

Univerzita Karlova v Praze  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

---

**Katedra:** Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

**Bakalářská práce**

**DUSIČNANY V PODZEMNÍCH VODÁCH  
POLICKÉ PÁNVE A ZMĚNY JEJICH  
KONCENTRACÍ**

Nitrates in groundwater of Police Basin and changes of their concentrations

**Vypracoval:** Jiří Vaněk

**Vedoucí práce:** RNDr. Jaromír Šantrůček  
**Konzultant:** RNDr. Vojtěch Kněžek

V Náchodě dne: 19.08.2006

HYDROGEOLOGIE  
PODZEMNÍ VODY  
DUSIČNANY  
POLICKÁ PÁNEV  
JAKOST PODZEMNÍCH VOD  
KŘÍDA

Jiří Vaněk

## **Poděkování:**

Děkuji všem, s jejichž pomocí jsem tuto práci dovedl ke zdárnému konci. Dík náleží mému školiteli, RNDr. Jaromíru Šantrůčkovi za cenné připomínky a podnětné rady. Děkuji RNDr. Vojtěchu Kněžkovi za ochotu a laskavost při zodpovídání odborných otázek a vedoucímu laboratoře VaK Náchod, a.s., panu Ing. Šulcovi za poskytnutí analýz zdrojů podzemních vod.

# **Dusičnany v podzemních vodách polické pánve a změny jejich koncentrací**

Jiří Vaněk, červenec 2006

## **Abstrakt:**

Práce se zabývá hydrogeologickými poměry polické křídové pánve, zejména jakostí podzemních vod a jejich znečištěním dusičnany. V práci je stručně popsána dosavadní prozkoumanost pánve jako důležité vodohospodářské oblasti, geologické a hydrogeologické poměry a chemismus podzemních vod. Důraz je kláden na tektonickou stavbu polické pánve z důvodů významné hydrogeologické funkce hlavních zlomů. Hlavním výstupem jsou grafy a tabulky vývoje koncentrací dusičnanů v jižní části pánve, kde je toto znečištění podzemní vody mnohem závažnější.

Vývoj koncentrací dusičnanů je zhodnocen na základě dat z měsíčních kontrolních analýz podzemních vod společnosti VaK Náchod a.s., která vlastní a spravuje množství jímacích objektů. Významným bodem je posouzení vlivu zemědělského hospodaření a používání umělých hnojiv na jakost podzemních vod. Zhodnoceno je i zemědělské hospodaření v okolí nejdůležitějších jímacích území a možné zdroje kontaminací podzemních vod v polické pánvi. V závěru nastinuje práce možný vývoj koncentrací dusičnanů v budoucích letech vzhledem ke snižujícímu se používání průmyslových hnojiv.

## **Abstract:**

This work deals with the hydrogeologic conditions of the Police Cretaceous Basin, especially with groundwater quality and it's contamination by nitrates. Previous geological exploration, geologic and hydrogeologic structure and groundwater quality were evaluated. Tectonics as a significant hydrogeologic factor was also described. Main outputs are represented by tables and charts of general nitrates concentration trends in a south part of the basin, where the nitrous contamination is much more serious. The base for evaluation of nitrates concentrations were data from monthly control analysis carried out by VaK Náchod Company. Impact of agriculture and using of mineral fertilizers in the surrounding of principal water-withdrawal areas in the basin was discussed. Possible nitrates concentrations trends in next years were sketched.

<b>Obsah</b>	<b>Strana</b>
<b>Seznam použitých zkratek .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Charakteristika území .....</b>	<b>7</b>
2.1. Vymezení území .....	7
2.2. Přírodní charakteristiky polické pánve .....	8
2.2.1 Geomorfologie .....	8
2.2.2 Hydrologické a klimatické poměry .....	8
<b>3. Geologické poměry .....</b>	<b>9</b>
3.1. Přehled dosavadní prozkoumanosti .....	9
3.2. Geologická stavba území .....	9
3.3. Tektonika .....	12
<b>4. Hydrogeologie území .....</b>	<b>14</b>
4.1. Hydrogeologická prozkoumanost .....	14
4.2. Hydrogeologické poměry .....	16
4.2.1 Hydrogeologická charakteristika hornin .....	16
4.2.2 Hydrogeologická funkce zlomů .....	18
<b>5. Hydrochemie .....</b>	<b>20</b>
5.1. Jakost podzemních vod polické křídové pánve .....	20
5.2. Vývoj koncentrací dusičnanů v podzemních vodách polické pánve .....	22
5.3. Možné zdroje kontaminace podzemních vod .....	29
<b>6. Závěr .....</b>	<b>34</b>
<b>7. Použitá literatura .....</b>	<b>35</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>36</b>

## Seznam použitých zkratek

m	.....	medián
n	.....	počet měření/stanovení
p. 94	.....	pramen číslo 94
PKP	.....	polická křídová pánev
$q_1$	.....	první kvartil
$q_3$	.....	třetí kvartil
s	.....	směrodatná odchylka

## **1. Úvod**

Cílem této práce je zhodnotit jakost podzemních vod polické pánve a především pak znečištění těchto vod dusičnanovými ionty. Jako polická pánev bývají označovány křídové sedimenty nalézající se v nadloží starších permokarbonských uloženin vnitrosudetské deprese.

V polické pánvi se spojuje několik pozitivních přírodních okolností pro vznik poměrně bohatých zásob podzemních vod - písčitý vývoj mocných křídových souvrství, brachysynklinální stavba území a povrchové odvodnění celé pánve tokem Metuje. Ve vertikálním řezu lze vyčlenit celkem tři vesměs napjaté kolektory s regionálním prouděním.

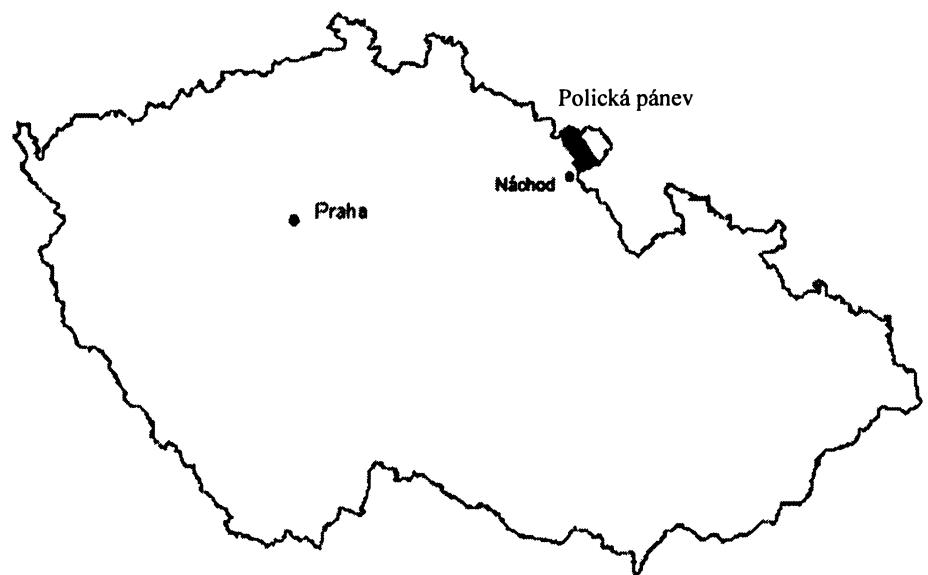
Podzemní vody polické pánve jsou co do jakosti jedny z nejkvalitnějších z české křídy, s minimálním obsahem železa. Jejich kvalita je však v některých oblastech pánve dusičnanovým znečištěním značně snížena. Hlavní příčinou zvýšených koncentrací dusičnanů v podzemních vodách je nesporně zemědělská činnost a s ní spojené používání hnojiv. Proto je část práce věnována zemědělskému hospodaření na území polické pánve, která je intenzivně využívána k rostlinné i živočišné výrobě, zejména pak její jižní část. V této části pánve se pak nachází území nejvíce zasažené dusičnanovým znečištěním – jímací území Plachty. V práci je proto kladen větší důraz na zhodnocení jižní části pánve.

Práce vychází především z průzkumů J. Krásného et al. a V. Kněžka et al. Data pro zhodnocení dusičnanového znečištění pocházejí z režimních kontrolních rozborů vzorků jímaných vod VaK Náchod a.s. a z Hydrogeologické společnosti s.r.o.

## **2. Charakteristika území**

### **2.1. Vymezení území**

Polická křídová pánev (PKP) je vodohospodářsky významné území s množstvím využívaných zdrojů podzemních vod. Nalézá se v severovýchodních Čechách v broumovském výběžku, v oblasti vnitrosudetské (dolnoslezské) pánve. Křídové sedimenty PKP na českém území zaujmají rozlohu zhruba  $235 \text{ km}^2$  (Vejloupek 1984). Polická pánev je na Z a JZ oddělena od české křídové pánve staršími sedimenty permu a karbonu (Jestřebí hory). Dále je směrem na J (již na polském území) omezena severními výběžky Orlických hor a na SV opět permokarbonskými uloženinami. Na JV přechází křídové sedimenty polické pánve do kladské křídy (Stolové hory v Polsku, oblast Hejšoviny a území k JV), k S pak do krzeszowké pánve, od níž je oddělena antiklinálou Łaczné. V neblížším sousedství polické pánve se křídové sedimenty vyskytují v hronovsko-svatoňovickém příkopu a na něj navazující kudowské pánvi.



Obr.1. Lokalizace území polická pánev

## **2.2. Přírodní charakteristiky polické pánve**

### **2.2.1 Geomorfologie**

Nadmořská výška převážné většiny povrchu polické pánve se pohybuje v rozmezí od 450 do 550 m n. m. a má tendenci k poklesu od S k J. Vyšších hodnot (600-800 m n. m) dosahuje terén zejména v Adršpašsko-teplických skalách a v Broumovských stěnách a na ně navazujících Stolových horách v Polsku, kde nadmořská výška přesahuje na dvou místech hodnotu 900 m n. m., což je nejvyšší nadmořská výška křídových sedimentů v Českém masivu (Krásný et al. 1997). Nejnižší bod terénu (zhruba 390m n. m) představuje místo, kde Metuje opouští území pánve.

Geomorfologie je významně ovlivněna geologickou stavbou. Jedná se především o kvesty a zvětralé kvádrové pískovce zachované v centrální části pánve, které jsou systémem puklin často přetvořené do rozsáhlých skalních měst (Ostaš, Adršpašsko-teplické skály). Řeka Metuje spolu se svými přítoky vytváří hluboce zaříznutá údolí. Na reliéfu křídových hornin (zejména ve skalních městech) jsou vyvinuty pseudokrasové jevy (Koroš et al. 1999).

### **2.2.2 Hydrologické a klimatické poměry**

Průměrná roční teplota je 5 - 6 °C, srážky dosahují hodnot 700 – 800 mm, ve skalních městech až 900 mm (Správa CHKO Broumovsko 2002). Nejvýznamnějším tokem oblasti je Metuje, pramenící v severní části pánve. Ve svém průběhu víceméně sleduje osu pánve. V místě, kde se do Metuje vlévá levostranný přítok Ledhuje, mění směr k JZ a následně přibírá další levostranný přítok Židovku. Polickou pánev opouští severovýchodně od Hronova, kde pak již mimo pánev přibírá pravostranný přítok Dřevíč, který sleduje prakticky celou západní hranici polické pánve. Celkový dlouhodobý průměrný průtok Metuje v profilu Hronov je podle Krásného et al. (1997) cca  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Při ploše povodí  $248 \text{ km}^2$  činí celkový specifický odtok  $10,9 \text{ l*s}^{-1}\text{km}^{-2}$ .

### **3. Geologické poměry**

#### **3.1. Přehled dosavadní prozkoumanosti území**

Počátky geologického průzkumu křídových sedimentů polické pánve spadají do 70. let devatenáctého století. Jde především o práce Krejčího a Friče. Zahálkovo označení jednotlivých vrstev písmeny bylo používáno až do šedesátých let, kdy jej nahradilo označení hornin podle mezinárodní stratigrafické stupnice. Stratigrafické pojetí křídových sedimentů výše zmíněných autorů zhodnotil Klein (1959). V dalších výzkumech byly nejdiskutovanějšími stratigrafickými tématy:

- hranice cenoman/turon
- stratigrafické zařazení pískovců Broumovských stěn a pískovců Adršpašsko-teplických skal, Ostaše, Hejdy a Boru.

Při řešení těchto problémů spolu soupeřily dvě koncepce, jejichž vliv je patrný i v hydrogeologických pracích. Jde o koncepci Petraschecka, jenž řadí pískovce broumovských skal do svrchního turonu a nejsvrchnější části až do coniacu, a názor Dvořáka a Kleina (1959). Ti popisují pískovce broumovských a Adršpašských skal, Ostaše, Hejdy a Boru jako střednoturonské, u nejmladších nevylučují starý coniacu.

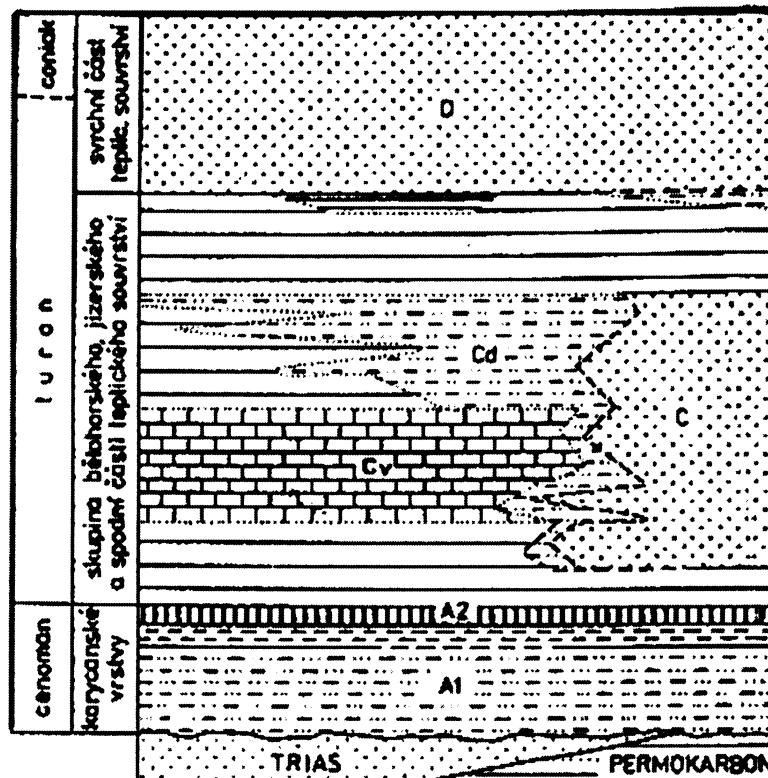
Poslední výzkumy však téměř zcela potvrzují Petrascheckovo stratigrafické pojetí, tedy náležitost rohovcového souvrství cenomanu (Krebs 1994).

#### **3.2. Geologická stavba území**

Křídové sedimenty PKP se nacházejí v centrální části vnitrosudetské (dolnoslezské) pánve, která je navíc vyplňena karbonskými, permскými a triasovými horninami. Mladopaleozoické horniny jsou zastoupeny převážně klastickými sedimenty a vulkanity mocnými až kolem 3000 m a starý namur C až svrchní perm. Triasové sedimenty bohdašinského souvrství dosahují mocnosti kolem 150 m.

V polické pánvi jsou zachovány marinní křídové sedimenty s maximální mocností kolem 450-500m cenomanského až svrchnoturonského starý náležející perucko-korycanskému až teplickému souvrství (Čech-Valečka in Krásný et al. 1993). V prostoru hronovsko-poříčského příkopu udává Vejlupek (1984) mocnost křídových

sedimentů až 600 – 650 m, čemuž odpovídají i výsledky geofyzikálního měření (Kněžek 1982a)



Obr.2. Stratigrafie polické pánve. Převzato z Krásný et al. 1993. Význam symbolů u jednotlivých souvrství je vysvětlen v kapitole 4.2.1.

**Perucko-korycanské souvrství** (upraveno podle Čech-Valečka in Krásný et al. 1993) je zastoupeno pouze marinními sedimenty odpovídajícími korycanským vrstvám. Lze v nich (ve směru od spodních členů k vrchním) vyčlenit tři litologické jednotky označované jako psamitické souvrství, prachovcové souvrství a rohovcové souvrství.

**Psamitické souvrství (A1).** Vyznačuje se především nízkým vytříděním psamitické frakce a vyšším obsahem matrix. Převažujícím typem hornin jsou šedé, šmouhované až čočkovitě-laminární pískovce s četnými bioturbacemi. Škála zrnitosti je zastoupena od jemnozrnných pískovců s větším podílem hrubších zrn, přes nestejnozrnné pískovce, po středně až hrubozrnné pískovce.

Již méně zastoupeným litotypem jsou bělavé, středně zrnité křemenné pískovce . Tyto pískovce, jež jsou zpravidla silicifikovány až do stadia křemenců, se vyskytují buď jako vložky v jílovitých polohách, nebo (méně často) tvoří polohy, hlavně ve spodní části psamitického souvrství. V severozápadní části pánve tvoří jeho bazální část (Klein 1959).

Mocnosti psamitického souvrství se pohybují mezi 20-50 m.

Prachovcové souvrství (A1/A2). Bázi prachovcového souvrství tvoří glaukonitická pískovcová poloha, která do nadloží přechází do typických, velmi pevných, šedých prachovitých jílovců až prachovců. Makroskopicky mají tyto horniny ráz slínovců až prachovců. Mocnost prachovcového souvrství se pohybuje mezi 6-8 m do 12-14 m s tendencí k nárůstu od jjv. k sz. části pánve.

Rohovcové souvrství (A2). Představuje litologicky i hydrogeologicky nejvýraznější horninovou jednotku pánve ovlivňující i morfologii obvodové části pánve. Označení základního litotypu je různé. Hynie (1949) ho nazývá opukovým vápencem, Dvořák (in Tásler et al. 1979) používá označení spongilitický prachovec až pískovec. Hornina má makroskopicky „opukový ráz“ a typickou žlutou až šedožlutou barvu. Obsahuje 15-35% křemene a ostatních terigenních složek, zbytek tvoří agregát autigenní křemité hmoty. V agregátu jsou zjistitelné jehlice křemitých hub v množství až kolem 30%.

Mocnost souvrství kolísá od 5-6 m do 15 m, s tendencí nárůstu podobně jako u prachovcového souvrství, od JJV k SZ a v polické pánvi má stratigrafický význam (Kněžek 1982a).

### **Skupina bělohorského, jizerského a spodní části teplického souvrství (A/C, C, C/D) (upraveno podle Čech-Valečka in Krásný et al. 2002 )**

Litologicky se přechod mezi bělohorským a jizerským stejně jako mezi jizerským a teplickým souvrstvím neprojevuje. Proto jsou tato souvrství popsána jako skupina. Skupina je v celém rozsahu zachována pouze pod pískovci Adršpašsko-teplických skalních měst, Hejdy, Ostaše a Boru, kde dosahuje mocnosti 210-250m.

Bázi souvrství tvoří 0,1-0,6m mocný horizont žlutavého, silně glaukonitického jílovce s koprology, který ostře nasedá na rohovcové souvrství.

V komplexu převládají slínovce až vápnité jílovce (v řezech označené jako izolátory A/C a C/D v příloze 5). Vedle nich bylo při jv. okraji pánve vyčlenováno až 100 m mocné souvislé těleso (C) Broumovských stěn tvořené středně až hrubě zrnitými živcovými pískovci. Tyto pískovce však v proximální facii (C) tvoří dvě tělesa. Spodní těleso C1 vytvářející vlastní Broumovské stěny je od svrchního (C2) odděleno až 30-60 m mocnou polohou slínovců (C1/C2). Hrubozrnné pískovce C2 mají ve zbylé části pánve svůj jemnozrnný ekvivalent označovaný v práci Krásného et al (2002) jako distální facie (Cd). Tyto pískovce jsou v okolí Teplic n. M. dobře sledovatelné, tvoří jedno těleso a dosahují mocnosti 35-40 m.

Další horninovou jednotkou je sled slínovců se zvýšenými obsahy CaCO<sub>3</sub> (od 52 do 73 %). Tato sekvence bývá uvažována jako samostatný kolektor (Cv). Nachází se většinou 60-70 m nad stropem rohovcového souvrství a bývá 35-50 m mocná. Vrstvy Cv se projevují i morfologicky jako kvesta.

Nad tělesem Cd se opět nachází sled pevných vápnitých jílovců až slínovců izolátoru C/D.

### **Svrchní část teplického souvrství (D)**

Do vyšší části teplického souvrství patří nejmladší horninová jednotka polické pánve, dnes zachovaná jako denudační relikt – kvádrové pískovce - tvořící skalní města Adršpašsko-teplických skal, vrcholové partie Hejdy, Ostaše a Klučku. Jedná se o typické kvádrové pískovce, převážně lavicovitě zvrstvené, téměř výhradně křemenné, s jílovitou matrix do 5% (Čech-Valečka 2002 ). Největší mocnosti – přes 70 m - dosahují na českém území pískovce D na Ostaši (Čech-Valečka 2002 ).

### 3.3. Tektonika

Polická pánev představuje zanořenou synklinálu s amplitudou řádově stovky metrů a s osou orientovanou SZ-JV (Krásný et al. 1993). Na SZ je ukončena brachysynklinálním uzávěrem, na JV přechází do kladské pánve (Kněžek 1982b). Stavba celé pánve je komplikována plochými příčnými vrásami a zlomovou tektonikou (viz příloha 2).

Zlomové poruchy ovlivňují jak strukturní stavbu pánve, tak především hydrogeologické poměry. V závislosti na výšce skoku mohou plnit funkci nepropustné bariéry, neboť dochází k přerušení průběhu kolektorů, nebo se naopak dostávají do kontaktu kolektory různých úrovní.

Ze strukturně-geologického a hydrogeologického hlediska jsou nejvýznamnější následující tektonické linie (hydrogeologická funkce zlomů bude popsána v kapitole o hydrogeologii).

**Skalský příčný zlom**, jenž je jv. okrajovým zlomem složitého skalského poruchového pásma, probíhá od Březové přes Teplice nad Metují na Studnici, tj. ve směru JZ-SV, a rozděluje polickou pánev na severní a jižní část (Kněžek 1982b) o výšce skoku několika desítek metrů, s maximem až kolem 100m (Krásný et al 1997). Poměry poruchového pásma skalského zlomu jsou navíc ještě komplikovány podélným polickým zlomem, který do něj zasahuje (Kněžek 1982b).

**Směrný polický zlom** (upraveno podle Krásný et al. 1997). Ve skutečnosti se jedná o poruchové pásmo alespoň dvou paralelních zlomů přibližně sz-jv. směru s maximální výškou skoku 90-100 m, která se k severozápadu snižuje na 50-55 m v okolí Teplic a dále zřejmě vyznívá. Jeho průběh není přímý, mění se ze směru SSZ-JJV na SZ-JV (Kněžek 1975). Morfologicky je polický zlom nejlépe patrný v okolí Police nad Metují. Směrem k JV od Police n.M. se však výška skoku taktéž zmenšuje, až nakonec vyznívá.

**Bělský zlom** paralelní s polickým porušuje jv. křídlo jižní části polické pánve. Nejlépe geologicky vymezitelný je mezi Hlavňovem a Machovskou Lhotou a dále k JV

až k českopolské hranici (Krásný et al. 1997). Jeho průběh se mění z počátečního směru SSZ-JJV až k Machovské Lhotě, odtud pak směrem SZ-JV (Kněžek 1975). Bělský zlom tvoří podle Kněžka (1975) dvě linie vzdálené od sebe asi 250 m.

**Kosý zlom Klučku.** Krásný předpokládá existenci tohoto zlomu od Ostaše až k vrchu Klučku. Zlom Klučku, divergentní k polickému a bělskému, tyto oba přetíná a zřejmě na něm dochází k horizontálnímu posunu (Krásný et al. 1993).

## **4. Hydrogeologie území**

### **4.1. Hydrogeologická prozkoumanost**

Studiem hydrogeologických poměrů polické pánve se zabývala řada odborníků. Byly zde prováděny lokální i regionální průzkumy, z nichž nejdůležitější vyhodnotili především O. Hynie, J. Vrba a V. Kněžek.

Poprvé se systematicky hydrogeologií polické pánve zabýval Hynie (1949), který zavedl dnes používané označení – polická křídová pánev. Hospodárně využitelné množství podzemních vod polické pánve odhadl ve výši asi 440 l/s (Hynie 1949).

Vrba provedl v letech 1961–1966 další rozsáhlý průzkum, kdy bylo vyhloubeno celkem 12 nových vrtů, které byly ve srovnání s předchozím průzkumem rozmístěny rovnoměrněji (Krásný et al. 2002). Vrba se nezabýval stanovením využitelnosti podzemních vod celé pánve, ale došel k závěru o rozhodujícím vlivu puklinové porozity křídových sedimentů pro proudění podzemní vody.

Kněžek et al. (1975) vyhodnotil hydrogeologický průzkum probíhající na počátku sedmdesátých let. Během něj bylo vyhloubeno zhruba 30 čerpacích a pozorovacích vrtů, převážně pro účely dlouhodobé čerpací zkoušky (říjen 1974 – duben 1975). Hlavním závěrem průzkumu bylo ocenění využitelného množství podzemní vody. Komisí pro klasifikaci zásob nerostných surovin byly schváleny přírodní zdroje podzemní vody ve výši 1280 l/s, z toho 640 l/s v kategorii C<sub>2</sub>. Byla také potvrzena vhodnost navržených čerpacích lokalit a území bylo rozděleno do několika odběrových center (Kněžek 1975).

V roce 1974 byla ustavena skupina česko-polských expertů pro hraniční podzemní vody (dnes skupina expertů hydrogeologů, hydrologů a specialistů v oboru matematického modelování pro řešení problematiky hraničních podzemních a povrchových vod ČR a PR). V rámci jejího působení byly provedeny rozsáhlé hydrogeologické průzkumy. Výsledky z počátku osmdesátých let byly shrnuty v závěrečných zprávách Kněžek et al. 1982a, 1982b. Jednalo se o průzkum rozsáhlé oblasti polické pánve na česko-polském území při severním (Krzeszow-Adršpach – OkrA) a jižním (Police-Kudowa – OPKu) okraji pánve. Od té doby probíhají režimní měření na povrchových tocích, vrtech a pramenech (Krásný et al. 2002).

V následujících letech pokračoval hydrogeologický průzkum v různém rozsahu a intenzitě.

V letech 1986 – 1990 byl proveden průzkum v severní části území s cílem převést zásoby podzemní vody ověřené v této části pánve průzkumem Kněžka et al. (1975) do kategorie B. Zároveň bylo vyhloubeno 10 hydrogeologických vrtů a provedeny přítokové zkoušky. V roce 1992 byla podle návrhu Kněžka vyražena v prostoru Teplic nad Metují štola a z ní provedeno pět vrtů k uskutečnění záměru využití podzemní vody k výrobě balené pitné a kojenecké vody. Od roku 1992 probíhal v polické pánvi úkol Přírodovědecké fakulty UK „Optimalizace využívání a ochrany podzemních vod s ohledem na ostatní složky životního prostředí: Polická pánev“. Průběžné výsledky byly zhodnoceny ve zprávách z dílčích etap (Krásný et al. 1993, 1995, 1996a). V souvislosti s tímto úkolem byl podán návrh změn pásem hygienické ochrany jímacích území (Krásný et al. 1997).

Co se týče počtu prací provedených v prostoru polické pánve, patří toto území k jednomu z nejintenzivněji prozkoumaných v rámci celé české křídové pánve (Krásný in Krásný et al. 2002). K roku 1995 narostl počet dokumentovaných hydrogeologických vrtů na 135, přičemž největší nahromadění vrtů je ve vodohospodářsky významných oblastech. Většina těchto vrtů byla vystrojena k možnému budoucímu vodohospodářskému využití a některé z nich procházejí nejen křídovými sedimenty, ale dosahují i jejich paleozoického podloží (Krásný 2002). Jelikož mnohde nebyly jednotlivé propustné úseky ve vrtech vzájemně odděleny, dochází k vertikálnímu přetékání mezi zvodněmi (Krásný 2002) a celý už tak dost složitý hydrogeologický systém pánve se tím komplikuje ještě více.

## **4.2. Hydrogeologické poměry**

### **4.2.1 Hydrogeologická charakteristika hornin**

K označení jednotlivých hydrogeologických těles jsem využil indexů, které jsou použity ve zprávě Krásný et al. 1993. Velká písmena od A do D označují tělesa s převládající funkcí kolektorů, stejně tak tělesa proměnlivá, která v některých případech mohou být výrazně propustná (Cd, Cv). Převážně izolační tělesa jsou označena zlomkem tvořeným indexy podložního a nadložního kolektoru. Vzhledem k převládající puklinové porozitě (Krásný et al. 1997) jsou mnohdy i velmi propustná tělesa (např. v polické pánvi nejlépe propustné rohovcové souvrství) místy méně propustnější. Naopak horniny těles s výraznou izolační funkcí (A/C, C/D) se v místech výskytu těles s proměnlivou funkcí (Cv, Cd) chovají mnohem propustněji (Krásný et al. 1997). K označení triasových a permokarbonských těles jsou použity symboly T a PC.

V polické pánvi rozeznává Krásný et al. (1993) tři hlavní kolektory:

**Bazální křídový komplex (BKK)**

**Pískovcový kolektor jizerského souvrství (C)**

**Kolektor skalních měst (D)**

Do bazálního křídového kolektoru (BKK) řadí Krásný jak horniny psamitického (A1) a rohovcového (A2) souvrství, tak i podloží křídových sedimentů, zejména trias. Kněžek (1982a) rozlišuje celkem 4 zvodnělé obzory, neboť řadí rohovcové souvrství až do turonu, a za nejhļubší pokládá zvodeň v křídových sedimentech „bez rohovcového souvrství“ - cenomansko-triasový obzor. Ani on nepochybuje o přímé souvislosti mezi nejhļubší zvodní vytvořenou v křídových sedimentech a zvodněním triasu. Svrchní hranicí BKK je téměř vždy strop rohovcového souvrství, spodní hranicí může být báze psamitického souvrství A1, spíše jí ale bývá báze triasu (Krásný et al. 2002). Propustnost psamitického souvrství je převážně průlínová a dosahuje hodnot  $10^{-4}$  m/s v okrajových částech pánve, v centrálních částech  $10^{-6}$  až  $10^{-8}$  m/s (Kněžek 1975). Pro rohovcové souvrství je charakteristická výlučně puklinová propustnost. (Krásný et al.

2002). Rohovcové souvrství je nejvýznamnějším kolektorským prostředím polické pánve, které je dokumentováno po celé její ploše. Přestože je propustnost celého bazálního křídového komplexu obecně asi nízká a předpokládá se vyšší pouze v místech intenzivního tektonického porušení (Krásný et al. 1993), představuje BKK prostředí pro významné regionální proudění.

Pískovcový kolektor jizerského souvrství C je v území pískovcového vývoje Broumovských stěn tvořen dvěma mocnými tělesy C1 a C2 (Krásný et al. 2002). Jak Krásný (2002), tak i Kněžek (1975) předpokládají převažující puklinovou porozitu. Směrem do centra pánve přechází těleso C2 do distální facie Cd (Krásný et al. 2002). Dále bylo prokázáno poměrně rozsáhlé rozšíření souboru slínovců s vysokým obsahem karbonátů, které je vymezováno jako samostatné těleso Cv (Krásný et al. 1993). Nelze však jednoznačně říci, zda je možno považovat distální facii jizerských pískovců Cd a tělesa s karbonáty Cv za samostatné regionálně rozšířené kolektory, i když pro to existují jisté indicie jako přítoky do vrtů, pukliny ve vrtech a výskyty pramenů, které naznačují, že zejména těleso Cv může být v rámci převážně izolačních komplexů A/C a C/D náchylnější k tvorbě puklin, a tudíž i lépe propustné (Krásný et al. 1993). Zvodení těles Cv a Cd je tedy závislé na faciálním vývoji a tektonickém porušení.

Kolektor skalních měst (D) je nejvýznamněji rozšířen v prostoru Teplicko-adršpašských skal. Ačkoliv se jedná o pískovce, dominuje zde porozita puklinová, o čemž svědčí pravidelné puklinové systémy a prameny vyvěrající z tohoto kolektoru (Krásný et al. 2002).

Kromě těchto horninových komplexů se v polické pánvi vyskytují různě mocné polohy izolátorů, které oddělují výše uvedené kolektory. V závislosti na faciálním vývoji, tektonickém porušení a na rozdílných mocnostech se dají očekávat i rozdílné izolační vlastnosti, což z hlediska regionálního proudění znamená i různě velikou míru přetékání mezi kolektory (Krásný et al. 2002). Toto přirozené přetékání spolu s druhotným přetékáním, způsobeným řadou hydrogeologických vrtů, v nichž nebyly jednotlivé kolektory oddeleny, je důvodem, proč nejsou v polické pánvi vytvořeny jednotlivé, zcela samostatné, převážně artézsky napjaté obzory podzemních vod (Kněžek 1975).

S výjimkou kvartérních uloženin je naprosto převládajícím typem propustnosti u všech hornin v polické pánvi propustnost puklinová, což znamená značnou nehomogenitu celého hydrogeologického území (Krásný et al. 1997).

#### **4.2.2 Hydrogeologická funkce zlomů**

Průběh hlavních zlomů a výška skoku na nich značně ovlivňuje proudění podzemní vody v celé oblasti a určuje i hranice některých kolektorů v rámci jednotlivých zvodněných systémů. Zásadní význam pro funkci zlomu jakožto nepropustné hranice má zejména výška skoku. V závislosti na ní může dojít k porušení spojitosti kolektoru. Oddělení takto vzniklých „ker“ pak může být úplné nebo částečné, přitom platné pro všechny kolektory nebo pouze pro některé z nich. Pro polickou pánev je otázka míry protékání podzemní vody napříč hlavními zlomy velmi důležitá (Krásný et al. 1997). Značný stupeň oddělení kolektorů či kolektorských komplexů je pak jedním z hlavních kritérií, podle kterých Krásný et al. (1997) vymezuje zvodněné systémy a subsystémy.

Naopak v důsledku horizontálních posunů podél zlomů může dojít k extrémnímu zvýšení propustnosti následkem výrazného porušení hornin v různě širokých poruchových zónách podél zlomů. Tato porušená pásma pak představují prostředí s významně zvýšenou hydraulickou vodivostí umožňující vertikální přetékání mezi kolektory, nebo vytváří oblasti přirozené drenáže podzemní vody, či umožňuje protékání podzemní vody napříč zlomem (Krásný et al. 1997). Tento jev je zřejmě podstatnější v místech křížení zlomů jako například v Teplicích nad Metují na křížení skalského a polického zlomu.

Kněžek (1975) na základě tektoniky a litofaciálního vývoje rozděluje PKP na celkem šest částí, Krásný et al. (1993) člení celé území do pěti částí. Obě dělení jsou však velmi podobná a vycházejí zejména z hydrogeologické funkce hlavních zlomů, tj. skalského, polického a bělského.

Podstatným jevem u zlomové tektoniky v PKP je příčná nepropustnost a podélné vytváření cest preferovaného podzemního odtoku (Kněžek 2006, ústní sdělení).

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.3, skalský zlom rozděluje PKP na dvě relativně hydrogeologicky samostatná území – severní a jižní část pánve. Kněžek (1975) na základě provedeného průzkumu zpochybňuje jednoznačnou funkci skalského zlomu. Přítokovou zkouškou provedenou v roce 1995 (Kněžek-Krásný et al. 1995) však byla nesporně potvrzena oddělující funkce skalského zlomu dovolující vymezení dvou samostatných zvodněných systémů – jižního a severního.

Křížení skalského a polického zlomu v Teplicích nad Metují vytváří strukturně a hydrogeologicky značně komplikované území považované za nejvíce tektonicky porušenou oblast PKP. V Teplicích nad Metují dochází v důsledku vzutí hladiny podzemní vody ve směru proudění před skalským zlomem k přirozené drenáži podzemních vod, o čemž svědčí zjevné prameny (pramen u Sokola, Jezírko a další) a skryté přírony do Metuje (Kněžek 1975).

Stejně jako skalský zlom mohl by mít i polický zlom oddělující charakter v jižní části Teplic nad Metují a dále k jihu, i když ne tak jednoznačný jako skalský (Krásný et al. 2002). Polický zlom je tvořen v prostoru jižně od Ostaše alespoň dvěma paralelními zlomy, přičemž západní zlom má podstatně větší výšku skoku (viz řez v příloze 5). Na některých místech vytváří polický zlom nepropustnou bariéru, avšak jen v rámci kolektorů C a A2 (Krásný et al. 2002). Důležitou roli však hraje i intenzivní tektonické porušení hornin v okolí polického zlomu. To se projevuje například v okolí Police nad Metují na lokalitě Plachty, kde jsou vodárensky využívanými vrty VS-10 a NVS-10 zastiženy významně zvodněné pukliny (lokalizace jednotlivých jímacích objektů – viz příloha 4).

Oddělující účinek bělského zlomu předpokládá Krásný et al. (2002) v jeho jižním úseku. Podle Kněžka (2006, ústní sdělení) je problematika funkce bělského zlomu mnohem složitější, což dokládají vrty ve východní části polické pánve. Hladina podzemní vody se ve vrty VS-7 Suchý Důl nalézá zhruba 70 m pod terénem a vrt má minimální vydatnost. Vrt V-1 vzdálený jen několik desítek metrů od VS-7 a terénně výš má artézský přetok. Podobná situace je i u vrty VS-12 a VS-18 v Pěkově. Zatímco vrt VS-12 vykazuje velmi malou vydatnost, u vrty VS-18 situovaném přímo na bělském zlomu dosahuje vydatnost kolem 20 l/s. V oblasti Pěkov-Suchý Důl se tedy zřejmě nalézá tektonická kra bez významnějšího zvodnění omezená dvěma liniemi bělského zlomu (Kněžek 2006, ústní sdělení). Podzemní voda přitékající z východního okraje

pánve pokračuje podél bělského zlomu až k Machovu, kde vyvěrá v podobě četných pramenů (Kněžek 2006, ústní sdělení).

## **5. Hydrochemie**

### **5.1. Jakost podzemních vod polické křídové pánve**

V polické pánvi lze jímat kvalitní vody, s výjimkou hygienického zabezpečení, prakticky bez úprav. Obsahují na rozdíl od ostatních křídových vod jen minimum železnatých kationtů (okolo 0,02-0,04 mg/l) a je možné je považovat za jedny z nejkvalitnějších v české křídové pánvi.

Jak bylo uvedeno výše, v sedimentech polické křídové pánve je vyvinuto několik obzorů podzemní vody navzájem více či méně oddělených různě propustnými izolátory. Teoreticky by bylo možné zvlášť charakterizovat chemizmus jednotlivých zvodněných kolektorů. Ve skutečnosti to ale dosud dobře možné není, neboť řada vrtů je vystrojena k jímání vody z více kolektorů a výsledná jakost pak závisí na množství vody přítékající z každého z nich. Tento poměr je pak dále funkcí snížení hladiny v daném vrtu. Vzhledem k velké roli tektoniky a puklinové porozity pro proudění podzemní vody není možné ani u vrtů vystrojených k jímání vody pouze z jednoho kolektoru jednoznačně říci, že voda skutečně pochází z tohoto jediného kolektoru.

Z hlediska chemismu je jediným jednoznačně definovaným kolektorem D vytvořený v kvádrových pískovcích skalních měst. Je dokumentován řadou pramenných vývěrů. Odvodnění hlubších kolektorů témito prameny je podle Šantrůčka (in Krásný et al. 1995) vyloučeno. Voda z kolektoru D je velmi měkká, slabě kyselá, s nejnižší mineralizací v celé pánvi (okolo 0,05 g/l), Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> až Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> typu (Šantrůček in Krásný et al. 1995).

#### **Severní část PKP**

*Pozn.: Jelikož není severní část PKP v popředí zájmu této práce, bude jakost vod této části charakterizována jen stručně.*

Navzdory zmíněným nepříznivým okolnostem pro určení chemismu vod jednotlivých kolektorů je v severní části relativně dobře možné toto zhodnocení provést

zejména proto, že je zde k dispozici množství lépe definovaných jímacích objektů, ale i z důvodu větších rozdílů v jakostech podzemních vod severní části.

Podzemní vody v infiltračních oblastech na okraji pánve mají celkovou mineralizaci kolem 0,1 g/l, jsou Ca-SO<sub>4</sub> typu a hrozí u nich vysoké nebezpečí znečištění, zvláště v zemědělsky využívaných územích, což dokládají například vody v okolí Zdoňova s obsahem dusičnanů 20 mg/l (Šantrůček 1981).

Vody jímané v Teplicích nad Metují a v nejbližším okolí (vrty VS-5, VS-20, VS-21, vrty ve štole, pramen č.94, Jezírko) jsou slabě kyselé, měkké, nízko mineralizované, Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> typu (Šantrůček in Krásný et al. 1993). Jsou to vody z kolektorů A1 a A2, popřípadě starších (T).

Nejvíce mineralizované vody severní části byly nalezeny ve vrtech jímajících vodu z triasu a všech křídových kolejek s výjimkou kolejku D. Jsou to vody Ca-HCO<sub>3</sub> typu s celkovou mineralizací 0,35 – 0,45 g/l (Šantrůček in Krásný et al. 1993).

### Jižní část PKP

Podzemní vody v této části pánve nevykazují nijak zvlášť velké rozdíly v jednotlivých jakostech. Veliký problém tu však znamená dusičnanové znečištění, které je v některých oblastech zvlášť výrazné (nejvíce je postiženo území Plachet, jižně od Police nad Metují – vrty VS-10 a NVS-10). V severní části, jejíž značnou část tvoří přírodní rezervace Adršpašsko-teplických skal, nejsou NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionty v podzemních vodách významněji zastoupeny. Samotná otázka znečištění podzemních vod dusičnanovými ionty a vývoje jejich koncentrací u vybraných objektů bude zhodnocena v následující kapitole.

V tabulce 1 jsou uvedeny mineralizace a typy podzemních vod z vodohospodářsky významných vrtů v jižní části pánve. Data pocházejí vesměs z konce devadesátých let, kdy byly všechny jímací objekty kontinuálně a dlouhodobě využívány. Rozdíly v mineralizacích jsou zapříčiněny jednak způsobem vystrojení vrtů k jímání vody z určité části zvodněného prostředí, jednak velkými rozdíly v koncentracích dusičnanů, které v případě vrtu VS-10 dosahují běžně 40-60 mg/l. I tak jsou rozdíly mezi jednotlivými objekty oproti diverzifikaci v severní části minimální.

Tabulka 1. Mineralizace a typy podzemních vod z vybraných jímacích objektů v jižní části pánve.

jímací objekt	rok	měření	mineralizace	typ vody
VS-10 Plachty	1998	8	0,46 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
NVS-10 Plachty	1998	8	0,36 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
VS-17 Hlavňov	1998	6	0,39 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
NV-13 Machov	1995	6	0,39 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
V-15 Petrovičky	1999	8	0,36 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
NV-15a Petrovičky	1998	8	0,34 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
NV-15 Petrovičky	1999	8	0,37 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
VS-22 Stárkov	1998	8	0,51 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>
Machovská studna	1998	8	0,30 g/l	Ca-HCO <sub>3</sub>

Dosažená hloubka a kolektory včetně stručného popisu jednotlivých vrtů jsou součástí přílohy 1.

## 5.2. Vývoj koncentrací dusičnanů v podzemních vodách polické pánve

Polická pánev je co do kvantity a tvorby přírodních zdrojů podzemních vod velice perspektivní území. Veškeré přírodní zdroje v polické pánvi byly odhadnuty (Krásný et al. 1997) na 750-900 l/s, přičemž 360-430 l/s připadá na severní část (tj. po skalský zlom) a 390-470 l/s na jižní. Dusičnanové znečištění však perspektivitu některých jímacích území výrazně snižuje, jak je tomu například u zmiňované lokality Plachty v Polici nad Metují. Využívání obou vrtů (VS-10, NVS-10) na Plachtách bylo pro zhoršenou kvalitu vody způsobenou právě NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionty v roce 1991 úplně zastaveno a po opětovném uvedení do provozu je čerpána zhruba 1/3 původního množství.

Hlavní příčinou vysokých koncentrací dusičnanových iontů v podzemních vodách je bezesporu zemědělské využívání půdy a s ním související používání průmyslových (minerálních) hnojiv. Vody v severní části PKP, až na pramenní vývěry, jejichž jakost může být snadněji ovlivněna splachy z polí, nejsou znečištěním dusičnanovými ionty výrazněji postiženy.

Nejnižší koncentrace  $\text{NO}_3^-$  iontů vykazují vody z vrtů ve štolce v Teplicích nad Metují, vrt VS-5, pramen Sokol (č.95) a pramen Jezírko (č.94).

Tabulka 2. koncentrace dusičnanů u vybraných objektů v severní části pánve, upraveno podle Krásný et al. 2002

objekt	rok	n	$\text{NO}_3^-$ [mg/l]	
			průměr	s
p.94	1994-1995	4	8,8	
p.95	1973-1975	13	6,3	0,5
p.95	1994-1995	2	9,1	
p. 95	1964	1	11	
VS-5	1974-1975	7	5,2	0,5
VS-5	1979-1982	13	5,9	0,4
VS-5	1993-1994	5	7,4	

n-počet stanovení, s-směrodatná odchylka

I přes velmi nízké hodnoty splňující normu pro využití jako kojenecké vody (15 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ) je zde vidět mírný nárůst v posledních letech.

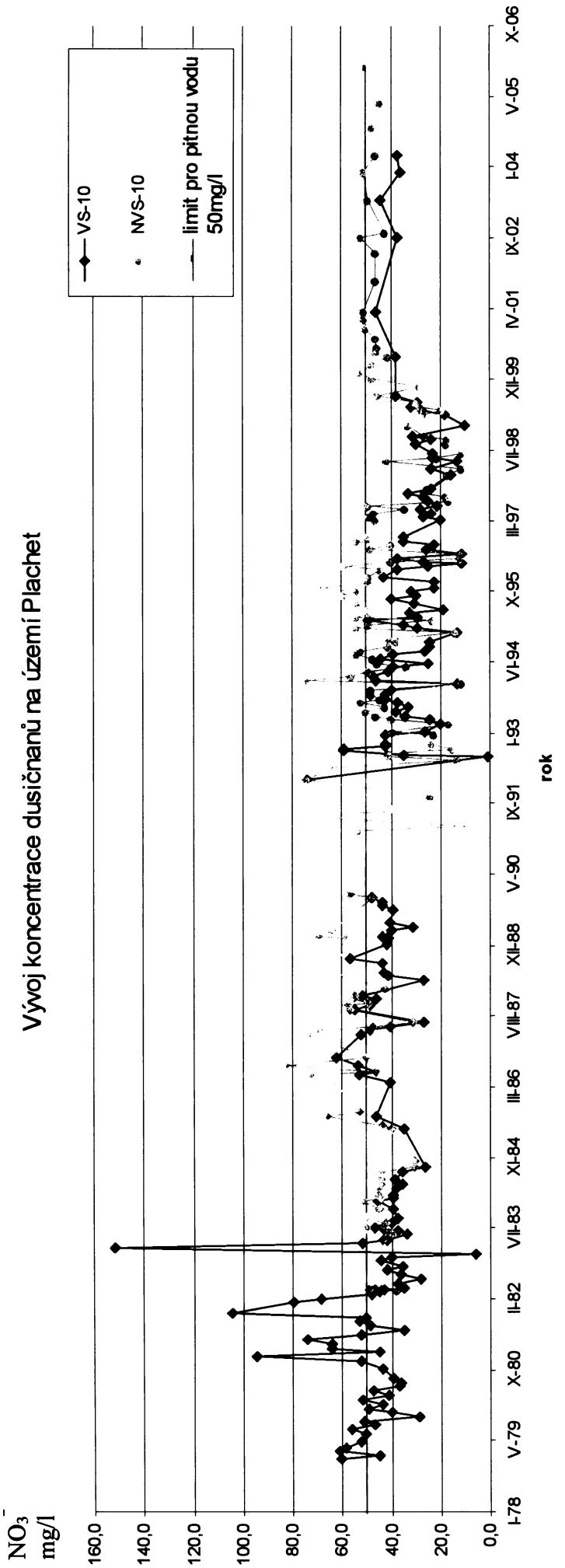
V jižní části pánve je situace odlišná, jak dokládá tabulka 3. Jedná se o vodárensky využívané vrty, u nichž probíhá provozní kontrolní měření a rozbory vzorků vody. Data pocházejí převážně z archivu firmy VaK Náchod a.s., která objekty spravuje a využívá. Stanovení dusičnanů bylo provedeno spektrofotometrickou metodou se salicylanem. Část dat jsem získal díky laskavosti pana RNDr. Kněžka z Hydrogeologické společnosti s.r.o.

Prakticky u všech objektů z tabulky 3 je jasně patrný trend poklesu až do konce devadesátých let, kdy jsou u většiny objektů zaznamenány dlouhodobě nejnižší hodnoty koncentrací  $\text{NO}_3^-$ . Toto snížení je však posléze vystřídáno mírným, až poměrně náhlým vzrůstem (v závislosti na daném jímacím objektu) a následnou stagnací v období 2001-2005.

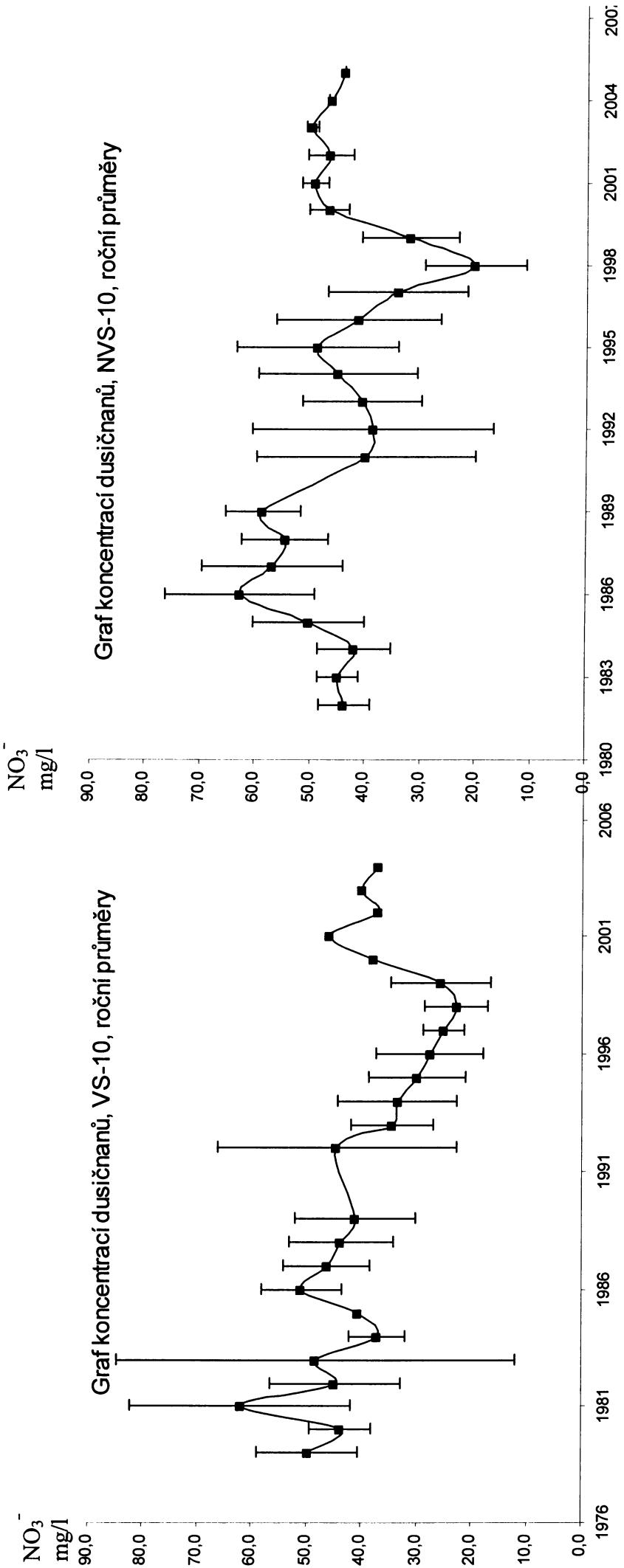
Tabulka 3. Přehled vývoje koncentrací dusičnanů v podzemních vodách PKP u vybraných objektů v mg/l NO<sub>3</sub>.

objekt	rok	n	q <sub>1</sub>	m	q <sub>3</sub>
VS-10	1979-1983	<b>59</b>	39,4	<b>44,8</b>	52,0
	1984-1989	<b>40</b>	39,0	<b>43,2</b>	48,6
	1992-1995	<b>41</b>	26,0	<b>34,5</b>	42,0
	1996-1998	<b>29</b>	24,5	<b>32,0</b>	39,5
	1999-2004	<b>12</b>	28,6	<b>36,5</b>	38,0
NVS-10	1982-1986	<b>28</b>	43,1	<b>44,5</b>	50,4
	1987-1989	<b>19</b>	52,0	<b>57,8</b>	63,6
	1991-1995	<b>48</b>	38,5	<b>46,5</b>	54,0
	1996-1999	<b>36</b>	18,9	<b>31,5</b>	46,6
	2000-2005	<b>18</b>	46,0	<b>46,5</b>	50,8
VS-17	1984-1991	<b>31</b>	24,2	<b>27,0</b>	29,7
	1992-1995	<b>30</b>	19,4	<b>22,0</b>	27,4
	1996-1999	<b>20</b>	22,3	<b>24,0</b>	26,6
	2000-2005	<b>15</b>	27,5	<b>29,0</b>	32,0
V-15	1993-1995	<b>32</b>	9,5	<b>10,1</b>	11,0
	1996-1999	<b>44</b>	8,8	<b>9,8</b>	11,3
	2000-2005	<b>28</b>	12,0	<b>14,0</b>	14,0
NV-15	1993-1995	<b>32</b>	10,3	<b>11,1</b>	11,8
	1996-1999	<b>29</b>	8,5	<b>10,4</b>	12,0
	2000-2005	<b>21</b>	14	<b>15,0</b>	17,0
NV-15a	1993-1995	<b>35</b>	9,0	<b>9,5</b>	10,4
	1996-1999	<b>44</b>	8,5	<b>9,9</b>	11,7
	2000-2005	<b>30</b>	12,0	<b>14,0</b>	15,0
VS-22	1994-1995	<b>13</b>	15,0	<b>17,6</b>	21,5
	1996-1999	<b>31</b>	13,7	<b>14,8</b>	17,2
	2000-2005	<b>14</b>	18,0	<b>19,5</b>	20,8
Machovská studna	1993-1995	<b>27</b>	9,3	<b>9,8</b>	10,6
	1996-1999	<b>45</b>	7,1	<b>7,8</b>	9,3
	2000-2005	<b>69</b>	10,0	<b>10,7</b>	11,0
NV-12	1993-1995	<b>28</b>	5,8	<b>6,3</b>	7,2
	1996-1999	<b>42</b>	5,2	<b>5,8</b>	6,4
	2000-2005	<b>33</b>	7,0	<b>8,0</b>	9,0

n – počet stanovení, q<sub>1</sub> a q<sub>3</sub> – první a třetí kvartil, m - medián



Obr. 3. Graf vývoje koncentrací dusičnanů na území Plachet, jednotlivé body představují měsíční měření



Obr.4. Grafy vývoje koncentrací dusičnanů na lokalitě Plachty, jednotlivé body zastupují roční průměry, úsečky představují směrodatnou odchylku

## Jímací území Plachty

Lokalita Plachty se nachází v terénní depresi omezené ze Z polickým zlomem (viz řez v příloze 5), při jihovýchodním okraji Police nad Metují. Nalézají se zde dva vodohospodářsky využívané vrty – VS-10 a NVS-10. Oba jsou situovány v poruchovém pásmu polického zlomu (další specifikace vrtů viz příloha 1). V důsledku intenzivního tektonického porušení zde patrně došlo k silnému, i když selektivnímu zvětšení propustnosti hornin. To je zřejmě i příčinou toho, že navzdory velmi malé vzdálenosti mezi oběma vrty (okolo 40-60 metrů), má vrt VS-10 zhruba dvakrát větší vydatnost než vrt NVS-10, jelikož pravděpodobně zastihl značně zvodnělou puklinu (Krásný et al. 1997). Voda z těchto vrtů je jedna z nejvíce mineralizovaných v celé pánvi, mineralizace dosahuje hodnot kolem 0,49 mg/l. Velký podíl na tom však má vysoká koncentrace dusičnanových iontů, dosahující v devadesátých letech až 70 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v litru. Z toho důvodu bylo v letech 1990-1993 načas upuštěno od využívání těchto vrtů.

Graf na obrázku 3 ukazuje srovnání vývoje koncentrací dusičnanů z vrtů VS-10 a NVS-10. Vrt NVS-10 jímající vodu pouze z kolektoru C vykazuje ve většině měření vyšší hodnoty znečištění nitrátovými ionty než vrt VS-10, který jímá směsnou vodu z kolektorů T-C, ale s převažujícím podílem kolektoru C na výsledné jakosti (viz příloha 1). Z rozdílů koncentrací mezi oběma vrty pak vyplývá znečištění kolektoru C dusičnanovými anionty (Krásný et al. 1997) .

V současné době funguje vrt VS-10 jen jako záložní zdroj, vrt NVS-10 je čerpán 24 hodin denně. Důvodem jsou vysoké koncentrace dusičnanů ve vrtu VS-10 při dlouhodobém čerpání. Jejich příčinou je daleko vyšší vydatnost vrtu VS-10, který pak vytváří preferované cesty pro podzemní vodu.

Z ročních průměrů koncentrací dusičnanů na obrázku 4 je zřejmý mírný nárůst u obou vrtů na konci osmdesátých let a posléze již téměř stálý pokles s výkyvem v první polovině devadesátých let až na hodnotu 22,7 mg/l v roce 1998 u vrtu VS-10 a 22,2 v témež roce u vrtu NVS-10. To v případě vrtu NVS-10 znamená pokles koncentrace bezmála o 30 mg/l v průběhu let 1995-1998. Tyto hodnoty jsou vůbec nejnižší od roku 1979 resp. 1982 (v roce 1975 udává Kněžek et al. maximální hodnoty koncentrací dusičnanů z těchto vrtů 30 mg/l).

Po tomto „optimistickém“ poklesu však nastává další nárůst na hodnoty kolem 40 mg/l u vrtu VS-10 a 45-50 mg/l u NVS-10 během dvou let a následná stagnace až do současnosti.

Za povšimnutí nepochybně stojí i značný rozdíl v kolísání hodnot patrný na směrodatných odchylkách ročních průměrů. Zatímco v osmdesátých a devadesátých letech se hodnoty směrodatných odchylek pohybují ve většině případů mezi 10-14 mg/l (maximálně mezi 20-36 mg/l), v letech 2000-2005 nedosahují odchylky ani 2 mg/l. Příčinu je pravděpodobně možné hledat v „rovnoměrnějším“ používání umělých hnojiv.

#### **Ostatní jímací území a objekty v jižní části pánve (viz příloha 6)**

Koncentrace dusičnanů v podzemních vodách z ostatních jímacích území nedosahují tak vysokých hodnot jako v případě vrtů VS-10 a NVS-10. Nejvíce  $\text{NO}_3^-$  iontů obsahuje voda z vrtu VS-17 Hlavňov, na jejíž jakosti se podílí kolektory A až C. Zde dosahují v posledních letech koncentrace nitrátových iontů hodnot okolo 30mg/l. Stejně jako území Plachet, je i okolí Hlavňova zemědělsky intenzivně využíváno. Vrt je situován poblíž infiltracní oblasti polické pánve a hrozí tak snadno další znečištění podzemních vod.

Lokalita Plachty je pravděpodobně dotována podzemní vodou z oblasti východně od Police nad Metují (Kněžek 2006, ústní sdělení). Zde se nacházejí dva nové vrty - VS-27 Velká Ledhuje, který leží v blízkosti bělského zlomu a vrt VS-26 Suchý důl. Vrt VS-26 jímá směsnou vodu z kolektorů A1 a A2, vrt VS-27 kolektor C.

Tabulka 4. Koncentrace dusičnanů ve vrtech VS-26 a VS-27

datum	vrt	$\text{NO}_3^-$ [mg/l]
5.6.2005	VS-26 Suchý důl	23,1
27.7.2005	VS-27 Velká Ledhuje	18,62

Dalším problematickým objektem byly jímací zářezy ve Stárkově. Ty jímaly povrchovou vodu včetně splachů z okolních polí. V současné době nejsou zářezy ve Stárkově již využívány pro hromadné zásobování pitnou vodou. Hodnoty dusičnanů v těchto vodách kolísaly na začátku osmdesátých let kolem 70 mg/l, s maximy přes 100 mg/l.

Tabulka 5. koncentrace dusičnanů z jímacích zárezů ve Stárkově

rok	n	NO <sub>3</sub> [mg/l]	
		průměr	s
1979-1981	11	72.1	20.9
1982-1984	11	57.9	14.5
1985-1986	5	57.0	
1990	2	46.9	

n-počet měření, s-směrodatná odchylka

Přestože zbylé vrty z tabulky 3 nenaznačují závažnější znečištění dusičnanů, lze téměř u všech identifikovat podobné trendy v dlouhodobém vývoji jako u vrtů VS-10 a NVS-10 a to bez ohledu na typ jímaného kolektoru - mírný nárůst v roce 1995, pokles na minimální hodnoty v roce 1998 a následný nárůst koncentrací, který mnohde představuje nejvyšší dlouhodobé hodnoty.

### 5.3. Možné zdroje kontaminace podzemních vod

#### Zemědělská činnost

Jedním z hlavních zdrojů znečištění je zemědělská rostlinná výroba. Vyšší obsahy dusičnanů ve vodách jižní části polické pánve odrážejí poměrně intenzivní zemědělské využívání této oblasti. Přitom rozhodující je používání průmyslových hnojiv. Využívání organických hnojiv jako hnoje či kejdy sice může způsobit znečištění podzemní vody, nikoliv však dusičnanové v tak velké míře jako například ve vodě z vrtů VS-10 a NVS-10. Dusík se v organických hnojivech vyskytuje pouze v amoniakální formě a je tak pro rostliny snadněji využitelný. Oxidace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iontů na dusičnany navíc probíhá pouze za přítomnosti kyslíku a často je ještě zapotřebí nitrifikačních bakterií.

Od roku 1989 byl v celé České republice jasně patrný pokles používání minerálních hnojiv. Příčinou jsou jednak stupňující se ekologické požadavky, jednak vysoká cena.

Množství živin přepočtené na hektar zemědělské půdy v uplynulých letech v rámci celé České republiky znázorňuje tabulka 6.

Tabulka 6. Množství použitého průmyslového hnojiva „NPK“ v celé ČR přepočtené na hektar zemědělské půdy a čisté živiny. Upraveno podle Krebs 1994 a Mze: Zelené zprávy 1997-2004.

rok	N [kg/ha]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg/ha]	K <sub>2</sub> O [kg/ha]	celkem [kg/ha]
1986	99,4	77,7	77,4	254,5
1987	87,0	66,2	71,7	224,4
1988	97,1	69,2	67,2	233,5
1989	103,1	67,1	59,7	230
1990	86,3	52,5	47,2	186
1991	50,0	8	7	65
1992	50,0	8	7	65
1994	57,6	10,3	13,0	80,9
1995	55,6	14,6	12,8	83,0
1996	61,3	11,8	8,0	81,1
1997	55,1	11,7	10,1	76,9
1998	53,3	12,6	7,3	73,2
1999	51,1	8,6	5,9	65,6
2000	58,9	10,8	6,2	75,9
2001	72,6	12,3	7,3	92,2
2002	72,3	12,2	7,7	92,2
2003	60,3	11,7	7,3	79,6
2004	75,8	13,7	9,9	99,4
2005	73,2	11,7	7,7	92,6

Pozorovaný pokles koncentrací dusičnanů až do konce devadesátých let by pak mohl mít zřejmě původ v podstatně nižším používání dusíkatých hnojiv oproti osmdesátým létům.

Na druhou stranu se vlivem různých ekologických opatření snížilo množství používaných hnojiv natolik, že je z půdy odčerpáváno rostlinami více živin, než kolik jich je ve formě hnojiv dodáno zpět (Mze, Zelená zpráva 1998). Snaha o nápravu je vidět na mírném nárůstu hmotnosti používaných hnojiv od roku 2000. Do jaké míry tyto

údaje odrážejí hospodaření na území polické pánve, nelze na základě dosud získaných informací říci (o zemědělské výrobě v oblasti Plachet viz další odstavec). Objasnění nárůstu koncentrací dusičnanů po roce 1999 v podzemních vodách PKP by pak zřejmě vyžadovalo podrobnější zhodnocení zemědělského hospodaření.

Oblastí v PKP, kde je dobře patrný vliv zemědělské činnosti na jakost podzemních vod, je nepochybně území Plachet. To je, jak již bylo uvedeno, situováno v depresi založené na polickém zlomovém pásmu. Vrty VS-10 a NVS-10 se přitom nalézají v její nejnižše položené části. Tato oblast - okolí Police nad Metují - patří k jedné z nejvíce zemědělsky využívaných. Díky ochotě pana Ing. Šrámka, předsedy Družstva vlastníků Police nad Metují, které hospodaří na části pozemků bývalého JZD Hvězda, se mi podařilo získat základní informace o stavu využívání zemědělské půdy v okolí Plachet.

Co se týče hospodaření tohoto subjektu, lze obecně říci, že zde existují tendenze ke stálému snižování používání minerálních hnojiv. Zatímco v roce 2004 bylo na všechnu ornou půdu obhospodařovanou Družstvem vlastníků použito 50 000 kg čistého N ve formě ledku, v roce 2005 to bylo 26 000 kg N a v letošním roce již pouze 15 000 kg čistého dusíku. Podle Ing. Šrámka to představuje zhruba 80-110 kg N na hektar orné půdy v závislosti na druhu plodiny (stav do roku 2004). Vesměs tak existuje snaha zvyšovat podíl organických hnojiv na celkovém množství hnojiva.

Jelikož tabulka 6 udává množství dusíku přepočtené na veškerou zemědělskou půdu včetně pastvin, dají se tyto hodnoty zřejmě více méně srovnat s hodnotami 80-110 kg dusíku na hektar orné půdy udávanými p. Šrámkem.

Ačkoliv jsou kolem vrtů VS-10 a NVS-10 stanovena pásma hygienické ochrany vodního zdroje (PHO 1, PHO 2A), je toto území díky nevhodné pozici v nejnižší části deprese vázané na systém polického zlomu vystaveno přímým splachům z okolních zemědělsky obdělávaných svahů. Celkem je to více než 200 ha orné půdy a více než 40 ha pastvin.

Přes přítomnost poměrně mocného izolátoru C/D v nadloží znečištěného kolektoru C by bylo možné zejména v důsledku pravděpodobného silného tektonického porušení místních hornin považovat splachy z okolních polí za jeden z možných zdrojů znečištění podzemních vod dusičnanů v této oblasti. Této myšlence však odporeje

přítomnost spraší v nadloží izolátoru C/D a napjatá hladina zvodně. Proto Kněžek (2006, ústní sdělení) předpokládá, že se dusičnanové ionty dostávají do podzemních vod na svazích severovýchodně od Police nad Metují, kde jsou horniny izolátoru C/D taktéž silně tektonicky porušeny a nalézají se v blízkosti povrchu.

Ačkoliv popsané hospodaření nevypovídá o způsobu využívání ostatních pozemků, na nichž podnikají soukromníci, dá se považovat za model, který mu v podstatě odpovídá, už jen proto, že je v současnosti „přehnojování“ z ekonomických důvodů prakticky nemožné.

Jiným druhem podstatně většího nebezpečí by pak mohly být prostředky na hubení hmyzu a plísni, pokud jsou používány, což nelze vzhledem k zemědělské činnosti v polické pánvi vyloučit.

#### **Skládky odpadů** (podle Hrkal in Krásný et al. 1995)

V prostoru celé pánve bylo v roce 1995 evidováno 79 skládek odpadů s objemem větším než  $10\text{ m}^3$ . Z toho jen dvě byly řízené, s objemem nad  $10\,000\text{ m}^3$ . Kromě těchto dvou se jedná prakticky o divoké skládky bez těsnění a monitoringu. Vesměs jde ale o deponie tuhého komunálního odpadu nebo hlušiny. Pouze 14 skládek obsahuje odpad z kategorie zvláštní či rizikový. 11 skládek bylo ohodnoceno jako vysoko rizikové. Rizikovost ale není většinou dána typem skladovaného odpadu, nýbrž naprosto nevhodným umístěním skládky a technickým zabezpečením na velmi nízké úrovni.

#### **Splaškové odpadní vody** (podle Krebs 1994)

Stav kanalizační sítě v jižní části polické pánve je již několik let ne zcela uspokojivý a současný stav odpovídá stavu z roku 1994. Napojeny na mechanicko-biologickou čistírnu odpadních vod v Petrovicích jsou pouze Bukovice a Police nad Metují.

Machov a přilehlé obce (Nízká Srbská, Machovská Lhota, Bělý a část Bezděkova nad Metují) mají veřejnou kanalizaci, přičemž splaškové vody z přibližně 85% ústí do řeky Židovky.

V České Metuji má většina domácností žumpu či septik. Přepadová voda je odsud svedena do Metuje, tuhý odpad ze septiků je svážen do ČOV v Petrovicích.

Stejná situace je i ve Žďáru nad Metují, kde obecní kanalizace bez předčištění ústí do potoka Dunajka, který se dále vlévá do Metuje.

### **Ochranná pásma vodních zdrojů**

Kromě ochranných pásem 1. stupně u jednotlivých zdrojů bylo okresním úřadem Náchod v roce 1991 pro celé území PKP vyhlášeno ochranné pásmo 2. stupně. Podle stále platných rozhodnutí jsou u řady zdrojů dále vyčleněna ochranná pásma 2. stupně vnitřní.

## **6. Závěr**

Práce nastiňuje hydrogeologické poměry polické křídové pánve a jakost zdejších podzemních vod. PKP je co do množství tvorby přírodních zdrojů podzemních vod velice nadějně území a je také intenzivně využíváno pro získávání kvalitní pitné vody, ačkoliv se poslední roky v důsledku poklesu průmyslu v oblasti i úspor domácností čerpané množství snižuje.

Stejně jako v ostatních zemědělsky využívaných oblastech jsou i zde podzemní vody ovlivněny používáním průmyslových hnojiv, což se odráží zejména ve znečištění těchto vod dusičnanovými ionty. Obecně lze říci, že se po roce 1989, kdy bylo používání hnojiv upraveno patřičnými zákony, množství živin uměle dopravovaných do půdy výrazně snížilo.

Do roku 1999 je v podzemních vodách z většiny jímacích objektů PKP patrný pokles koncentrací  $\text{NO}_3^-$ . V posledních letech jsou však obsahy dusičnanů v podzemních vodách vyšší a vykazují mnohem menší odchylky, než jak tomu bylo v devadesátých letech. Konkrétní příčiny tohoto nárůstu jsou zatím nejasné a lze o nich pouze spekulovat.

Hodnoty koncentrací dusičnanů z nejvíce postiženého území – Plachet - se poslední roky pohybují kolem 40 mg/l u vrchu VS-10 a 50mg/l u vrchu NVS-10 a nevykazují výraznější změny. Vzhledem ke stále se snižujícímu množství používaných minerálních hnojiv aplikovaných v přímém okolí Plachet je možné v následujících několika letech očekávat pokles koncentrací  $\text{NO}_3^-$  iontů v podzemních vodách této oblasti. V závislosti na velikosti tohoto poklesu by pak bylo možné zodpovědět otázku, do jaké míry jsou podzemní vody této oblasti ovlivněny přímými splachy z okolních polí a jak velkou roli hrají další zdroje znečištění. Jasně odpovědět na tuto otázku a popřípadě i identifikovat oblast, odkud do podzemních vod vstupují dusičnanové ionty by měly plánované nové průzkumné vrty v okolí Plachet, které jsou již delší dobu zamýšleny, avšak prozatím nebyly uskutečněny.

## **7. Použitá literatura**

- Hynie O. (1949): Vodárensky využitelné vydatné nádrže podzemních vod v Čechách. – Geotechnika, 8. Praha
- Klein V. (1959): Stratigrafické dělení křídového útvaru ve vnitrosudetské depresi. – Věst. Ústř. Úst. geol., 34, 5, 358-362. Praha
- Kněžek V. et al. (1975): Polická pánev. Závěrečná zpráva. -Vodní zdroje. Praha
- Kněžek V. et al.(1982a): Závěrečná zpráva oblasti Police-Kudowa (OPKu). -Vodní zdroje. Praha
- Kněžek V. et al.(1982b): Závěrečná zpráva oblasti Kržesov-Adršpach (OKrA). -Vodní zdroje. Praha
- Kněžek V.-Krásný J. (1995): Přítoková zkouška v prostoru Teplic nad Metují. - Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha; Vodní zdroje GLS Praha, a.s.
- Koroš I. et al. (1999): CHKO Broumovsko, geologická studie, úvodní etapa. –MS, Geofond. Praha
- Krásný J. et al. (1993): Optimalizace využívání a ochrany podzemních vod s ohledem na ostatní složky životního prostředí: Polická pánev, zpráva za úvodní etapu úkolu. –Přírodovědecká fakulta University Karlovy. Praha
- Krásný J. et al. (1995): Optimalizace využívání a ochrany podzemních vod s ohledem na ostatní složky životního prostředí: Polická pánev, zpráva za 2. etapu. - Přírodovědecká fakulta University Karlovy. Praha
- Krásný J. et al. (1997): Návrh změn pásem hygienické ochrany podzemních vodních zdrojů polické křídové pánve, pilotní projekt. –Přírodovědecká fakulta University Karlovy. Praha
- Krásný J. et al. (2002): Hydrogeologie polické křídové pánve: optimalizace využívání a ochrany podzemních vod. –Sborník geologických věd, 22. ČGS. Praha
- Krebs T. (1994): Možné zdroje kontaminace podzemních vod v jižní části pánve. –MS Diplomová práce. Přf UK. Praha
- Šantrůček J. (1981): Polická pánev-PLR, dílčí zpráva. –MS, Vodní zdroje. Praha
- Tásler R. et al. (1979): Geologie české části vnitrosudetské pánve. –Ústřední ústav geologický. Praha
- Vejlupek M. (1984): Vysvětlující text k vrstevnicové mapě báze spodního turonu v území bilančního celku polická pánev. –Ústřední ústav geologický. Praha

Další informační zdroje:

- Správa CHKO Broumovsko: Plán péče o chráněnou krajinnou oblast Broumovsko na období 2003-2012, 2002, poslední revize 2006-08-19 [cit. 2006-08-19].  
[http://www.broumovsko.schko.cz/02\\_sprava\\_chko/07\\_plan\\_pece/Plan\\_pece\\_o\\_CHKO\\_Broumovsko.pdf](http://www.broumovsko.schko.cz/02_sprava_chko/07_plan_pece/Plan_pece_o_CHKO_Broumovsko.pdf)
- Ministerstvo zemědělství ČR: Zelené zprávy 1997-2004, poslední revize 2006-08-19 [cit. 2006-08-19]. <[www.mze.cz](http://www.mze.cz)>

## **Přílohy**

Příloha 1. Charakteristika vybraných jímacích objektů

objekt	rok vyhloubení	jímané kolektory	převažující podíl na celkovém složení	dlouhodobý průměr čerpaného množství za období uvedené v závorce [l/s]		
VS-17 Hlavňov	1974	C, A, T		<b>1,82 (1983-1996)</b>		
VS-10 Plachty	1963	C, A2, A1, T	C	<b>27,0</b> (1983-1989)	<b>10,1</b> (1993-1996)	
NVS-10 Plachty	1973	C	C			
V-15 Petrovičky	1958	A2, A1 (PC)	A2, A1	<b>57,6 (1983-1996)</b>		
NV-15 Petrovičky	1973	A2	A2			
NV-15a Petrovičky	1977	A2	A2			
NV-12 Nízká Srbská	1973	A2, A1 (Cv)	A2, A1	<b>17,7 (1990-1996)</b>		
Machovská studna		A1, A2, C	A1, A2, C	<b>41,4 (1983-1996)</b>		

Upraveno podle Krásný et al. 1997

Vrt VS-17 Hlavňov je v současné době trvale čerpán zhruba po 12 hodin denně.

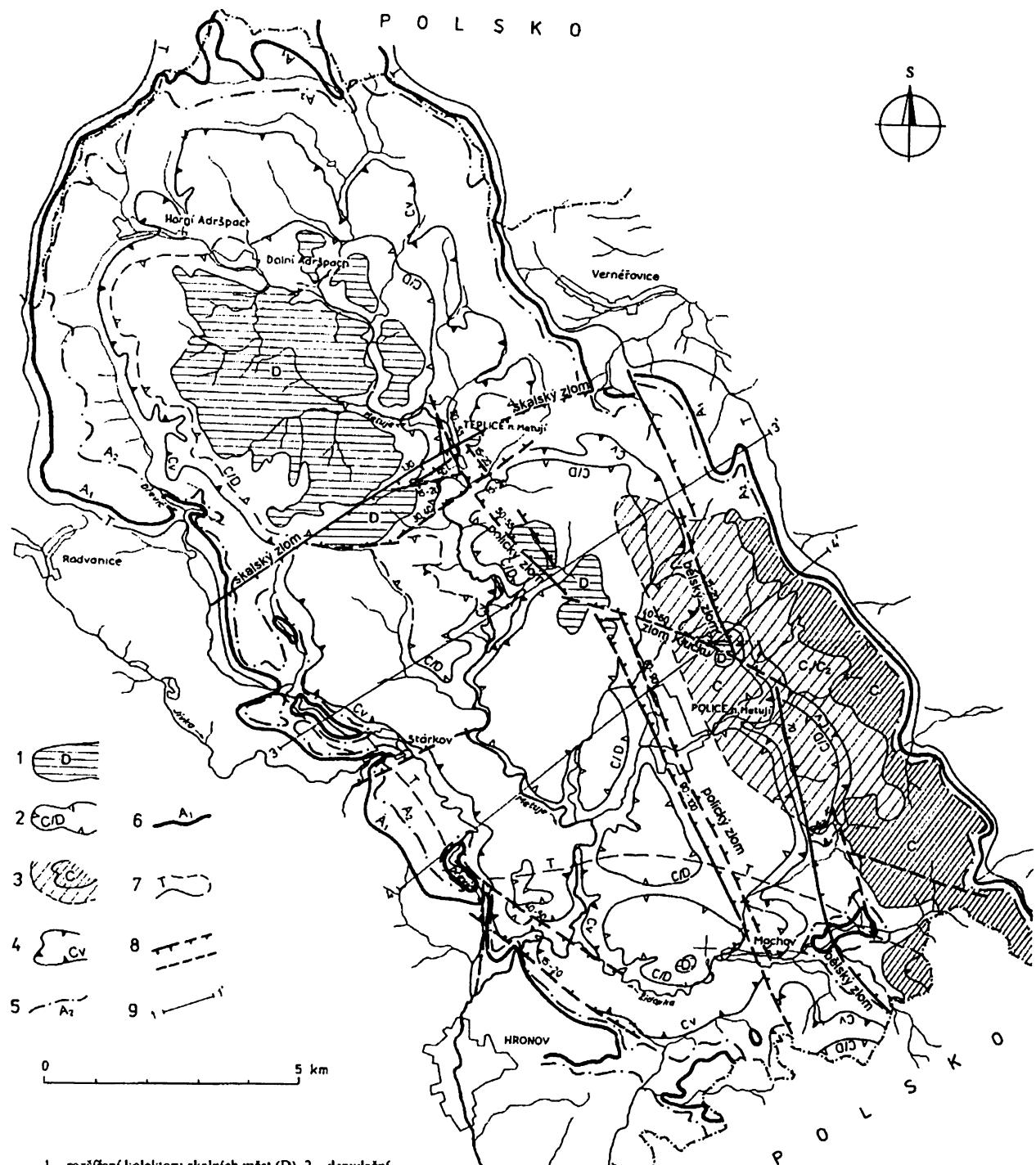
Vrt NVS-10 je čerpán 24 hodin denně, vrt NVS-10 slouží pouze jako doplňkový.

Vrty V-15, NV-15 a NV-15a jsou čerpány trvale, 18-22 hodin denně.

Vrt VS-22 a studna v Machově jsou čerpány trvale, několik hodin denně.

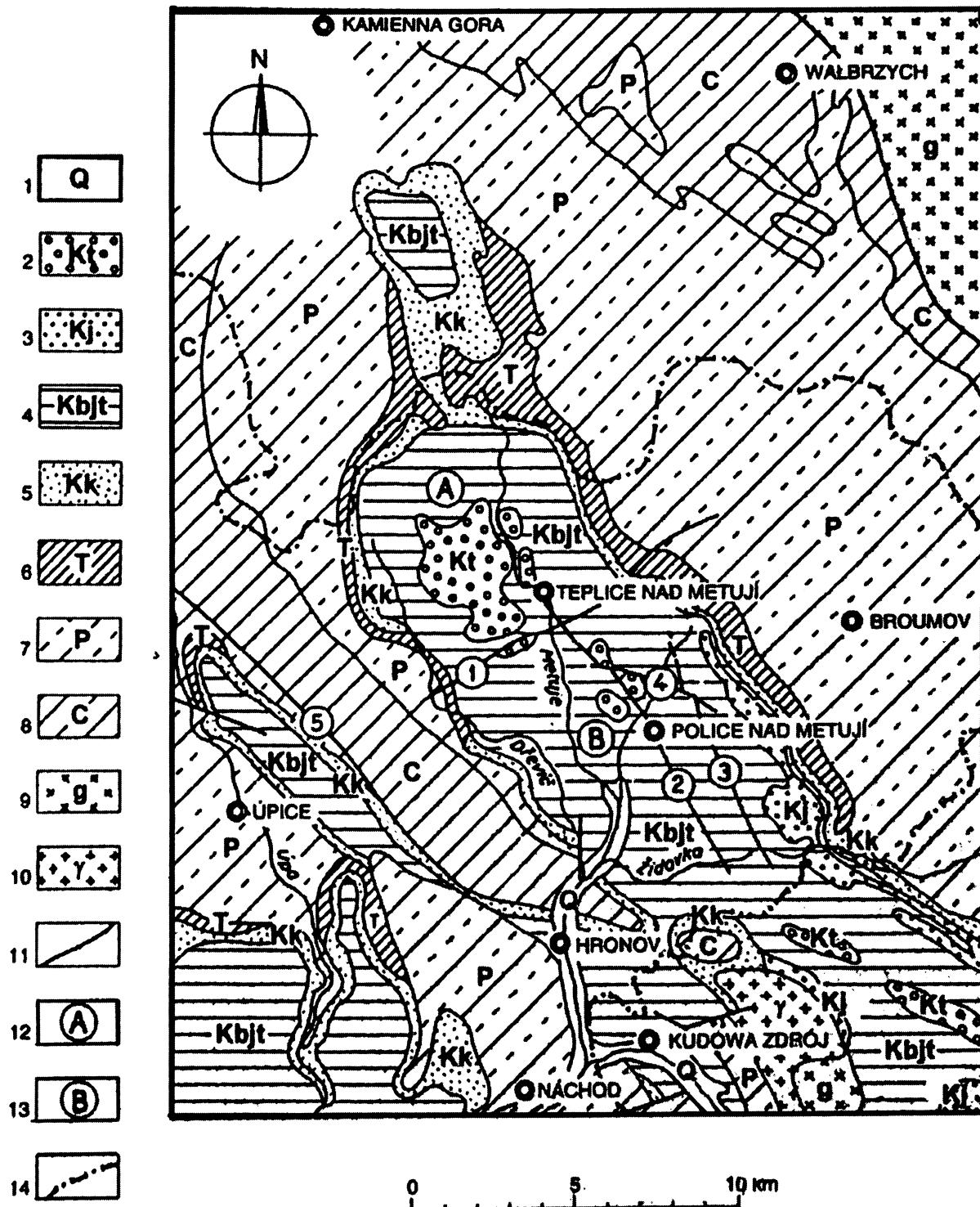
Vrt NV-12 funguje jako záložní zdroj.

Příloha 2. Rozšíření hydrogeologických těles. Převzato z Krásný et al. 1995



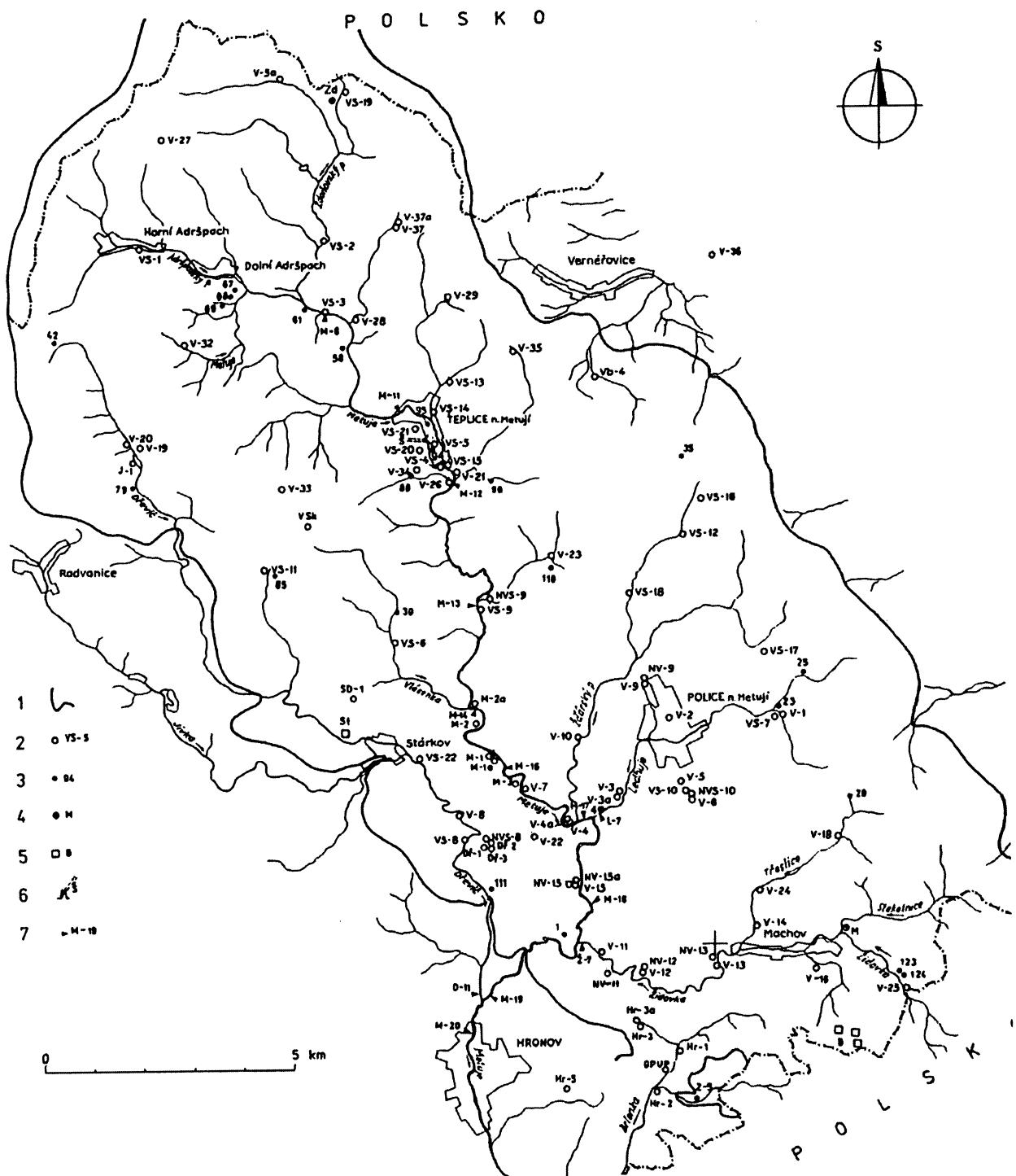
1 – rozšíření kolektoru skalních měst (D). 2 – denudační okraj izolačního komplexu C/D. 3 – rozšíření proximální facie kolektoru C (hustá šrafa – výchozové partie, řídka šrafa – části většinou překryté izolátorem). 4 – denudační okraj „karbonátového“ souvrství Cv. 5 – denudační okraj „rohovcového“ souvrství (kolektor A<sub>1</sub>). 6 – denudační okraj krydy polické pánve (základ kolektoru A<sub>1</sub>). 7 – denudační okraj triasu (T), žárkované předpokládaná j. hranice rozšíření triasu v podloží krydy v j. části polické pánve. 8 – hlavní zlomy s uvedenou výškou skoku, 9 – linie geologických regionálních fréz

Příloha 3. Geologické a hydrogeologické schéma polické pánve a její pozice vůči okolí  
 (převzato z Krásný et al. 2002)



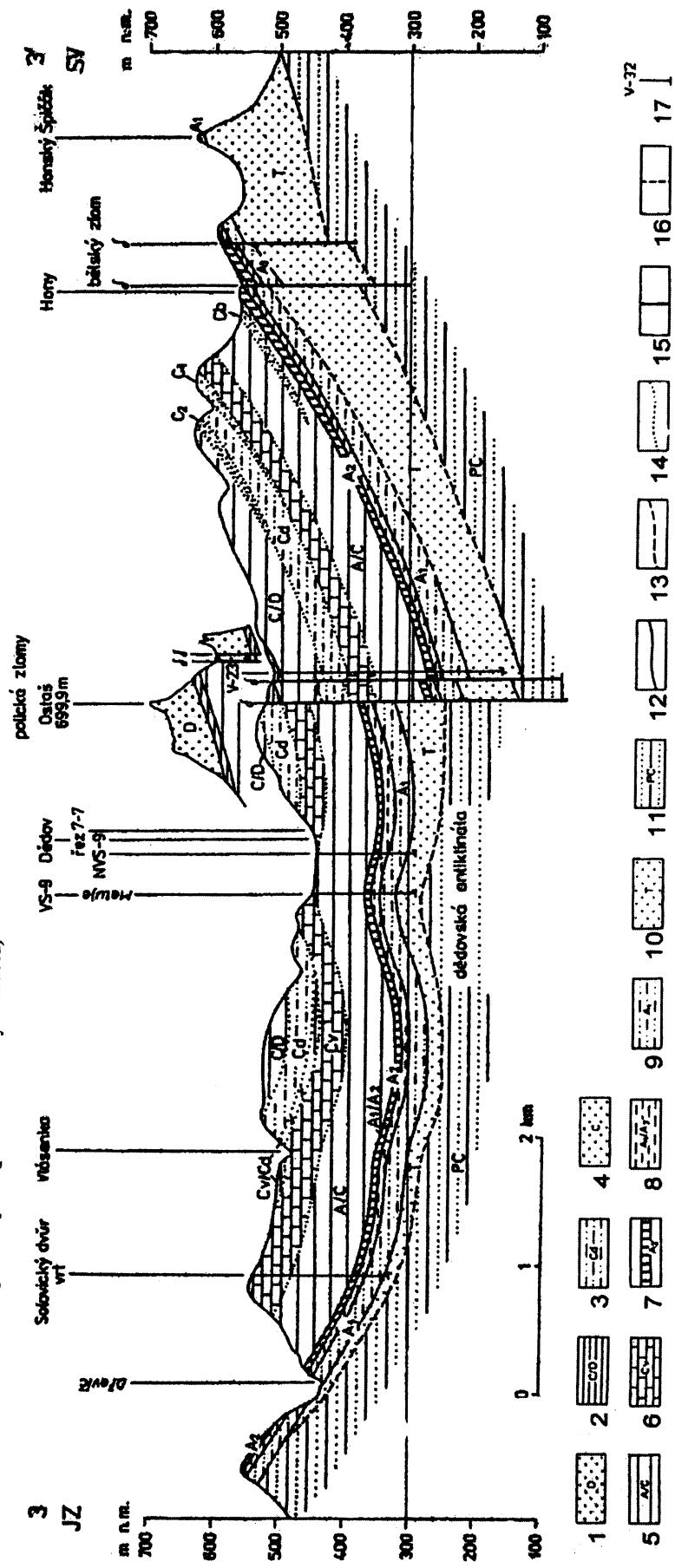
1 - kvartérní fluviální sedimenty, 2 - svrchní část teplického souvrství v pískovcovém vývoji (Kt - coniac: kolektor D skalních měst), 3 - jizerské souvrství v převážně pískovcovém vývoji Broumovských stěn (Kj - střední turon: kolektor C), 4 - bělohorské, jizerské a spodní část teplického souvrství ve slínovcovém vývoji (Kbjt - spodní až svrchní turon: izolátor A/C, C/D), 5 - korycanské vrstvy v pískovcovém, prachovcovém nebo rohovcovém vývoji (Kk - cenoman: kolektory A1, A2 + izolátor A1/A2), 6 - bohdašinské souvrství v pískovcovém vývoji (trias T), 7 - perm P, 8 - karbon C, 9 - metamorfity g, 10 - granitoidy γ, 11 - významné tektonické poruchy: 1 - skalní zlom, 2 - polický zlom, 3 - bělský zlom, 4 - zlom Klucku, 5 - hronovsko-pořešská porucha, 12 - severní zvodněný systém pánve (A), 13 - jižní zvodněný systém (B), 14 - státní hranice

#### Příloha 4. Situační mapa jímacích objektů (převzato z Krásný et al. 2002)



1 – okraj polické pánve (křídla + trias), 2 – hydrogeologický vrt, 3 – pramen (podle číslování in KNEZEK et al. 1975), 4 – širokoprofilová studna (M – Machov, Zd – Žďárov), 5 – jímací zátesy (B – borský vodovod, St – Starýkov), 6 – štolu v Teplicích nad Metují, 7 – měrné stanice na povrchových tocích

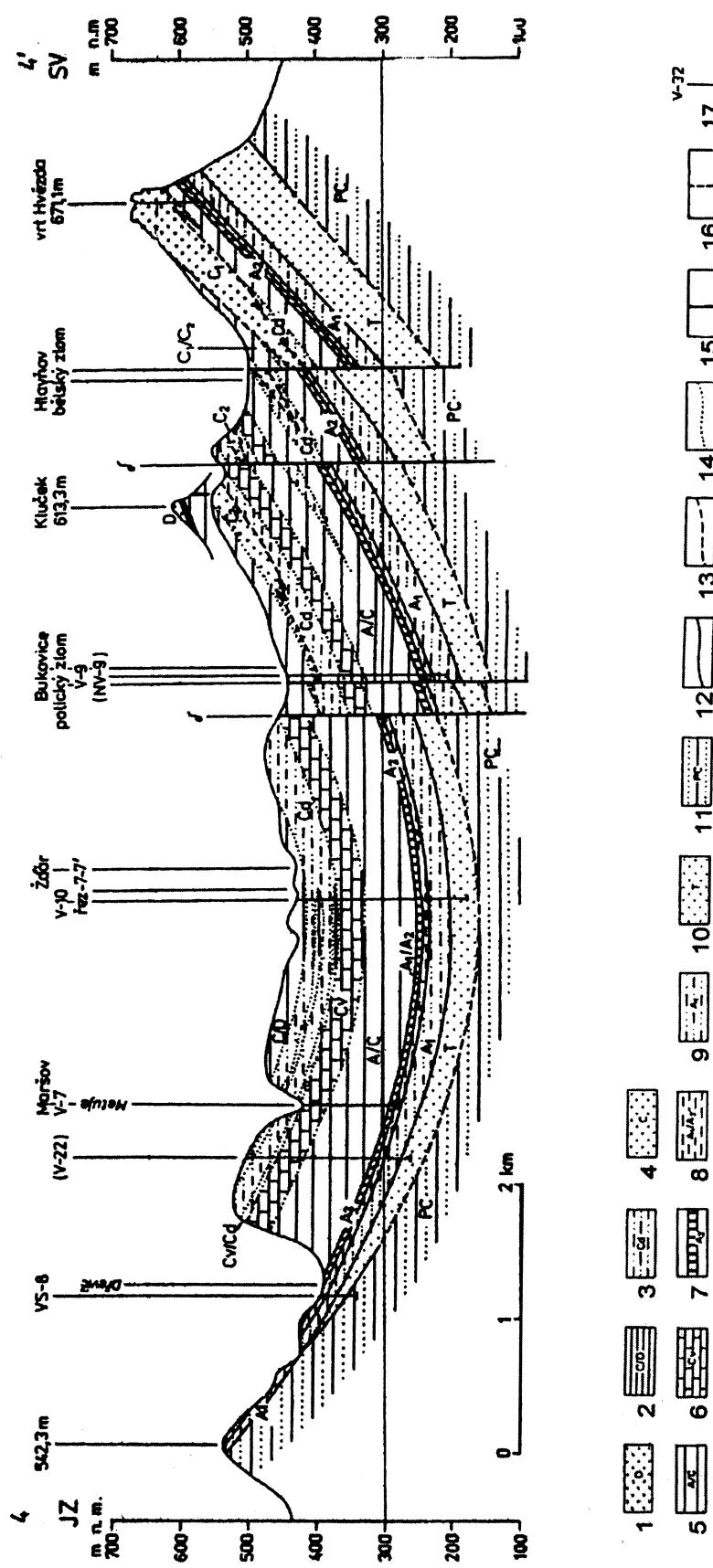
Příloha 5a. Příčný řez polickou páneví (převzato z Krásný et al. 2002)



Hydrogeologická tělesa jsou označena indexy - jejich význam je uveden v textu. Linie řezu v příloze 2.

1 - svrchní část teplického souvrství: středně až hrubě zrnité křemenné pískovce (skalní města Adršpach, Teplice, Hejda, Ostaš ad. - hydrogeologické těleso D); 2-6 skupina bělohorského a jizerského souvrství: 2 - měkké vápnitě jílovce až slínovce u Ostaše (těleso C/D), 3 - vápnito-jilovité, jemnozrnné, méně i středně zrnité pískovce s příměsi živců, mísit polohy pevných slínovců-distální facie pískovců Broumovských sien (Cd), 4 - středně až hrubě zrnité pískovce živcové (Broumovské stěny-C, C1, C2), 5 - pevné písčitoprachovité, zčasti spongilitické slínovce (tělesa A/C, C/D, Cv/Cd, Cl/C2), 6 - pevné, prachovitopisčité slínovce s vyšším obsahy karbonátů, většinou s konkrecionálními polohami a čočkami vápenců (Cv); 7-9 korycanské vrstvy: 7 - prachovitopisčité jílovité spongility s polohami rohovců ("rohovcové souvrství" A1/A2), 8 - vápnitojilovité písčité prachovce ("rohovcové souvrství" A2), 10 - písčitoprachovité slínovce s výraznou živcovitostí a ruderálními polohami (těleso A1/A2), 9 - jílovité či vápnitojilovité, převážně nestejnozrnné, bioturbované pískovce, podřízené polohy křemenných, středně zrnitých silicifikovaných pískovců (psamtické souvrství A1); 10 - bohdalsinské souvrství-durynk, popř. starší permická souvrství: dolomitické pískovce až arkózy, rudohnědé pískovce s polohami arkozových pískovců, psefity a aleuropelity (PC); 12-14 hranice litologických jednotek: 12 - ovřené, 13 - předpolkládané, 14 - neostré (pozvolné litofaciální přechody); 15-16 průběh zlomů; 15 - ovřený, 16 - předpolkládaný, 17 - vrt v linii řezu (průměr vrtu s číslem v závorce)

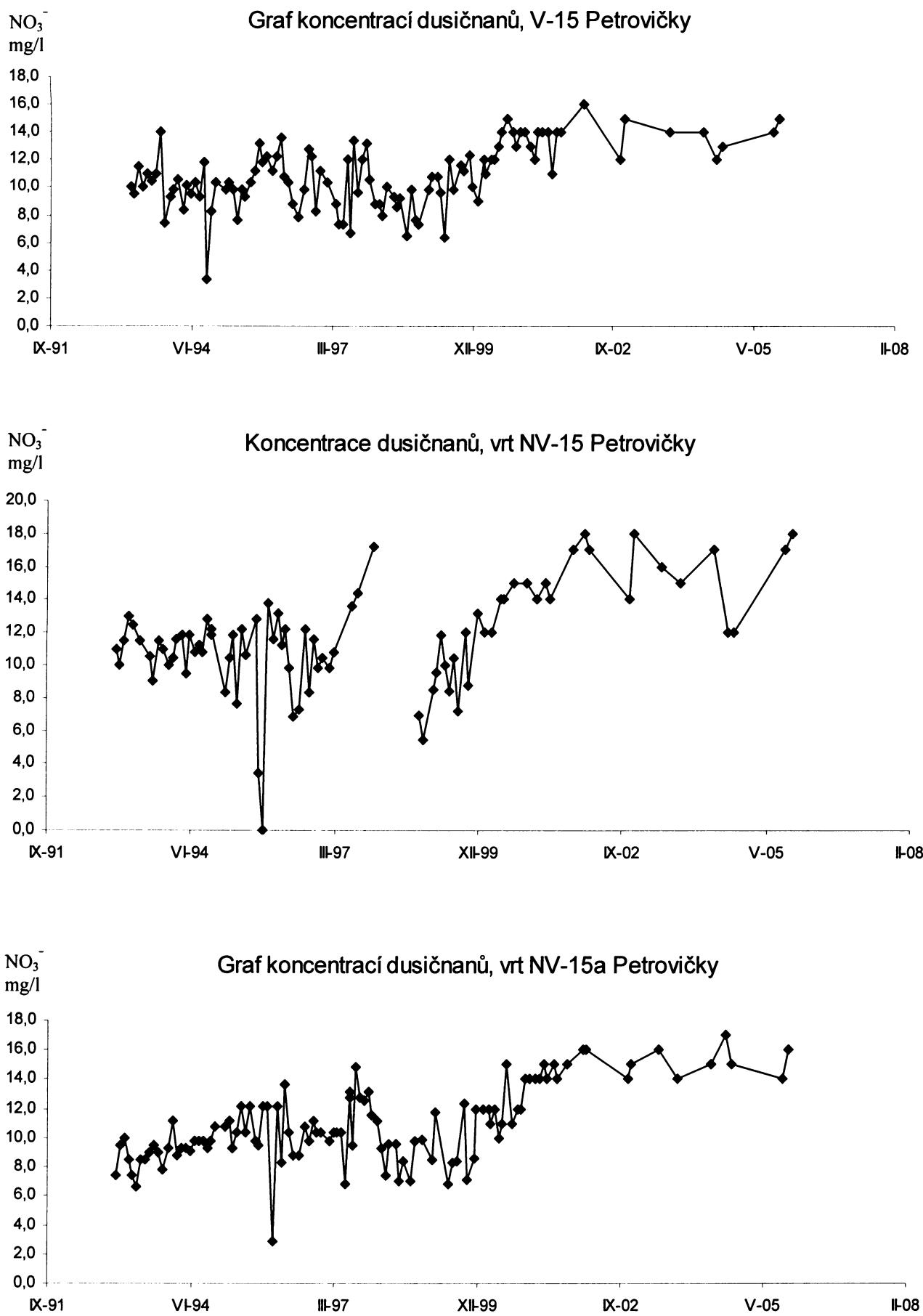
Příloha 5b. Příčný řez polickou pánvi (převzato z Krásný et al. 2002)

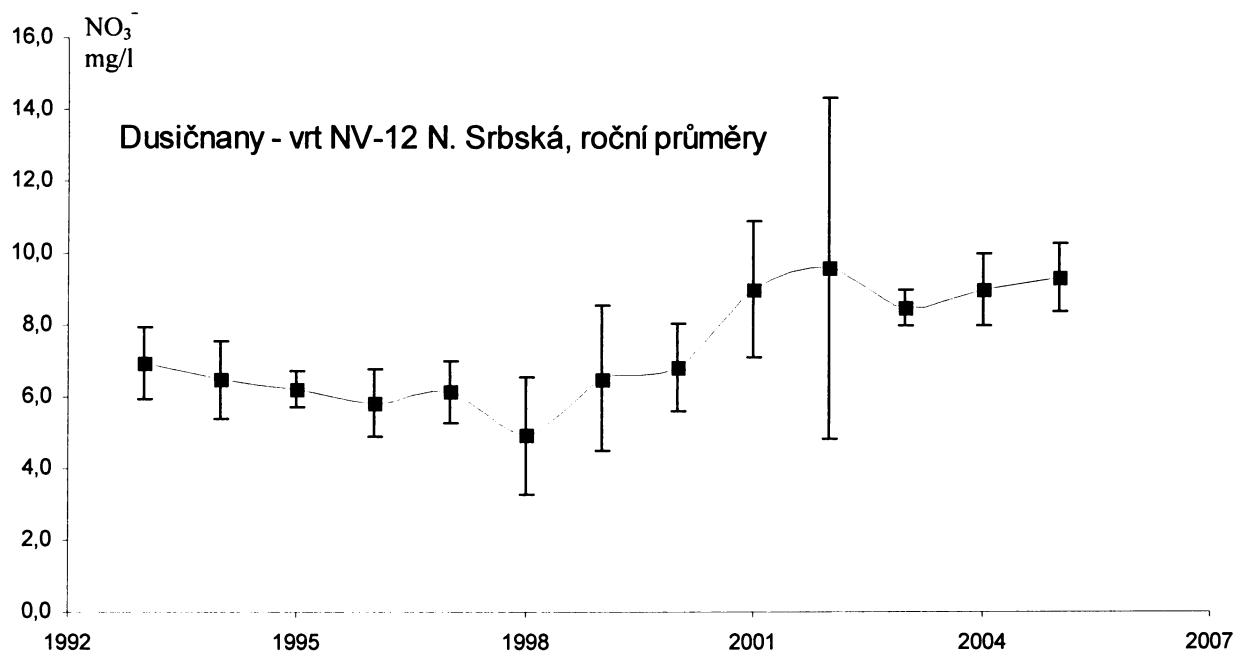
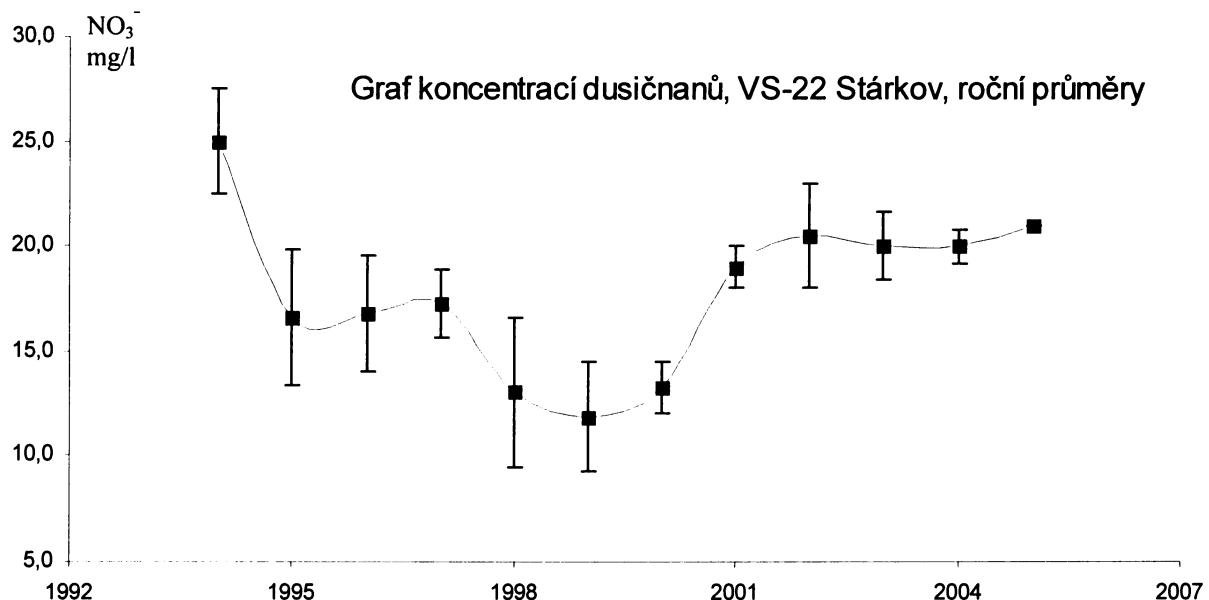
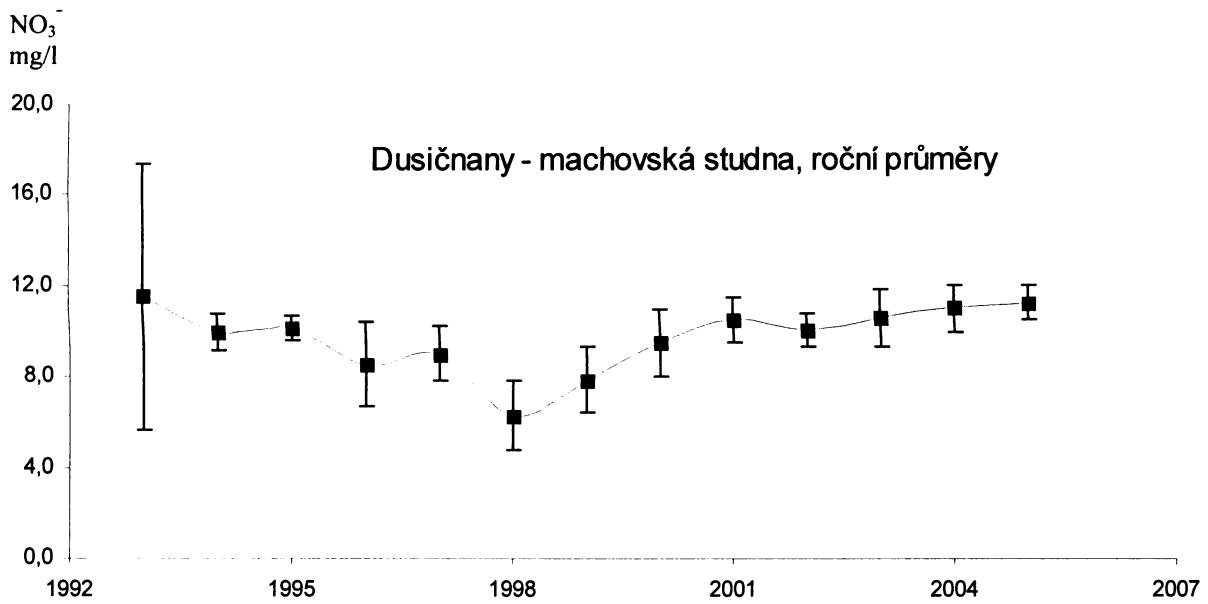


- Hydrogeologická tělesa jsou označena indexy - jejich význam je uveden v textu. Linie řezu v příloze 2.

1 - svrchní část teplického souvrství: středně až hrubě zrnitý křemenné pískovce (skalní města Adršpach, Teplice, Hejda, Ostaš ad. - hydrogeologické těleso D); 2-6 - skupinka bělohoršského a jizerského souvrství a spodní části teplického souvrství: 2 - měkké vápnité jílovce až slínovce u Ostaše (těleso C/D), 3 - vápnito-jílovité, jemnozrnné, méně i středně zrnitné pískovce s příměsi živců, místy polohy pevných slínovců-distální facie pískovců Broumovských stěn (Cd), 4 - středně až hrubě zrnitě pískovce živcové (Broumovské stěny-C, C1, C2), 5 - pevné písčitopraťovité, zčasti spomílkovité slínovce (tělesa A/C, C/D, Cv/Cd, C1/C2), 6 - pevné, prachovitopísčité slínovce s vyšší obsahy karbonátů, většinou s konkrecionálními polohami a čočkami vápenců (Cv); 7 - korytašské vrstvy: 7 - prachovitopísčité slínovité písčitopísčité slínovce s vyšší obsahy karbonátů, většinou s konkrecionálními polohami a čočkami vápenců ("rohovcové souvrství" A2), 8 - vápnitojílovité písčité prachovce ("prachovcové souvrství" A1/A2), 9 - jílovité či vápnitojílovité, písčitopísčité slínovce s polohami rohotovců ("rohovcové souvrství" A2), 10 - výjimečně něštějnozrnné, bioturbované pískovce, podřízené polohy křemenných, středně zrnitých silicifikovaných pískovců (psamitické souvrství A1); 10 - podhánské souvrství: dolomitické pískovce až arkózy, rudohnědé pískovce s polohami arkózových pískovců, psamity a aleuropely (PC); 12-14 hranice litologických jednotek: 12 - ovčené, 13 - předpolkládané, 14 - neostre (pozvolné liofaciální přechody); 15-16 průběh zlomů: 15 - ovčený, 16 - předpolkládaný, 17 - vrt v limu řezu (průměr vrtu s číslem v závorce)

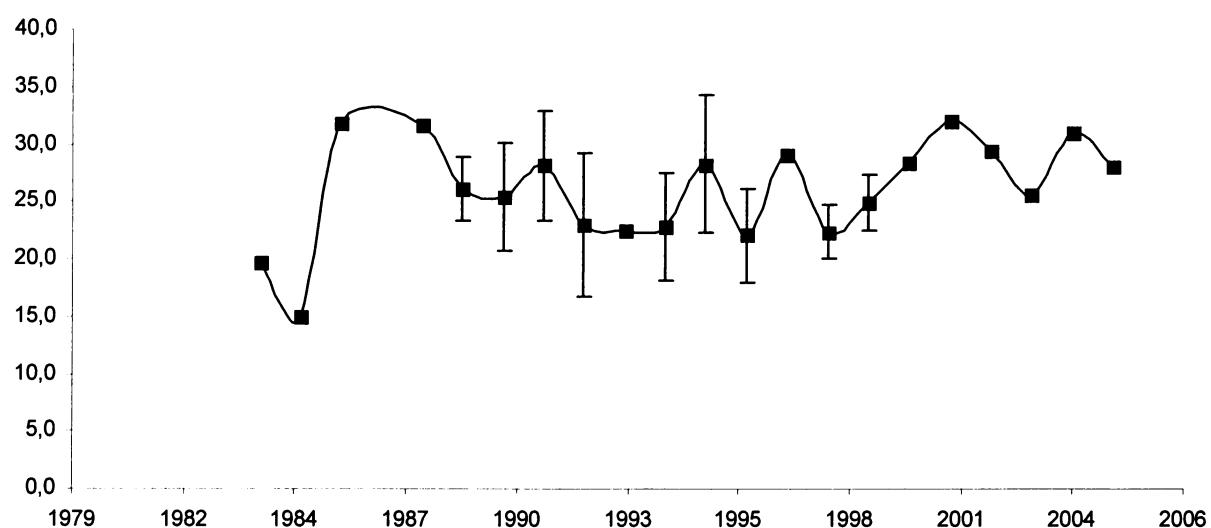
Příloha 6. Grafy koncentrací dusičnanů z vybraných jímacích objektů





$\text{NO}_3$   
mg/l

Graf koncentrací dusičnanů, VS-17 Hlavňov, roční průměry



Graf koncentrací dusičnanů, VS-17 Hlavňov

