	2,29	1,67	34,3	44,9	3,05	0,55	<0,01	<0,05
NB-19	1480,0	68,0	—	11,7	61,3	43,1	—	—	0,58	59,4
NB-26/a	1250	76	1,10	0,79	35,3	54,9	—	0,28	0,07	<0,05
NB-26/b	1200	71	—	0,68	35,3	55,3	—	0,33	0,06	6,7
NB-26/c	1150	69	—	0,76	35,3	55,3	—	0,41	0,06	2,4
NB-30	1450,0	65,8	—	12,3	40,6	33,3	—	—	0,52	49,8

vrt	As	Rb	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Mo	U	Be
	[µg.l ⁻¹]									
NB-2	23,2	97	<10	<1	4,6	2,2	<1	—	<1	1,74
NB-4	<1	<50	50	<1	1,4	<1	<1	0,96	st.	0,45
NB-5	—	100	<10	<1	4,9	3,0	<1	—	<1	0,55
NB-6	—	170	<10	8,0	4,3	4,3	3,0	0,20	<1	1,12
NB-8	2	120	<10	1,4	7,3	4,0	2,6	—	st.	1,33
NB-9/a	—	290	38	<1	3,7	<1	1,4	—	—	1,24
NB-9/b	—	130	54	<1	4,0	<1	<1	—	st.	1,16
NB-12	13,5	78	118	1,0	2,0	<1	<1	—	—	—
NB-18	—	150	93	<1	3,7	<1	<1	—	st.	0,38
NB-19	—	—	—	4,6	5,2	2,4	<1	—	—	—
NB-26/a	8,2	—	—	—	—	—	—	—	1,1	1,71
NB-26/b	—	—	—	1,4	2,1	<1	<1	—	—	—
NB-26/c	—	—	—	<1	3,8	<1	<1	—	—	—
NB-30	—	—	—	9,3	4,8	4,2	<1	—	—	—

st. = stopy, — = nestanoveno

Analyzovány chemické laboratoře Ústředního ústavu geologického, Praha

Místo a čas odběru vzorku:

NB-2: 7. 8. 1973, 390—435 m [cenoman]; NB-3: 3. 8. 1973, 489—501 m [cenoman];
 NB-4: 2. 10. 1973, 497—519 m [cenoman]; NB-5: 3. 2. 1974, 359—372 m [ordovik];
 NB-6: 1. 4. 1974, 419—455 m [cenoman]; NB-8: 17. 5. 1974, 418—432 m [cenoman];
 NB-9/a: 4. 3. 1975, 430—456 m [ordovik]; NB-9/b: 4. 4. 1975, 385—426 m [cenoman];
 NB-12: 4. 2. 1974, 377—396 m [cenoman]; NB-18: 15. 6. 1975, 386—410 m [cenoman];
 NB-19: 24. 10. 1975, 381—393 m [cenoman]; NB-26/a: 27. 7. 1975, 503—590 m [permokarbon+ordovik];
 NB-26/b: 16. 8. 1975, 503—558 m [permokarbon]; NB-26/c: 9. 9. 1975, 468—479 m [cenoman];
 NB-30: 12. 12. 1975, 405—423 m [cenoman].

Tabulka 9

F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	J ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	HBO ₂
[mg.l ⁻¹]										
2,40	433,6	—	—	<0,1	<0,2	16,4	0,09	3479,9	12,8	0,00
0,76	162,7	—	—	<0,1	<0,2	54,8	0,08	1310,9	—	—
7,35	95,4	—	—	<0,1	<0,2	2,4	0,05	1447,4	16,0	—
2,52	410,6	—	—	0	0	5,5	0,43	3617,8	—	—
2,40	1025,8	—	—	<0,1	<0,2	4,1	0,06	7953,6	12,4	—
3,20	325,1	3,12	0,20	<0,1	<0,2	7,2	0,05	3206,5	11,0	5,0
3,00	1195	—	—	3,0	0,0	148	0,30	3963	11,9	—
3,05	483,9	3,28	0,80	8,9	0,0	21,5	0,35	3564	10,3	3,86
3,82	445,0	—	—	1,62	<0,1	13,1	—	3252	11,0	—
3,32	909,5	4,76	2,24	38,9	0,0	<2,0	0,76	4676	10,9	3,94
—	482,2	—	—	0,0	0,0	34,6	0,0	3801,5	7,1	—
2,61	262,4	—	—	4,4	0,0	<2,0	0,38	3329	11,4	—
2,70	262,4	—	—	3,9	0,0	<2,0	0,21	3204	11,4	—
2,80	262,4	—	—	5,2	0,0	<2,0	0,25	3061	11,6	—
—	393,6	—	—	0,0	0,0	51,8	0,19	3691,6	5,8	—

V bazální křídové zvodni lze totiž rozlišit v zásadě obě odlišné hydrogeochemické oblasti: oblast kalcium-hydrogenkarbonátových vod (v území s živým oběhem infiltračních vod v cenomanském kolektoru do značných hloubek) a oblast natrium-hydrogenkarbonátových vod (s omezeným oběhem). Zatímco těžiště oblasti vod typu Ca-HCO₃, dané minimální relativní informační entropií vod tohoto typu, leží v s. části lužické faciální oblasti, leží „pól“ typu Na-HCO₃ vod bazální křídové zvodně, charakterizovaný minimální informační entropií vod typu Na-HCO₃, v centrální a jv. části zkoumaného území. V ostatních částech české křídové pánve mají vody bazální zvodně vesměs vyšší hodnoty H_v, a tedy i víceméně smíšený či přechodný charakter. Zkoumané území představuje tedy z hydrogeochemického hlediska jeden z klíčových úseků české pánve a jeho hydrogeochemickou charakteristiku je nutno brát v úvahu při dalších speciálních hydrogeochemických hodnoceních s širším regionálním a genetickým zaměřením.

9. Geotermické poměry

Přímé údaje o geotermických poměrech poskytly výsledky hlubinných měření teploty ve 3 vrtech řady NB v mlékosrbské elevaci a ve 3 vrtech profilu Kolín—Nová Paka (KN). Výběr těchto údajů podává tabulka 11.

Tabulka 10

Přehledná charakteristika chemismu zkoumaných podzemních vod ve vrtech řady NB

vrt	M [g.l ⁻¹]	schéma procentuálního složení (ekv. %)	CO ₂ [g.l ⁻¹]	H _r
NB-2	5,52	C 82 Cl 18 / Na 86 Ca 8 Mg 6	1,7	0,49
NB-3	1,91	C 78 Cl 19 S 3 / Na 55 Ca 28 Mg 14 Fe 3	0	0,70
NB-4	2,16	C 88 Cl 10 F 2 / Na 81 Mg 7 Ca 7 Fe 4	0	0,54
NB-5 ¹	6,11	C 85 Cl 15 / Na 84 Ca 10 Mg 5	1,2	0,46
NB-5 ²	5,66	C 83 Cl 16 / Na 92 Mg 5 Ca 3	1,2	0,39
NB-6	12,64	C 82 Cl 18 / Na 95 Ca 3 Mg 2	1,6	0,37
NB-8	4,99	C 85 Cl 15 / Na 88 Ca 6 Mg 6	1,9	0,44
NB-9 ₃	7,61	C 64 Cl 33 S 3 / Na 90 Mg 7 Ca 3	1,6	0,58
NB-9 ⁴	7,74	C 80 Cl 19 S 1 / Na 92 Mg 6 Ca 2	1,3	0,42
NB-12	5,22	C 80 Cl 19 / Na 89 Mg 5 Ca 4	1,0	0,36
NB-18	8,00	C 74 Cl 25 N 1 / Na 95 Mg 3 Ca 2	1,6	0,42
NB-19	6,05	C 81 Cl 18 S 1 / Na 88 Mg 6 Ca 3 Fe 3	1,5	0,52
NB-26 ⁵	5,02	C 88 Cl 12 / Na 91 Mg 5 Ca 4	1,5	0,37
NB-26 ⁶	4,85	C 87 Cl 12 / Na 90 Mg 5 Ca 5	1,5	0,39
NB-26 ⁷	4,66	C 87 Cl 13 / Na 90 Mg 5 Ca 5	1,7	0,39
NB-30	5,78	C 83 Cl 15 S 2 / Na 90 Mg 5 Fe 3 Ca 2	0,8	0,48

Pozn.: V Kurlovově schématu procentuálního složení je použito symbolů C pro HCO₃⁻ + CO₃²⁻, S pro SO₄²⁻, N pro NO₃⁻ a Na pro součet Na⁺ + K⁺ + Li⁺ + NH₄⁺.

M = celková mineralizace, CO₂ = obsah volného (zbytkového) CO₂, H_r = relativní informační entropie z hlediska zastoupení jednotlivých složek (Jetel 1975)

¹ úsek 362–472 m (ordovik), ² úsek 359–372 m [ordovik], ³ úsek 429–453 m [ordovik], ⁴ úsek 385–426 m [cenoman], ⁵ úsek 503–590 m [permokarbon+krystalinikum], ⁶ úsek 533–556 m [permokarbon], ⁷ úsek 468–478 m [cenoman]

Nejvyšší zjištěné kolektorové teploty v cenomanském kolektoru zkoumaného území dosahují 25–30 °C, v nejhlubších částech pánve mohou být ještě o něco vyšší (zhruba do 32 °C).

Zjištěné hodnoty vertikálního geotermického gradientu uvnitř komplexu křídových sedimentů se na uvedených vrtech pohybují v rozpětí 33,7 až 49,6 mK . m⁻¹. Ve vrtech řady NB v mlékosrbské elevaci leží v úzkém rozmezí 38,7–40,7 mK . m⁻¹ s mediánem 39,4 mK . m⁻¹. Průměrné hodnoty vertikálního gradientu vztažené na intervaly zahrnující spolu s křídovými sedimenty i předkřídové podloží jsou celkově nižší (KN-2, KN-3 pro intervaly 0–790 m a 70–868 m, KN-4).

Jak ukazují hodnoty hustoty zemského tepelného toku, stanovené Čermákem (1979), je poměrně výrazné zvýšení vertikálního geotermického gradientu ve většině uvedených vrtů oproti běžným hodnotám okolo 30 mK . m⁻¹ dáno především mocným izolačním pokryvem pelitů turonu a coniaaku a jen v menší míře odráží regionální zvýšení hustoty tepelného toku. Zvýšení geotermického gradientu uvnitř komplexu křídových

pelitů labské faciální oblasti indikuje také regionální elevace srovnávací geozoterm 20 °C, která na uvedených vrtech s výjimkou vrtu KN-2 probíhá v hloubkách 190–300 m, zatímco průměrná hloubka jejího průběhu pro celou českou pánev (J e t e l 1971) činí 345 m.

Tabulka 11
Geotermické údaje

vrt	maximální naměřená teplota	hloubka měření	průměrný geotermický gradient	hustota zemského tepelného toku*	
	[°C]			[m]	[K.m ⁻¹]
NB-2	25,2	413	0,0407		
NB-12	23,2	376	0,0394		
NB-19	23,1	380	0,0387		
KN-2	24,0 ¹	500	0,0308 ¹ 0,0242 ¹	53,0 ⁴	62,0 ⁵
KN-3	28,0 36,5	395 790	0,0496 ² 0,0356 ³ 0,0290 ⁵	63,2 ⁵	
KN-4	34,5	658	0,0397 0,0361 ⁶	69,0 ⁴	

* podle V. Čermáka (1979)

¹ měřeno při neustáleném stavu, ² pro interval 0–395 m, ³ pro interval 0–790 m, ⁴ pro interval 90–489 m, ⁵ pro interval 70–868 m, ⁶ pro interval 50–650 m

Ze srovnání nízkých filtračních rychlostí v cenomanském kolektoru uvnitř zkoumaného území (viz kap. 6) s výsledky rozboru podmínek ovlivňování tepelného toku v české křídové pánvi konvektivním přenosem tepla podzemními vodami (Č e r m á k - J e t e l 1985) vyplývá, že účinek laterálního proudění podzemních vod v cenomanském kolektoru na velikost hustoty tepelného toku měřené uvnitř komplexu křídových sedimentů je ve zkoumaném území zanedbatelně malý.

Podle výsledků regionálního zhodnocení zemského tepelného toku (Č e r m á k - Š a f a n d a 1982) lze soudit na celkový mírný růst hustoty zemského tepelného toku ve zkoumaném území od JJZ k SSV. V geotermické rajonizaci území ČSR (J e t e l 1983a) náleží v. část zkoumaného území — zhruba na V od čáry Bohdaneč—Nechanice—Ostroměř — geotermickému rajónu IIb (východočeská geotermická anomálie), charakterizovanému vedle hustoty zemského tepelného toku 70–80 mW.m⁻² průběhem geozoterm 130 °C v hloubce 4–5 km a geozoterm 180 °C

v hloubce 5—7 km. Západní část zkoumaného území potom náleží rajónu II d s nižší hustotou $60\text{--}70 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ při stejné hloubkové pozici uvedených geozoterm. Z hlediska technologické vhodnosti využití zemského tepla suchých hornin (Jetel 1983b) náleží zkoumané území k méně příznivé oblasti II/9 rajónů II. skupiny.

10. Minerální vody

Výsledky výzkumu v širším okolí Chlumce nad Cidlinou potvrdily předpoklad o existenci víceméně souvislé akumulace uhlíčitých minerálních vod (kyselek) v bazální křídové zvodni od Nymburka a Poděbrad přes Chlumecko až do okolí Hradce Králové a Pardubic (cidlinsko-labská akumulace kyselek — Jetel - Rybářová 1979).

Z regionálního hlediska představují vody této akumulace velmi výraznou, vnitřně jednotnou a zcela samostatnou hydrominerální asociaci. Jejím nejvyhraněnějším představitelem je minerální voda z bazální křídové zvodně na vrtu NB-6 Kosice, která vykazuje daleko nejvyšší celkovou mineralizaci ($12,6 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) v celé cidlinsko-labské akumulaci a současně jednu z nejnižších hodnot vnitřní relativní informační entropie

Tabulka 12

Údaje o uhlíčitých minerálních vodách ve vrtech řady NB

vrt	celková mineralizace [$\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]	vydatnost přetoku [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]	$T_{\dot{u}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	T_{kol}	
				naměřená [$^{\circ}\text{C}$]	odhadnutá [$^{\circ}\text{C}$]
NB-2	5,5	0,76	22,5	25,2	
NB-5 ¹	6,1	0,12	17,0		23,9
NB-5 ²	5,7	0,09	17,0		23,1
NB-6	12,6	—	22,5		25,5
NB-8	5,0	—	21,0		24,4
NB-9 ³	7,6	0,41	21,0		25,3
NB-9 ⁴	5,7	0,99	23,0		24,0
NB-12	5,2	0,06	16,0	23,2	
NB-13	8,0	—	21,0	24,4	
NB-19	6,1	0,18	17,0		23,4
NB-26 ⁵	4,9	—	24,0		28,6
NB-26 ⁶	4,7	—	22,0		26,5
NB-30	5,8	—	19,0		24,0

$T_{\dot{u}}$ = maximální teplota přetékající nebo čerpané vody na ústí vrtu, T_{kol} = průměrná kolektorová teplota určená hlubinnou termometrií nebo odhadem podle regionálního průměru geotermického gradientu

¹ zčásti likvidovaný úsek 362—472 m, ² úsek 359—372 m, ³ likvidovaný úsek 429—453 m, ⁴ úsek 385—426 m, ⁵ likvidovaný úsek 503—556 m, ⁶ úsek 468—479 m

v podílu jednotlivých složek, indikující velmi vyhraněný chemický charakter typu Na-HCO₃. Lze proto předpokládat, že vrt NB-6 leží v těsné blízkosti centra cidlinsko-labské akumulace.

Podrobnou hydrochemickou a balneologickou charakteristiku vody z vrtu NB-6 spolu s charakteristikou dalších výskytů minerálních vod zkoumaného území podali J e t e l a R y b á ř o v á (1979). Minerální vody v z. části území popisují podrobně K o l á ř o v á (1971, 1978) a K r á s n ý a K o l á ř o v á (1972).

Vzhledem k hloubce uložení zvodněnce a zvýšenému geotermickému gradientu (viz kap. 9) mají uhličitě vody často zvýšenou teplotu (tab. 12). Maximální teploty měřené na ústí vrtů se pohybují mezi 16 a 24 °C, kolektorové teploty činí 23,1—28,6 °C (v průměru okolo 24 °C).

11. Závěry

Cenomanské pískovce labské faciální oblasti české křídové pánve představují jediný víceméně souvislý vrstvý kolektor této oblasti vzhledem k pelitickému vývoji mladších křídových sedimentů. Na základě zhodnocení výsledků rozsáhlých hydrogeologických prací, zaměřených na ověření možnosti podzemního uskladňování plynu v cenomanském kolektoru centrální části labské oblasti, byl s přihlédnutím k ojedinělým starším hydrogeologickým údajům z tohoto území podán souhrnný obraz o hydraulických vlastnostech cenomanského kolektoru a o piezometrických poměrech a chemismu podzemních vod bazální křídové zvodně v tomto kolektoru. Zvláštní pozornost byla věnována kvantitativnímu a kvalitativnímu výzkumu plynových poměrů.

V převážně většině území je bazální zvoďeň křídové pánve sycena oxidem uhličitým hlubinného původu. Vytvořila se tak plošně rozsáhlá cidlinsko-labská akumulace uhličitých minerálních vod s centrem na SV od Chlumce nad Cidlinou.

Vzhledem k nízkým průměrným propustnostem cenomanského kolektoru a jeho nepravidelnému vývoji dochází v tomto kolektoru ve zkoumaném území ke značné stagnaci podzemních vod. Velmi pomalý regionální proud podzemní vody s efektivní rychlostí pohybu podzemní vody v průměru okolo 0,06—0,6 m za rok postupuje v cenomanském kolektoru zkoumaného území generálně ve směru od SSV k JJZ do údolí Labe (do úseku mezi Pardubicemi a Týncem nad Labem), které je regionální bází odvodnění I. řádu.

V důsledku nízkých průtočností cenomanského zvodněnce a jeho nasycení uhličitými minerálními vodami jsou možnosti využití jeho podzemních vod k vodovodnímu zásobení omezeny pouze na j. okraj zkoumaného území v údolí Labe na Přeloučsku.

Pokud jde o možnosti využití cenomanský kolektor zkoumaného území k podzemnímu uskladňování plynu (s vytvořením podzemního zásobníku ekviferového typu), nepříznivým faktorem pro budování zásobníku tradičního typu jsou zde úložné poměry cenomanu — nepřítomnost uzavřených brachiantiklinálních struktur. Naproti tomu hydraulické vlastnosti kolektoru (propustnost a pórovitost) a izolační vlastnosti nadložních hornin požadavkům na podzemní uskladňování vyhovují. Území by tedy bylo možno v budoucnosti (po dosažení potřebné technologické úrovně metod uskladňování) využít k uskladňování plynu ve vodorovně uložené zvodněné vrstvě s případným využitím umělé hydraulické nebo jiné clony.

K tisku doporučil Z. Pištora

Literatura

- Alekin, O. A. (1970): Osnovy gidrochimii. — Gidrometeoizdat, Moskva.
- Čarnyj, I. A. et al. (1986): Chranenije gaza v gorizontálnych i pologozalegajušich vodonosnych plastach. — Nedra, Moskva.
- Čech, S. - Klein, V. - Kříž, J. - Valečka, J. (1980): Revision of Upper Cretaceous stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin. — Věst. Ústř. Úst. geol., 55, 5, 277—296. Praha.
- Čermák, V. (1979): Tepelný tok v ČSR. In: T. Pačes et al.: Možnosti využití zemského tepla suchých hornin. Zpráva za rok 1979. 12--16. — MS Ústř. Úst. geol. Praha.
- Čermák, V. - Jetel, J. (1985): Heat flow and ground-water movement in the Bohemian Cretaceous Basin (Czechoslovakia). — J. Geodynamics, 4, 1—4, 285—303. Amsterdam.
- Čermák, V. - Šafanda, J. (1982): Mapa tepelného toku na území Československa (1:1 000 000). — MS Ústř. Úst. geol. Praha.
- Gatlin, C. (1957): Formation damage. — The Petrol. Engineer, Nov. 1957, B-107. Dallas.
- Gazda, S. (1971): Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. — Hydrogeol. Ročenka 1969—1970, 122—126. Praha.
- Hawkins, M. F. (1956): A note on the skin effect. — J. Petrol. Technol., 207, 356—357. Dallas.
- Hercog, F. (1963): Zhodnocení hydrogeologicko-průzkumných prací v širším okolí města Přelouče. — MS Geofond. Praha.
- (1968): Zhodnocení hydrogeologických prací v lázních Bohdaneč. — MS Geofond. Praha.
- Herešová, D. - Švoma, J. (1969): Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu oblasti Nový Bydžov—Chlumeck nad Cidlinou. I. část. — MS Geofond. Praha.
- Hynie, O. (1949a): Vodárensky využitelné nádrže podzemních vod v Čechách. — Geotechnica, 8. Praha.
- (1949b): Geologický posudek o minerální vodě v lázních Bohdaneč. — MS Geofond. Praha.
- (1961): Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody. — Nakl. Čs. akad. věd. Praha.
- Hynie, O. - Noskovsky, E. (1944): Die Begutachtung der Ergiebigkeit der bisherigen Gasbohrung auf dem Fabrikhof und Festlegung der Bohrstelle der neuen Bohrung. — MS, Geofond. Praha.

- Jahn, J. (1913): Dobrozdání o artéské vrtbě v Bohdanči. — MS Geofond. Praha.
- Jetel, J. (1968a): The deep-seated groundwaters of the Bohemian Cretaceous-Permian Carboniferous Basin, 90—99. — Gen. Assembly Int. Assoc. Hydrogeol., 23rd Sess. Int. Geol. Congr. Praha.
- (1968b): Orientační posouzení možnosti podzemního uskladňování plynu v Čechách. — MS Geofond. Praha.
- (1970): Scheme of the hydrogeochemical zoning in the Bohemian Cretaceous and Permian Carboniferous. — Věst. Ústř. Úst. geol., 44, 3, 183—186. Praha.
- (1971): Hydrogeologie a hydrogeochemie podloží české křídvy. — MS Geofond. Praha.
- (1972): Hydrogeologické vyhodnocení vrtu Se-1 Seletice. — MS Geofond. Praha.
- (1974): Hydrogeologie podloží české křídové pánve. In: M. Malkovský et al.: Geologie české křídové pánve a jejího podloží, 156—190. — Ústř. úst. geol. Praha.
- (1975): Application of information entropy in hydrogeochemistry and in hydrogeochemical maps. — Věst. Ústř. Úst. geol., 50, 33—36. Praha.
- (1976): Hlavní výsledky hydrogeologického výzkumu pro podzemní zásobník plynu ve východních Čechách. — MS Geofond. Praha.
- (1979): Odhad koeficientov filtrácie a prietochnosti z porovnávacích indexov Z a Y. — Hydrogeol. Ročenka 1978, 97—103. Praha.
- (1982): Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech. — Knih. Ústř. Úst. geol., 58. Praha.
- (1983a): Mapa geotermálních rajónů v ČSR. In: T. Pačes et al. Možnosti využití zemského tepla suchých hornin v ČSR. Závěrečná zpráva, příl. III. — MS Geofond. Praha.
- (1983b): Rajóny příznivé pro využití zemského tepla suchých hornin. In: T. Pačes et al. Možnosti využití zemského tepla suchých hornin v ČSR. Závěrečná zpráva, 11—14. — MS Geofond. Praha.
- (1985a): Metody regionálního hodnocení hydraulických vlastností hornin. — Metod. Příruč. Ústř. Úst. geol., 1. Praha.
- (1985b): Využití vztahu mezi specifickou vydatností vrtu a koeficientem průtoku při hydrogeologických výpočtech. — Geol. Průzk., 27, 2, 42—45. Praha.
- (1985c): Předběžná hydrogeologická a hydrogeochemická charakteristika permokarbonu mnichovohradištské pánve. — MS Geofond. Praha.
- (1987): Relativna informačná entropia v hydrogeochemii. — Sbor. Horn. Příbram ve Vědě a Techn. (1987), Sb. Symp., Sekce Matemat. metody v geologii, 354—356. Příbram.
- Jetel, J. - Klein, V. (1970): Ideový projekt výzkumného úkolu „Ověření možnosti výstavby podzemního zásobníku plynu v Čechách“. — MS Geofond. Praha.
- (1972): Projekt dílčího úkolu 4 „Vyhledávání vhodné struktury pro podzemní zásobník plynu“ a 11 „Výzkum hydrogeologických a režimových vlastností struktur pro podzemní zásobník plynu“. In: Projekt P-10-125-022 „Podzemní zásobník plynu v Čechách“. — MS Výzk. úst. geol. inženýrství, Brno.
- Jetel, J. - Pačes, T. (1979): A simple chemical classification of natural waters based on molar concentrations. — Věst. Ústř. Úst. geol., 54, 4, 233—235. Praha.
- Jetel, J. - Rybářová, L. (1974): Katastr minerálních vod Východočeského kraje. — MS Geofond. Praha.
- (1976): Hydrogeologický výzkum pro podzemní zásobník plynu ve východních Čechách (závěrečná zpráva). — MS Geofond. Praha.
- (1977): Nálezová zpráva o zdrojích minerálních vod mezi Chlumcem nad Cidlinou a Hradcem Králové a návrh na jejich využití. — MS Geofond. Praha.

- (1979): Minerální vody Východočeského kraje. — Ústř. úst. geol. Praha.
- (1984): Hydrogeologické vyhodnocení vrtu DB-1 Dolní Bousov. — MS Geofond. Praha.
- (1986): Hydrogeologické poznatky ze strukturního vrtu Dolní Bousov DB-1. — Zpr. geol. Výzk. v Roce 1984, 91—92. Praha.
- (1988): Nové poznatky o hydrogeologii permokarbonu roudnické a mnichovohradištské pánve. — Zpr. geol. Výzk. v Roce 1985, 80—82. Praha.
- Kamberský, K. (1961): Zpráva o provedení hydrogeologického vrtu v Řečanech nad Labem [akce Trnávka]. — MS Geofond. Praha.
- Klein, V. (1979): Stavba a morfologie podloží křídý západně od Hradce Králové. — Věst. Ústř. Úst. geol., 53, 357—366. Praha.
- Klein, V. - Hercogová, J. - Chaloupský, J. - Jetel, J. - Pícha, B. - Rejchrt, M. (1973): Zpráva o průběhu a výsledcích mělké strukturní sondáže a vrtů k ověření litologického charakteru cenomanu v zájmovém území. — MS Geofond. Praha.
- Klein, V. - Hercogová, J. - Jetel, J. - Rejchrt, M. (1976): Závěrečná zpráva o výsledcích geologického výzkumu v zájmové oblasti pro podzemní zásobník plynu ve východních Čechách. — MS Geofond. Praha.
- Klein, V. - Hercogová, J. - Rejchrt, M. (1982): Stratigraphie, Lithologie und Paläontologie der Kreide im Elbe-Faziesgebiet. — Sbor. geol. Věd, Geol., 36, 27—92. Praha.
- Klein, V. - Jetel, J. - Grünwald, K. - Kaňka, J. - Novotný, D. - Pícha, B. - Rejchrt, M. (1975): Zpráva o provedených geologicko-průzkumných pracích v zájmové oblasti pro podzemní zásobník plynu a jejich výsledcích. — MS Geofond. Praha.
- Kolářová, M. (1971): Hydrogeologie na opěrném profilu Kolín—Nová Paka. — Sbor. geol. Věd, Hydrogeol., inž. Geol., 8, 119—140. Praha.
- (1978): Minerální vody Středočeského a Jihočeského kraje. — Ústř. úst. geol. Praha.
- Kolářová, M. - Krásný, J. (1968): In: J. Hruška et al.: Hydrogeologie Poděbradska a návrh ochrany lázní Poděbrad. — MS Geofond. Praha.
- (1972): Hydrogeology of the Poděbrady-spa region. — Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 9, 147—265. Praha.
- Krajčů, J. (1977): Plyny v podzemních vodách. — St. nakl. techn. lit. Praha.
- Krajčů, J. et al. (1973): Technika povrchové separace, měření a analýzy fází plynem sycených podzemních vod. — Výzk. úst. geol. inženýrství. Brno.
- Krajčů, J. - Hájek, M. et al. (1973): Výzkum režimu plynů ve vrtu NB-2 Mlékosrby. — MS Geofond. Praha.
- Krásný, J. (1968a): Ground-water conditions in the central eastern part of the Bohemian Cretaceous Basin. — Gen. Assembly Int. Assoc. Hydrogeol., Int. Geol. Congr., Sess. 23, 100—106. Praha.
- (1968b): Hydrogeologie poděbradské kyselkové oblasti a odhad využitelného množství minerálních vod v Lázních Poděbradech. — MS Geofond. Praha.
- (1986): Klasifikace transmisivity a její použití. — Geol. Průzk., 28, 6, 177—179. Praha.
- Krásný, J. et al. (1982): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 13 Hradec Králové. — Ústř. úst. geol. Praha.
- Krásný, J. - Skořepa, J. et al. (1972): Vysvětlivky k hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 13 Hradec Králové. — MS Geofond. Praha.
- Kůst, J. (1945): Geologický profil vrtané studny v Soprči u Přelouče. — MS Geofond. Praha.

- Levykin, J. V. (1973): Technologičeskije projektirovanije chranenija gaza v vodonosnykh plastach. — Nedra. Moskva.
- Macháčková, M. - Macháček, J. - Klein, V. (1976): Vyhledání vhodné struktury pro podzemní zásobník plynu ve východních Čechách. Geoelektrické práce, 1975. — MS Geofyzika. Brno.
- Michalíček, M. (1974): Klasifikace zemních plynů a proplyněných vod. — Věst. Ústř. Úst. geol., 49, 115—120. Praha.
- Moritz, J. (1959): Anomalien bei Druckaufbaumessungen. — Erdöl-Erdgas-Z., 75, 177—184. Wien.
- Plíčka, M. (1956): Posudek o výronu plynu v Sezemicích. — MS Geofond. Praha.
- Plzák, F. (1922): Protokol a dobrozdání o vodě vytékající z artéské studny nalézající se ve dvoře cukrovaru firmy David Bloch v Libáni. — MS Insp. lázní a zřídel ministerstva zdravot. ČSR. Praha.
- Schulz, F. (1914): Certifikát (chemického rozboru vody) (Libáň). — MS Geofond. Praha.
- Soukup, J. (1945): Schlußbericht über die Bohrung Sesemitz I. — MS Geofond. Praha.
- (1949): Hluboký vrt v Sezemicích u Pardubic a stratigrafie východočeské křídly. — Sbor. St. geol. Úst. Čs. Republ., 16, 2, 695—730. Praha.
- Stegemeier, G. L. - Matthews, C. S. (1958): A study of anomalous pressure build-up behaviour. — J. Petrol. Technol., 10, 2, 44—50. Dallas.
- Štáva, M. (1963): Hydrogeologický průzkum regionu Horní Cidlina C-1. Zpráva o provedení hydrogeologického vrtu ve Studeňanech. — MS Geofond. Praha.
- Švoma, J. (1969a): Hydrogeologie území labské facie v okolí Nového Bydžova a Chlumce nad Cidlinou. — Sbor. konfer. o hydrogeologii české křídly. Staveb. geol. Praha.
- (1969b): In: D. Herešová - J. Švoma: Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu oblasti Nový Bydžov — Chlumeck nad Cidlinou. — MS Geofond. Praha.
- Van Everdingen, A. F. (1953): The skin effect and its influence on the productive capacity of a well. — J. Petrol. Technol. (Trans. AIME 198), 171—176. Dallas.
- Witherspoon, P. A. - Javandel, I. - Neuman, S. P. - Freeze, R. A. (1967): Interpretation of aquifer gas storage conditions from water pumping tests. — Amer. Gas Association. New York.

Hydrogeology of the Cenomanian aquifer in the Labe region of the Bohemian Cretaceous Basin

(Summary of the Czech text)

Ján Jetel - Lýdia Rybářová

Received August 15, 1989

The only more or less continuous aquifer in the Labe facies region of the Bohemian Cretaceous Basin is, considering the pelitic development of the Turonian and Coniacian, the Cenomanian aquifer. With respect to its position in the basin it represents a typical basal aquifer. The presented hydrogeological evaluation is a synthesis of the knowledge obtained in the central part of the region by boreholes drilled to verify the possibility of underground storage of gas and of the results of isolated older boreholes. The Cenomanian is here in its lower part formed by fluvial and fluival limnic sediments of the Peruc Formation (conglomerates, siltstones, claystones) having a thickness of 20 m. The upper part of the Cenomanian are marine sediments of the Korycany Formation (conglomerates, sandstones, glauconitic siltstones). The maximum established thickness of the Cenomanian is 52 m there. The structure of the Cretaceous basin is asymmetric and its maximum depths are over 500 m. It is underlain in most places by Ordovician rocks (shales to phyllites, sandstones, quartzes, greywackes) or by a volcano-sedimentary complex of the Proterozoic, in places also by terrigenous Permo-Carboniferous.

A survey of the values of hydraulic parameters of the Cenomanian aquifer established by hydrodynamic tests in the boreholes of the series NB, realized during the research for underground storage of gas, is given in tables 1 and 4 and in figs. 2—9. In addition to the strictly hydraulically defined parameters (coefficient of intrinsic permeability K , coefficient of intrinsic transmissivity T_a , coefficient of hydraulic conductivity k , coefficient of transmissivity T), in cases of lower-quality input data for the characterization of the hydraulic properties of rocks the comparative logarithmic parameters — permeability index $Z = \log(10^6 q/M)$ and the transmissivity index $Y = \log 10^6 q$, derived from the specific capacity (q = specific capacity in $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$, M = thickness of aquifer in m, \log = decadic logarithm were used). For conversion of the Z and Y values

into values of hydraulic parameters the relations $k = 10^{(Z+d-9)}$ and $T = 10^{(Y+d-9)}$ were used, where k = hydraulic conductivity in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, T = coefficient of transmissivity in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ and d = logarithmic conversion difference [Jetel 1982]. The difference d was determined on the one hand analytically [Jetel 1985a,b], on the other hand according to an analogy with the boreholes, where, in addition to the Z and Y values also directly determined reliable values k and T (chap. 5.1.5, fig. 7) were available. For an orientational estimate of the conversion difference d by analogy, for boreholes of similar construction in similar conditions for the interval of values $Z = 2.3$ to 3.4 the regression equation $d = 0.18Z - 0.21$ was selected.

The highest transmissivities and permeabilities were established on the southern border of the territory. Inside the territory the highest values of the coefficient of permeability K vary around $0.5-5 \mu\text{m}^2$ (hydraulic conductivity $k = 4 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). The proportion of the fissure permeability on the total permeability of the Cenomanian aquifer increases with total permeability. In the boreholes with low permeability, the difference the intergranular permeability K_j , measured in the laboratory on samples of drill cores, and the total permeability K determined by hydrodynamic tests in the boreholes (in situ) is insignificant. In the boreholes with highest permeability, the ratio between the total and the intergranular permeability K/K_j reaches the values of $14-29$. With the increasing permeability of the Cenomanian aquifer also the manifestations of the additional resistances, expressed in table 3 with the aid of the values of the skin effect ϕ and the productivity ratio PR are increasing. The highest values of the coefficient of intrinsic transmissivity $T_u = K \cdot M$ are in the central part of the territory in the $1 \cdot 10^{-11}$ to $7 \cdot 10^{-11} \text{m}^3$ interval (coefficient of transmissivity $T = 1 \cdot 10^{-4}$ to $8 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ interval). The transmissivity of the Cenomanian aquifer decreases down to zero with increasing proximity towards the apexes of elevations under the Cenomanian in the NW—SE direction.

The mean open porosity m_0 determined on the sandstone samples of the Cenomanian aquifer is mostly $0.17-0.31$, on the average about 0.22 (22%). The dependence of the total permeability K of the Cenomanian aquifer on the open porosity m_0 is represented in fig. 10. Whereas in the boreholes having a high proportion of fissure permeability this dependence is not manifested, in 6 boreholes having a more distinct proportion of intergranular permeability the statistical dependence is expressed by the regressive equation $\log K = -5.05 + 18.3 m_0$ (K in μm^2) with a correlation coefficient $r = 0.87$.

The piezometric conditions in the basal Cenomanian aquifer are represented in fig. 11. The potentiometric surface has a general inclination

from the NNE to the SSW. The regional drainage basis is the Labe valley. The inclination of the potentiometric surface is very moderate — on the average some $J = 2 \cdot 10^{-3}$. From the average filtration velocity $v = 2 \cdot 10^{-10}$ to $2 \cdot 10^{-9}$ m.s⁻¹ we may estimate the average effective velocity of ground-water movement in the Cenomanian aquifer to be $u = 2 \cdot 10^{-9}$ to $2 \cdot 10^{-8}$ m.s⁻¹ (0.06–0.6 m per year). This bears witness of a considerable stagnation of ground waters in the Cenomanian aquifer inside the investigated territory.

The information on the content and composition of gases dissolved in the ground water of the Cenomanian aquifer is in tables 7 and 8. In the central and western parts of the territory the ground water of the Cenomanian aquifer is saturated with CO₂ of depth origin. The carbon dioxide represents on the average 97 vol. % in dissolved gases, its concentration is 500–1560 ml.l⁻¹ (0.9–3.0 g.l⁻¹). In the Cenomanian aquifer thus formed the areally extensive Cidlina-Labe accumulation of CO₂ bearing mineral waters with a centre NE of Chlumec nad Cidlinou. At its SW margin these waters are being used in the Poděbrady Spa.

The chemical composition of ground water in the Cenomanian aquifer is represented in tables 9 and 10 in fig. 12. These are predominantly sodium-hydrogencarbonate waters of the Alekin type C₁^{Na}, mostly with a mineralization of 3.4–7.0 g.l⁻¹, with a maximum of 12.6 g.l⁻¹. In the nolar classification (Jetel-Pačes 1979) for the waters saturated with CO₂ the facies Na-C in the subfacies Na-C-Cl is characteristic, outside the region of saturation with carbon dioxide it is the facies C-Na in the subfacies C-Na-Cl (fig. 12). The inner specificity of the chemical composition of the sodium-hydrogencarbonate waters can be expressed with respect to the representation of individual components (in the sense of Gazda's classification by the values of the inner relative information entropy H_r (Jetel 1975, 1987). The most distinctly specified waters of this type have the lowest values H_r (0.30–0.37) (fig. 12).

An unfavourable factor for the underground storage of gas in the Cenomanian aquifer is the absence of brachyanticlinal structures. The permeability and porosity of the Cenomanian rocks and the isolation properties of the overlying Turonian marlstones and claystones of Turonian and Coniacian age, however, comply with the requirements for underground storage of gas. In the future, it will be possible — after the necessary technological level of storage methods has been reached — to use the territory for gas storage in the horizontal aquifer by employing an artificial hydraulic screen.

Preložila H. Šilarová

Explanation of tables

- Table 1. Quantitative characteristics of the transmissivity and permeability of the Cenomanian aquifer according to the data from boreholes of the NB series.
- Table 2. Comparative logarithmic parameters of permeability and transmissivity of the basal Cenomanian aquifer established by older boreholes.
- Table 3. Relationship between the intergranular and total permeabilities of the Cenomanian aquifer and survey of the indices of supplementary resistivities in the boreholes of the series NB.
- Table 4. Characteristics of the transmissivity of the Cenomanian aquifer in the boreholes of the series NB.
- Table 5. Estimates of capacity and resistivity-capacity parameters of the Cenomanian aquifer for the boreholes of the NB series.
- Table 6. Piezometric data from the boreholes of the NB series.
- Table 7. Phase ratios and saturation pressures.
- Table 8. Chemical composition of dissolved gases.
- Table 9. Chemical composition of the waters from the boreholes of the NB series.
- Table 10. Characteristics of the chemical composition of the investigated ground water in the boreholes of the NB series.
- Table 11. Geothermal data.
- Table 12. Data on carbonic mineral waters in the boreholes of the NB series.

Explanation of text-figures

1. Delimitation of the investigated region and distribution of boreholes with hydrogeological data.
1 — boundary of the described territory, 2 — boundary of the wider area of interest of the underground reservoir of gas, 3 — areas without a Cenomanian aquifer, 4 — Cenomanian outcrops on the Hořice ridge, 5 — the major established and presumed faults, 6 — boreholes of the NB series (2 = NB-2, 3 = NB-3, etc.), 7 — the other boreholes (D = Dymokury, K = HV-HJ-103 Kladruby nad Labem, L = Libáň, P = HV-HJ-101 Písek, Ř = Řečany nad Labem-Trnávka, S = Sopřeč, Se = Sezemice, U = HV-100 Újezd; for the other boreholes the original designation has been given).
2. Areal distribution of the mean permeability of the Cenomanian aquifer.
1 — coefficient of intrinsic permeability K higher than $10 \mu\text{m}^2$ (10^{-11} m^2), 2 — $K = 1-10 \mu\text{m}^2$, 3 — $K = 0.1-1 \mu\text{m}^2$, 4 — $K = 0.01-0.1 \mu\text{m}^2$, 5 — $K < 0.01 \mu\text{m}^2$ (10^{-14} m^2), 6 — areas without a Cenomanian aquifer, 7 — faults.
3. Areal distribution of the transmissivity of the Cenomanian aquifer.
1 — coefficient of intrinsic transmissivity T_a higher than $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$, 2 — $T_a = 1 \cdot 10^{-10}-1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$, 3 — $T_a = 1 \cdot 10^{-11}-1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$, 4 — $T_a = 1 \cdot 10^{-12}-1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$, 5 — $T_a = 1 \cdot 10^{-13}-1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$, 6 — $T_a < 1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3$, 7 — areas without a Cenomanian aquifer, 8 — faults.
4. Relationship between hydraulic parameters in the area of the Mlékosrby structure and the facies development and the thickness of the Cenomanian Formation.
1 — clayey conglomerates, 2 — fine-grained sandstones related to quartzose, partly glauconitic, 3 — fine-grained glauconitic sandstones, mostly clayey-silty, 4 — clayey sandstones, siltstones, 5 — organodetrital limestones, 6 — intercalations of organodetrital limestones, 7 — total thickness of the Cenomanian Formation

- [m], δ — on the top permeability coefficient K in μm^2 , on the bottom coefficient of intrinsic transmissivity T_a in m^3 . Lithology and thickness according to V. Klein et al. (1975).
5. The statistic distribution of the average permeability of the Cenomanian aquifer in the investigated region (histogram of the values of the permeability index Z and logarithmic transformation of the filtration coefficient Z_k).
M = favourable development in the Mlékosrby structure, N = set M + other boreholes of the NB series, S = total of all data; 1 — boreholes on the northern and southern margins of the territory.
 6. Cumulated relative frequencies of the permeability index Z and logarithmic transformation of the hydraulic conductivity Z_k of the Cenomanian aquifer in the investigated territory.
1 — permeability index Z of the total S, 2 — permeability index Z from the favourable development in the Mlékosrby structure (total M), 3 — Z_k values of the total M.
 7. Relationship between the distribution of values of permeability index Z and the logarithmic transformation of the hydraulic conductivity Z_k in boreholes, where the direct determination of the hydraulic conductivity was possible.
1 — Z , 2 — Z_k .
 8. Statistic distribution of the transmissivity of the Cenomanian aquifer in the investigated territory (histogram of the values of the transmissivity index Y and the logarithmic transformation of the transmissivity coefficient Y_T).
 9. Cumulated relative frequencies of the values of the transmissivity index Y and logarithmic transformation of the transmissivity index Y_T of the Cenomanian aquifer in the investigated region.
1 — values of index Y of the total S, 2 — values of index Y of the set M, 3 — values of the Y_T total M [designation of totals the same as in figs. 5 and 6].
 10. Relationship between the average permeability K and the open porosity m_o of the Cenomanian aquifer according to the data from the boreholes of the series NB.
1 — average open porosity in relationship to the average permeability, 2 — the only indication of open porosity (borehole NB-26) in relationship to the average permeability, 3 — boreholes with presumed significant proportion of fissure permeability, 4 — regressive straight line $\log K = f(m_o)$ for data from boreholes NB-3, -4, -6, 12, -18 and -30 (linear correlation coefficient $r = 0.87$).
 11. Diagram of piezometric conditions of the basal Cretaceous aquifer.
1 — hydroisopiezes of the basal aquifer with indication of piezometric head in m a.s.l., 2 — areas without a Cenomanian aquifer, 3 — boreholes with piezometric indication on basal aquifer.
 12. Map of the chemism of the basal aquifer in the Cenomanian aquifer.
1—5 boreholes with data on the chemical composition of the basal aquifer; molar subfacies: 1 — Na-C-Cl, 2 — transition between Na-C-Cl and Na-Cl-C, 3 — Na-C-S, 4 — C-Na-Cl, 5 — C-Ca-Na, C-Ca-S and C-Ca-Cl; 6 — isolines of total dissolved solids in g.l^{-1} ; 7 — isolines ratio r (Cl/HCO₃); 8 — presumed contour of the Cenomanian aquifer; 9 — faults; 10—16 — areal distribution of the types of chemism according to Alekin's classification with expression of specificity of the chemism using the internal relative information entropy H_r [Jetel 1975, 1987]: 10 — Cl^{Na} , high specificity ($H_r = 0.30-0.39$); 11 — Cl^{Na} , $H_r = 0.40-0.49$; 12 — Cl^{Na} , $H_r = 0.50-0.59$; 13 — Cl^{Na} , the weakest specificity ($H_r \geq 0.60$); 14 — Cl^{Ca} , $\text{Cl}^{\text{IIIaCa}}$; 15 — Cl^{Na} ; 16 — Si^{Na} ; 17 — surfaces without a Cenomanian aquifer.

Гидрогеология сеномана Лабской области Чешского мелового бассейна

Сеноманские песчаники Лабской области Чешского мелового бассейна представляют собой единственный связный водоносный пласт упомянутой области. В статье дается оценка результатов гидрогеологических работ по изучению возможностей подземного хранения газа в этом водоносном пласте, предоставляющая полное представление о гидравлических параметрах водоносного пласта, условиях течения и химическом составе базального мелового горизонта подземных вод. Особое внимание обращалось на количественное и качественное изучение условий газосодержания. Вследствие насыщения глубинным углекислым газом здесь образовалось крупное накопление углекислых минеральных вод, ограничивающее возможности использования для водоснабжения. Малая величина средней водопроницаемости и неправильное развитие водоносного пласта обуславливают значительный застой подземных вод. Подземная вода здесь протекает от с.-с.-в. к ю.-ю.-з., к местному региональному базису водостока – долине реки Лабы – со средней эффективной скоростью 0,06–0,6 м/год. Подземное хранение газа здесь возможно лишь при условии использования технологии хранения в виде горизонтального слоя с применением искусственного экранирования.

Přeložil A. Kříž

