

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA**

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Jakost podzemní vody v polické pánvi

Groundwater Quality in the Police Basin

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jiří Vaněk

Vedoucí: RNDr. Jaromír Šantrůček

Konzultant: Ing. Jan Uhlík, PhD. (ProGeo, s.r.o., Roztoky u Prahy)

Praha, září 2008

Abstrakt:

Práce se zabývá jakostí podzemních vod polické křídové pánve, která je významnou hydrogeologickou strukturou a vodohospodářsky intenzívně využívanou oblastí. Cílem je zhodnotit kvalitu podzemních vod zejména s ohledem na jejich znečištění dusičnanovými ionty, jejichž zdrojem je nadměrné či nesprávné užívání umělých hnojiv. Práce se zaměřuje na vodárensky využívané jímací území Plachty nacházející se v blízkosti města police nad Metují, které je dusičnanovým znečištěním nejvíce zasaženo.

V práci je stručně popsána dosavadní prozkoumanost pánve a geologické a hydrogeologické poměry. Výstupem zhodnocení kvality jímané podzemní vody jsou grafy časového vývoje koncentrací hlavních chemických složek podzemní vody z různých částí pánve. Jejich následné srovnání s jakostí podzemní vody v jímacím území Plachty umožňuje vyslovit závěry a faktorech, které mají hlavní vliv na jakost jímané vody a její časové proměnlivosti.

Druhou část práce tvoří matematický model proudění podzemní vody doplněný modelem transportu dusičnanů v podzemní vodě v okolí jímacího území Plachty. Výstupem modelu je identifikace možného zdroje kontaminace a předpověď budoucího vývoje obsahu dusičnanů v jímacím území.

Abstract:

This work deals with groundwater quality of the Police Cretaceous Basin which is important hydrogeologic structure highly exploited by water-supply engineering. The aim of the thesis is to evaluate groundwater quality especially in the light of its contamination by nitrates. High concentrations of nitrates in resident groundwater have origin in excessive and also untimely usage of mineral fertilizers. The work focuses on important water-withdrawal area „Plachty“ located near by Police city in the south part of the basin.

Previous geological exploration and geologic and hydrogeologic structure of the basin were described. Time analyses of changes in groundwater quality within broad area of the basin were processed in many figures. Resulting correlations with groundwater quality data from “Plachty” water-withdrawal area allows draw the conclusion about main factors participant in the quality of drawn water and its changes.

The second part of the thesis is mathematical model of groundwater flow supplemented by model of nitrates transport in groundwater. The main finding of the model is an identification of possible sources of contamination and long-range forecast of supposed future progress of nitrates contamination in the water-withdrawal area “Plachty”.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jaromíra Šantrůčka, s použitím zdrojů, uvedených na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury. Převzaté prameny a data jsem řádně citoval.

OBSAH:

1.	ÚVOD, CÍLE PRÁCE	9
2.	VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	10
2.1.	VYMEZENÍ ÚZEMÍ.....	10
2.2.	GEOMORFOLOGIE.....	11
2.3.	HYDROLOGIE A KLIMATICKÉ POMĚRY	11
3.	GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ	13
3.1.	DOSAVADNÍ STAV POZNÁNÍ	13
3.2.	GEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ.....	16
3.2.1.	<i>Strukturní stavba a tektonika</i>	19
3.3.	HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ.....	20
3.3.1.	<i>Hydrogeologická funkce hornin</i>	20
3.3.2.	<i>Hydrogeologická funkce hlavních zlomů</i>	22
4.	METODIKA PRÁCE	24
5.	STÁVAJÍCÍ VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ PODZEMNÍCH VOD POLICKÉ PÁNVE	25
6.	KVALITA VOD	26
6.1.	ZMĚNY CHEMICKÉHO SLOŽENÍ PODZEMNÍ VODY V ČASE	30
6.2.	KONCENTRACE DUSIČNANŮ V PODZEMNÍ VODĚ POLICKÉ PÁNVE A JEJICH ZMĚNY V ČASE	32
6.3.	JÍMACÍ ÚZEMÍ PLACHTY	36
6.4.	JAKOST PODZEMNÍ VODY V JÍMACÍM ÚZEMÍ PLACHTY.....	39
7.	BILANCE DUSÍKU, MNOŽSTVÍ APLIKOVANÝCH HNOJIV	46
8.	MATEMATICKÝ MODEL PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY	50
8.1.	KONCEPTUÁLNÍ MODEL.....	50
8.2.	NUMERICKÝ MODEL, KALIBRACE, HLAVNÍ OMEZENÍ MODELU	53
8.3.	VÝSLEDKY STACIONÁRNÍHO MODELU	56
9.	MATEMATICKÝ MODEL TRANSPORTU NO₃⁻ V PODZEMNÍ VODĚ	58
9.1.	VARIANTY ŘEŠENÍ TRANSPORTNÍHO MODELU	60
9.2.	VÝSLEDKY TRANSPORTNÍHO MODELU.....	62
10.	DISKUSE VÝSLEDKŮ	64
11.	ZÁVĚRY	67
	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	69

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1/	Lokalizace polické křídové pánve	10
Obr. 2/	Schematická stratigrafická tabulka polické pánve.....	16
Obr. 3/	Průměrné roční odběry podzemní vody v pánvi za období 1990-2007.....	25
Obr. 4/	Graf vodivosti podzemní vody ve vybraných objektech.....	29
Obr. 5/	Graf vývoje koncentrací chloridů v podzemní vodě polické pánve.	29
Obr. 6/	Graf vývoje koncentrací dusičnanů v podzemní vodě polické pánve u vybraných objektů.....	33
Obr. 7/	Graf standardizovaných hodnot koncentrací dusičnanů v podzemní vodě polické pánve.....	35
Obr. 8/	Graf standardizovaných hodnot koncentrací dusičnanů v podzemní vodě, klouzavé průměry.	35
Obr. 9/	Graf průměrných ročních odběrů v jímacím území Plachty	37
Obr. 10/	Graf vývoje koncentrací dusičnanů v jímacím území Plachty	38
Obr. 11/	Graf vývoje koncentrací dusičnanů a síranů ve vrtu NVS-10 Plachty	41
Obr. 12/	Graf vývoje koncentrací dusičnanů a síranů ve vrtu NVS-10 Plachty vyhlazený klouzavým průměrem	41
Obr. 13/	Graf vývoje standardizovaných koncentrací dusičnanů, síranů a chloridů ve vrtu NVS-10 Plachty	42
Obr. 14/	Graf množství aplikovaných draselných hnojiv na území ČR	43
Obr. 15/	Graf množství aplikovaných dusíkatých minerálních hnojiv na území ČR.....	48

SEZNAM TABULEK:

Tabulka číslo 1	Průměrné srážkové úhrny.....	12
Tabulka číslo 2	Vybrané jímací objekty použité pro porovnání jakosti vody jednotlivých kolektorů.....	27
Tabulka číslo. 3	Koncentrace dusičnanů ve vrtu VS-10 ze vzorků odebraných v průběhu vrtání.....	39
Tabulka číslo. 4	Výchozí hodnoty horizontální a vertikální hydraulické vodivosti	53
Tabulka číslo. 5	Porovnání přijatých a výsledných hladin podzemní vody	54
Tabulka číslo. 6	Hodnoty koncentrací dusičnanů ve zdrojích znečištění přijaté do modelu	60

SEZNAM PŘÍLOH:

- Příloha 1: Geologická a hydrogeologická mapka polické pánve**
- Příloha 2: Mapa dokumentačních bodů**
- Příloha 3: Grafy vybraných ukazatelů jakosti podzemní vody**
- Příloha 4: Vymezení modelové oblasti**
- Příloha 5: Báze kolektoru A1+T (3. modelová vrstva)**
- Příloha 6: Mapa kalibračních bodů**
- Příloha 7a: Rozložení hodnot horizontální hydraulické vodivosti přijatých do modelu**
- Příloha 7b: Rozložení hodnot vertikální hydraulické vodivosti přijatých do modelu**
- Příloha 8: Mapa hydroizohyps dle výsledků matematického modelu**
- Příloha 9: Rozložení rychlostí proudění podzemní vody podle matematického modelu**
- Příloha 10: Uvažované zdroje kontaminace pro varianty 1-3 transportního modelu**
- Příloha 11a: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 1**
- Příloha 11b: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 2**
- Příloha 11c: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 3**
- Příloha 11d: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 4**
- Příloha 11e: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 5**
- Příloha 11f: Koncentrace dusičnanů podle výsledků transportního modelu – VARIANTA 6**
- Příloha 12: Tabulka hladin podzemní vody změřených v rámci terénních pochůzek**

Poděkování:

Děkuji všem, díky jejichž pomoci jsem diplomovou práci dovedl ke zdánému konci. V první řadě děkuji svému školiteli RNDr. Jaromíru Šantrůčkovi za cenné připomínky a odborné rady při vedení mé práce. Obrovský dík patří Ing. Janu Uhlíkovi, PhD. z firmy ProGeo, s.r.o. za jeho neúnavnou pomoc a maximální vstřícnost při řešení problémů týkajících se matematického modelu a poskytnutí mapových podkladů. Děkuji RNDr. Vojtěchu Kněžkovi za ochotu a laskavost při zodpovídání odborných otázek souvisejících s hydrogeologií polické pánve. Dále děkuji vedoucímu laboratoře VaK Náchod, a.s., panu Ing. Šulcovi, za poskytnutí dat, bez kterých by moje práce nemohla nikdy vzniknout.

Velký dík náleží Mgr. Michalu Havlíkovi (GESTEC, s.r.o.) za poskytnutí technického zázemí a za praktické rady týkající se matematického modelu.

1. ÚVOD, CÍLE PRÁCE

Cíle a náplň mojí diplomové práce vycházejí z vlastního zadání Ústavem hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky Přírodovědecké fakulty University Karlovy ze dne 26.12.2006. Tématem práce je jakost podzemních vod v polické křídové pánvi se zaměřením na jejich kontaminaci dusičnanovými anionty ve vodárensky využívaném území Plachty, které se nachází v jižní části pánve poblíž města Police nad Metují.

Hlavní náplní práce je zhodnocení kvality podzemních vod v okolí jímacího území Plachty, identifikace možných zdrojů znečištění a modelové hodnocení proudění podzemních vod spolu s numerickým modelem transportu dusičnanů v podzemních vodách.

Cílem práce je na základě detailní charakteristiky hydrogeologických a hydrochemických poměrů v okolí jímacího území a zhodnocení vývoje jakosti podzemní vody v čase navrhnout opatření, která by měla vést ke zvýšení jakosti vod. K tomuto účelu by měl sloužit i sestrojený numerický model proudění podzemní vody doplněný modelem transportu dusičnanů.

Pro vlastní práci jsem využil data z režimního sledování jakosti podzemních vod ve vodárensky využívaných objektech, které poskytly Vodovody a Kanalizace Náchod, a.s., údaje o hladinách podzemní vody naměřené v terénu a archivní podklady z dřívějších průzkumů.

2. VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

2.1. Vymezení území

Jako polická (křídová) pánev bývá označována křídová výplň vnitrosudetské deprese tvořené navíc ještě horninami karbonu, permu a triasu. Pánev má asymetrickou stavbu tvořenou synklinálou protaženou v sz.-jv. směru. Křídové sedimenty dosahují v centrálních částech pánve maximální mocnosti 450-500 m (Krásný et al. 1993).



Obr. 1/ Lokalizace polické křídové pánve

Polická křídová pánev se nachází v Broumovském výběžku a na území ČR zaujímá rozlohu cca 200 km². České státní hranice přesahuje do Polska jednak severním směrem do krzeszowské pánve, jednak k jihovýchodu, kde přechází do kladské křídové pánve Stolových hor. Polická pánev je na severozápadě od hlavního území české křídové pánve oddělena staršími horninami (stáří karbon – trias). Jihozápadním směrem tvoří hranici s křídovými uloženinami krystalinikum Orlických hor.

Pro účely vlastní práce jsem se zaměřil zejména na jižní část polické pánve, konkrétně na blízké okolí jímacího území „Plachty“, které se nachází v katastrálním území Police nad Metují, jihovýchodně od zastavěné části města (viz příloha 2). Důvodem pro výběr právě této lokality jsou vysoké obsahy dusičnanů v podzemní vodě jímané zdejšími vodárenskými vrty VS-10 a NVS-10, které v současné době limitují jejich plné využití. Výběr oblasti pro numerický model je diskutován v samostatné kapitole č. 8.

2.2. Geomorfologie

Z hlediska geomorfologického členění České republiky tvoří polická pánev samostatný okrsek spadající do Polické vrchoviny a dále pak do Broumovské vrchoviny, která je součástí Orlické oblasti náležející Krkonošsko-jesenické soustavě.

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, 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 390 m n. m) představuje místo, kde Metuje opouští území pánve (prostor v okolí obce Žabokrk).

V celém území polické pánve je patrný zásadní vliv geologické stavby na reliéf terénu a geomorfologii vůbec. Polická pánev představuje území s typickým vývojem kuest a charakteristickým typem zvětrávání kvádrových pískovců, které má za následek vytvoření jedinečných a rozsáhlých skalních měst (na území ČR Adršpašsko-Teplické skály a Ostaš, v Polsku pak Velký a Malý Szczeliniec). Někteří autoři hovoří v souvislosti s členitým reliéfem vyvinutým na kvádrových pískovcích o pseudokrasových jevech. Morfologie pánve je dále silně ovlivněna zařízlými údolními Metuje a jejími přítoky. Na stavbě území je dobře patrná i role hlavních tektonických linií, podél nichž došlo k vertikálním posunům až o desítky metrů.

2.3. Hydrologie a klimatické poměry

Hlavním tokem celé oblasti je Metuje, vznikající v severní části pánve soutokem Adršpašského a Zdoňovského potoka. Metuje ve svém průběhu víceméně sleduje podélnou osu pánve. V okolí Velkých Petrovic – po soutoku s levostranným přítokem Ledhují – se však stáčí k jihozápadu a následně přibírá další levostranný přítok – Židovku. Polickou pánev Metuje opouští severovýchodně od Hronova v okolí Žabokrk. Významný pravostranný přítok Dřevíč se do Metuje vlévá již mimo území polické pánve mezi Hronovem a Žabokrk. Dřevíč v celém svém průběhu

sleduje západní hranici pánve a v úseku mezi Velkým a Homím Dřevíčem tvoří velmi významnou drenáž podzemních vod. Celkový dlouhodobý průměrný průtok Metuje v profilu Hronov je cca 2,8 m³/s. Při ploše povodí 248 km² dostáváme celkový specifický odtok 11,3 l/s/km².

Dlouhodobé průměrné roční teploty ze stanic Broumov a Hronov jsou 7,0 °C, resp. 7,4 °C (Krásný et al. 2002). Průměrné roční úhrny atmosférických srážek za období 1996-2000 jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka číslo 1 Průměrné srážkové úhrny.
Převzato z Kašpárek et al. 2006.

Název srážkoměrné stanice	Povodí	Roční úhm srážek [mm] – průměr za období 1996-2000
Teplice nad Metují	Metuje	774
Police nad Metují	Metuje	650
Hronov	Metuje	776

3. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ

3.1. Dosavadní stav poznání

Hominy vnitrosudetské deprese byly z počátku v zájmu geologů zejména v souvislosti s průzkumem uhelných ložisek paleozoických uloženin. První geologické průzkumy křídových sedimentů polické pánve spadají do 70. let devatenáctého století. Jde především o práce Krejčího a Friče. Ve dvacátých letech 20. století zde prováděl výzkum Zahálka, jehož označení jednotlivých vrstev písmeny bylo používáno až do šedesátých let, kdy jej nahradilo označení homin podle mezinárodní stratigrafické stupnice. Stratigrafické pojetí křídových sedimentů výše zmíněných autorů zhodnotil Klein (1959). V navazujících výzkumech byly diskutovány zejména otázky týkající se umístění hranice cenoman-turon a stratigrafické zařazení pískovců Broumovských stěn a pískovců Adršpašsko-teplických skal, Ostaše, Hejdy a Boru. V podstatě se jedná o dvě pojetí zastoupená na jedné straně Petrascheckem, jenž řadí pískovce broumovských skal do svrchního turonu až coniacu, a na straně druhé názor Dvořáka a Kleina (1959), kteří popisují tyto hominy jako střednoturonské, přičemž nejmladší mohou mít coniacké stáří. Stejně tak se liší názor na umístění hranice cenoman-turon, což je patrné i na hydrogeologických pracích (viz dále kapitola 3.2.).

Při syntéze české křídové pánve z roku 1987 nebyla polická pánev jako jediná vodohospodářsky významná křídová struktura zahmota. Jedním z posledních geologických a strukturně geologických průzkumů tak byl průzkum vedený Vejlupkem v osmdesátých letech. Důležité geologické údaje o stavbě pánve však přinesly i hlavní hydrogeologické průzkumy spojené s hloubením množství vrtů realizované Vrbou a Kněžkem.

Shmutí geologických poměrů předkřídových hornin vnitrosudetské deprese obsahuje práce Táslera et al. z roku 1979.

Hydrogeologické poměry polické pánve byly zkoumány především s ohledem na možnosti využívání zdrojů podzemních vod. Prvním autorem, který podal ucelený přehled o hydrogeologii polické pánve a který se systematicky zabýval jejím výzkumem byl Hynie (1949), v jehož práci se také poprvé objevuje název polická křídová pánev. Ve své práci z roku 1949 popisuje hydrogeologický význam hlavních zlomů a dokládá ho výskytem pramenů v Machově, Dřevíči a Teplicích

nad Metují. Hynie stanovil využitelné zdroje podzemní vody na základě specifického odtoku ve výši 640–680 l/s. Za hospodárně využitelné množství podzemních vod považoval Hynie asi 440 l/s a navrhuje rozdělení tohoto množství do různých částí pánve. Z dob Hyniova průzkumu pocházejí první dokumentované hydrogeologické vrty.

Rozsáhlý průzkum realizovaný v šedesátých letech Vrbou, jehož výsledky byly shmuty v závěrečné zprávě z roku 1966, měl za cíl revizi ochranných pásem. V jeho rámci bylo vyhloubeno celkem 12 vrtů. Hlavním zlomům přisuzuje Vrba (1966) nepropustný charakter.

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.

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 shmuty v závěrečných zprávách Kněžek et al. 1982a, 1982b. Jednalo se o průzkum rozsáhlé oblasti polické pánve na česko-polském území při severním (Krzyszów-Adršpach) a jižním (Police-Kudowa) okraji pánve. Od té doby probíhají režimní měření na povrchových tocích, vrtech a pramenech. Zatím poslední výsledky jsou shmuty ve zprávě z roku 2006.

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. 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).

V roce 2002 byly předchozí průzkumy provedené Krásným et al. přepracovány a nově shrnuty v publikaci s názvem "Hydrogeologie polické křídové pánve: optimalizace využívání a ochrany podzemních vod" vydané ve Sborníku geologických věd (2002).

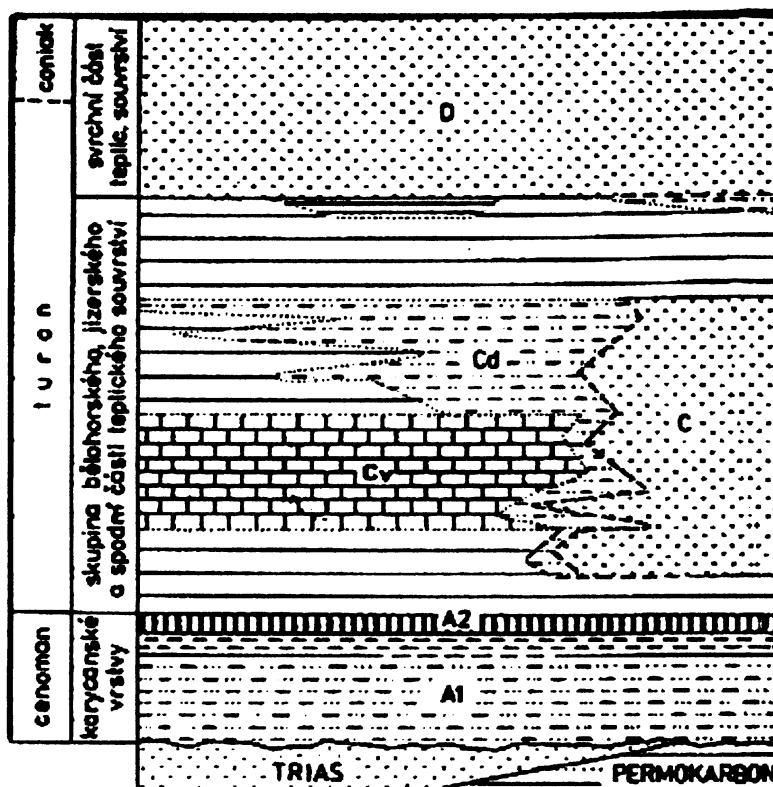
V letech 2002-2003 byl na objednávku společnosti VaK Náchod, a.s. proveden průzkum realizovaný Hydrogeologickou společností, s.r.o. pod vedením I. Koroše s názvem „CHKO Broumovsko – Vztahy podzemních a povrchových vod“. Cílem průzkumu, který probíhal ve třech etapách, bylo vymapovat ztrátové a výronové zóny v povrchových tocích a zhodnotit komunikaci mezi povrchovými toky a podzemní vodou s ohledem na možná rizika kvalitativního ohrožení podzemních vod. Výsledkem průzkumu je souhrn a mapové znázornění oblastí prokázaných nebo předpokládaných úbytků vodnosti povrchových toků a s tím spjatých rizik ohrožení podzemní vody.

Polická pánev je co do počtu provedených vrtných prací a hydrogeologických studií jedním z nejvíce prozkoumaných území v rámci české křídové pánve (Krásný et al. 2002). V roce 1995 bylo na území pánve dokumentováno 135 hydrogeologických vrtů, přičemž největší nahromadění vrtů je ve vodohospodářsky významných oblastech. Převážná většina z těchto vrtů byla vystrojena s ohledem na možné vodohospodářské využití a některé z nich procházejí nejen křídovými sedimenty, ale dosahují i jejich paleozoického podloží. Mnohé z nich byly vystrojeny v celé délce bez odtěsnění jednotlivých zvodní, což komplikuje už tak složité proudění podzemní vody v pánvi.

3.2. Geologické poměry území

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

V polické pánvi jsou zachovány marinní křídové sedimenty s maximální mocností kolem 450-500 m cenomanského až svrchnoturonského stáří a 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/ Schematická stratigrafická tabulka polické pánve. Převzato z Krásný et al. 1993.

Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, jsou hranice jednotlivých stratigrafických jednotek poněkud sporné. Ať už jde o rohovcové souvrství, které je některými autory řazeno do nejsvrchnější části cenomanu, nebo o hranici turon-coniak, která je díky absenci zkamenělin v kvádrových pískovcích umístěna pouze orientačně (Kašpárek et al. 2006). Mořský cenoman je vyvinut v celém území pánve. Sladkovodní sedimenty cenomanu nebyly doposud nikde zjištěny. Proto je geologická stavba území často popisována v závislosti na litologii a bývají vyčleňovány vrstvy, které tvoří jednotlivá hydrogeologická tělesa.

V následujícím textu je podán stručný přehled litologie pánev. Jednotlivá označení vrstev jsou převzatá ze zpráv Krásny et al. (1993-2002) a odpovídají standardnímu značení křídových sedimentů, jak je používáno v Hydrogeologické syntéze české křídý s ohledem na jejich hydrogeologickou funkci.

Perucko-korycanské souvrství (upraveno podle Čech-Valečka in Krásný et al. 1993) je zastoupeno sedimenty odpovídajícími korycanským vrstvám. V celé pánvi mají poměrně stálý litofaciální vývoj a 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). Převažujícím typem hornin jsou šedé, šmouhované až čočkovitě-laminární pískovce s četnými bioturbacemi. Škála zmitosti je zastoupena od jemnozmných pískovců s větším podílem hrubších zm, přes nestejnzmné pískovce, po středně až hrubozmné pískovce.

Již méně zastoupeným litotypem jsou bělavé, středně zmité křemenné pískovce. V severozápadní části pánve tvoří bazální část psamitického souvrství (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 jiv. 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. Přejechod z podložního prachovcového souvrství je pozvolný, hranice s nadložím je ostrá.

Mocnost souvrství kolísá od 5-6 m do 15 m, s tendencí nárůstu podobně jako u prachovcového souvrství, od JJV k SZ. 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 bývají tato souvrství popsána jako skupina. Skupina je v celém rozsahu zachována pouze pod pískovci Adršpaško-teplických skalních měst, Hejdy, Ostaše a Boru, kde dosahuje mocnosti 210-250 m.

V komplexu převládají slínovce až vápnité jílovce (izolátory A/C a C/D). Vedle nich bylo při jv. okraji pánve vyčleňováno až 100 m mocné souvislé těleso (C) Broumovských stěn tvořené středně až hrubě zrnitými živcovými pískovci. Tyto pískovce však v jihovýchodní části pánve tvoří dvě tělesa. Spodní těleso C1 vytvářející vlastní Broumovské stěny dosahuje mocnosti až 110 m a jeho báze leží pouze 20-25 m nad rohovcovým souvrstvím. Hrubozrné pískovce C2 mají ve zbylé části pánve svůj jemnozrný ekvivalent označovaný v práci Krásného et al.(2002) jako distální facie (Cd).

Další hominovou jednotkou je sled slínovců se zvýšenými obsahy CaCO₃. 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 kuesta.

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 hominová jednotka polické pánve, dnes zachovaná jako denudační relikt – kvádrové pískovce – tvořící skalní města Adršpaško-teplických skal, vrcholové partie Hejdy a Ostaše. Jedná se o typické kvádrové pískovce, převážně lavicovitě zvrstvené, téměř výhradně křemenné (Čech-Valečka in Krásný et al. 2002). Největší mocnosti – přes 70 m - dosahují na českém území pískovce D na Ostaši (Čech-Valečka in Krásný et al. 2002).

3.2.1. Strukturní stavba a tektonika

Polická pánev představuje synklinálu s brachysynklinálním uzávěrem na severozápadním konci. Směr osy je severozápadní-jihovýchodní. Hlavní synklinála je ještě komplikována dílčími vrásovými strukturami nižšího řádu (Kašpárek et al. 2006). Na jihovýchodě přechází polická pánev do Polska, kde zahrnuje i část Stolových hor.

Tektonika hraje významnou roli jak v celkové stavbě pánve odrážející se v morfologii terénu, tak v hydrogeologii křídové výplně. Většinou bývají v polické pánvi popisovány 4 hlavní zlomy: skalský zlom, polický zlom, bělský zlom a zlom Klůčku označovaný někdy jako „kosý“.

Patně vůbec nejvýznamnějším je příčný zlom skalský, resp. skalské zlomové pásmo. Jedná se zřejmě o systém několika zlomů vytvářejících silně porušenou zónu probíhající jz.-sv. směrem od Březové na Bohdašín, Teplice nad Metují, Skály a Studnici. Skalské poruchové pásmo je komplikovanou tektonickou oblastí, jejíž základním strukturálním prvkem je úzká vyzdvižená kra provázená širokým podrceným pásmem, zejména na jižní straně (Kašpárek et al. 2006). Skalský zlom bývá považován za hranici mezi severní a jižní částí pánve, i když jeho zcela nepropustný a oddělující charakter obou částí bývá někdy zpochybňován.

Směrný polický zlom probíhá sz.-jv. směrem, tedy víceméně paralelně s podélnou osou pánve. Představuje poruchové pásmo široké minimálně 60 m (Krásný et al. 2002). Největšího skoku – kolem 90-100 m – dosahuje polický zlom jz. od Police nad Metují. Směrem na SZ i JV se pak výška skoku snižuje. Oproti ostatním autorům předpokládají Čech a Valečka (in Krásný et al. březen 1996) pokračování polického zlomu i severozápadně za zlom skalský.

Křížení obou výše zmíněných zlomů v prostoru Teplic nad Metují vytváří strukturně, geologicky i hydrogeologicky velmi složité území považované často za vůbec nejvíce tektonicky postiženou oblast polické pánve.

Dalším směrným zlomem je zlom bělský, který se nachází v jihovýchodní části pánve. Bělský zlom probíhá subparalelně se zlomem polickým, jeho přesné vymezení není však v celém jeho průběhu zcela jasné. Dobře morfologicky patrný i geologicky určitelný je mezi Hlavňovem a Machovskou Lhotou a dále k JV k česko-polské hranici, avšak jeho pokračování sv. směrem dále od Hlavňova je sporné a

různí autoři jeho průběh v tomto úseku proto interpretují rozdílně (Čech a Valečka in Krásný et al. březen 1996). Největší výšky skoku (až kolem 100 m) dosahuje ve své jižní části.

Někteří autoři již dříve předpokládali existenci dalšího zlomu v jižní části pánve, podél něhož došlo k výraznějším pohybům. Jedná se o „kosý“ zlom Klůčku, jehož existenci dokládají Čech a Valečka (in Krásný et al. březen 1996) terénním pozorováním a mapováním. Tento zlom, podél něhož došlo jak k vertikálním, tak horizontálním posunům, byl dokumentován na severním svahu Klůčku, odkud pokračuje dále zsz.-vjv. směrem a pravděpodobně přetíná jak bělský, tak polický zlom, které posouvá dále k západu (viz mapka v příloze. č. 2).

3.3. Hydrogeologické poměry území

Hydrogeologické poměry a režim proudění podzemní vody jsou v polické pánvi ovlivněny jednak litologií pánevní výplně, jednak porušením hornin vlivem tektoniky, přičemž křehké porušení křídových hornin má zásadní význam pro vytváření preferenčních cest proudění podzemní vody. V polické pánvi výrazně převažuje puklinová propustnost nad průlinovou. Zásadní význam tektoniky pro proudění podzemní vody je pro polickou pánev jev charakteristický.

3.3.1. Hydrogeologická funkce hornin

V celém vrstevním sledu křídových sedimentů polické pánve lze vyčlenit několik těles s různou hydrogeologickou funkcí. V textu jsou velkými písmeny označeny horniny s předpokládanou kolektorskou funkcí, zatímco zlomkem jsou označeny vrstvy relativně nepropustné (např. C/D značí izolátor ležící mezi kolektory C a D). Celkem bývají vyčleňovány 3 kolektory oddělené izolátory. Jsou to následující :

Bazální křídový komplex (BKK)

Pískovcový kolektor jizerského souvrství (C)

Kolektor skalních měst (D)

Jako bazální křídový komplex bývají označovány hominy cenomanu, často však spolu s dobře propustnými triasovými podložími hominami (T). Do BKK jsou zahrnuta dvě významná tělesa – psamitické souvrství (A1) a rohovcové souvrství (A2). Svrchní hranicí bazálních kolektorů je 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 průlinová a dosahuje hodnot 10^{-4} m/s v okrajových částech pánve, v centrálních částech 10^{-6} až 10^{-8} m/s (Kněžek 1975). Pro předpokládanou hydraulickou spojitost cenomanu s triasem bývá často nejhlubší kolektor polické pánve označován A1+T.

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. Oba kolektory jsou odděleny cca 10 m mocným izolačním „prachovcovým“ souvrstvím (A1/A2). Přestože je propustnost celého bazálního křídového komplexu obecně asi nízká a předpokládá se vyšší pouze v místech intenzivního tektonického porušení (Kněžek 1975), představuje BKK prostředí pro významné regionální proudění a je vodohospodářsky nejvýznamnější.

Pískovcový kolektor jizerského souvrství C je v území pískovcového vývoje Broumovských stěn tvořen dvěma mocnými tělesy C1 a C2 (Krásný et al. 1996). Jak Krásný (2002), tak i Kněžek (1975) předpokládají převažující puklinovou porozitu. Zda je možné považovat distální facii jizerských pískovců Cd a tělesa s karbonáty Cv za samostatné regionálně rozšířené kolektory, nelze s jistotou říci, i když pro to existují jisté indicie (Krásný et al. 1993).

Kolektor skalních měst (D) je nejvýznamněji rozšířen v prostoru Adršpašsko-teplických 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. 1996). Kolektor D není v polické pánvi využíván pro odběry podzemní vody.

3.3.2. Hydrogeologická funkce hlavních zlomů

Tektonika má pro proudění podzemní vody v polické pánvi značný význam. Hydrogeologická funkce hlavních zlomů může být dvojitá. Zlom může jednak působit jako relativně nepropustná bariéra, kdy díky značné výšce skoku dojde k přerušení souvislého kolektoru a vodivé horniny se dostanou do kontaktu s izolátorem. Na druhou stranu bývají horniny v okolí zlomů často silně rozpukány (vytvářejí se až několik desítek metrů široká pásma podél zlomů), což může vést ke zvýšení propustnosti takto postižených hornin a k významnému vertikálnímu přetékání mezi jednotlivými zvodněmi. Tektonicky postižené oblasti mohou také vytvářet přirozené zóny drenáže jako je tomu například v Teplicích n. Metují nebo v Machově.

Příčně nepropustná funkce zlomu je tedy dána velikostí skoku, kdy oddělení kolektorů může být úplné, nebo částečné a platné pro všechny, nebo jen pro některé vrstvy. Značný stupeň oddělení kolektorů či kolektorských komplexů je pak jedním z hlavních kritérií, podle kterých Krásný et al. (1997) vymezuje zvodnělé systémy a subsystémy.

Kněžek (1975) na základě tektoniky a litofaciálního vývoje rozděluje polickou pánev 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.

Skalský zlom rozděluje pánev na dvě relativně hydrogeologicky samostatná území – severní a jižní část. Kněžek (1975) na základě provedeného průzkumu a dlouhodobé čerpací zkoušky zpochybňuje jednoznačnou funkci skalského zlomu coby nepropustné bariéry. Krásný et al. (2002) však na základě přítokové zkoušky provedené v roce 1995 v prostoru Teplic nad Metují o oddělovacím účinku skalského zlomu nepochybuje.

V prostoru Teplic nad Metují dochází ke křížení skalského a polického zlomu. V Teplicích nad Metují dochází v důsledku těsnícího účinku skalského zlomu ke vzduť hladiny podzemní vody. Díky značnému porušení hornin a zvýšení jejich propustnosti se zde podzemní vody přirozeně drénují, o čemž svědčí např. zjevné prameny (pramen u Sokola, Jezírko a další) a skryté přírony do Metuje (Kněžek

1975). Do prostoru Teplic nad Metují jsou proto situovány významné vodárenské objekty, jako například vrt VS-5 s využitelnou vydatností přes 60 l/s.

Stejně jako skalský zlom mohl by mít i polický zlom oddělovací charakter v jižní části Teplic nad Metují a dále k jihu, i když ne tak jednoznačný (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. Na některých místech vytváří polický zlom nepropustnou bariéru, avšak jen v rámci kolektorů C a A2 (Krásný et al. 2002). Důležitou roli 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 zastíženy významně zvodněné pukliny.

Oddělovací účinek bělského zlomu předpokládá Krásný et al. (1997) 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 vrtu 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 výše míval artézský přetok. Podobná situace je i u vrtů VS-12 a VS-18 v Pěkově. Zatímco vrt VS-12 vykazuje velmi malou vydatnost, u vrtu VS-18 situovaného přímo na bělském zlomu dosahuje vydatnost kolem 20 l/s. V oblasti Pěkov-Suchý Důl se tedy zřejmě nalézá tektonická křata 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. Toto území představuje významnou oblast drenáže podzemní vody v jižní části pánve.

Ze závěrů průzkumu realizovaného Hydrogeologickou společností, s.r.o. (Koroš et al. 2003) vyplývá také úloha hlavních tektonických linií na komunikaci podzemní vody s povrchovými toky. Výsledkem je tvrzení, že se poruchové zóny v okolí hlavních zlomů zpravidla vůbec nepodílejí na úbytcích vodnosti, ale fungují spíše jako zóny soustředěných přítoků zvyšujících vodnost povrchových toků.

Hydrogeologická role zlomové tektoniky je jedním z hlavních diskutovaných problémů modelového řešení proudění podzemní vody a také zřejmě jeho největším omezením limitujícím formulování konečných závěrů o transportu dusičnanové kontaminace.

4. METODIKA PRÁCE

V prvních fázích své práce jsem provedl rešerši archivních podkladů týkajících se geologické stavby a hydrogeologie polické pánve.

Ve vlastní práci se opírám o údaje získané z laboratoře a archivu společnosti VaK Náchod, a.s. pocházející z režimního sledování vodárensky využívaných vrtů. Částečně jsem využil i data z čerpacích zkoušek realizovaných na jednotlivých vrtech, ať už v rámci jejich hloubení, nebo při pozdějších průzkumech. Pokud není uvedeno jinak, pocházejí data z archivu VaK Náchod, a.s. Údaje, které jsem měl k dispozici pro bakalářskou práci, jsem aktualizoval o nové rozborů do roku 2008 a rozšířil o zastoupení hlavních složek podzemní vody (vodivost, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, tvrdost,...). Vznikly tak dlouhodobé časové řady vývoje koncentrací jednotlivých složek v podzemní vodě, se kterými se dá statisticky pracovat, a které umožňují vzájemnou korelaci mezi sebou. Vzájemné porovnání vývoje jednotlivých složek s vývojem obsahu dusičnanů považuji za zásadní pro utvoření představy o tom, které jevy mohou nejvíce ovlivňovat složení podzemních vod včetně dusičnanového znečištění.

Jedním z podkladů pro matematický model jsou údaje o hladinách podzemní vody v monitorovacích, či starých vodárenských vrtech, které jsem zaměřil v rámci terénních pochůzek. U vrtů, které dnes již neexistují, nebo je nelze dohledat jsem se musel spolehnout na data z předešlých prací. Informace o geologické stavbě pánve potřebné pro sestavení modelu jsem převzal z geologické dokumentace vrtných prací, archivních průzkumů a v neposlední řadě díky spolupráci s Ing. Janem Uhlíkem, PhD. z firmy ProGeo, s.r.o.

Práce vychází převážně z existujících údajů o kvalitě podzemní vody a jejich změnách v čase, které však doposud nebyly uceleně zpracovány s ohledem na dusičnanové znečištění podzemních vod polické pánve.

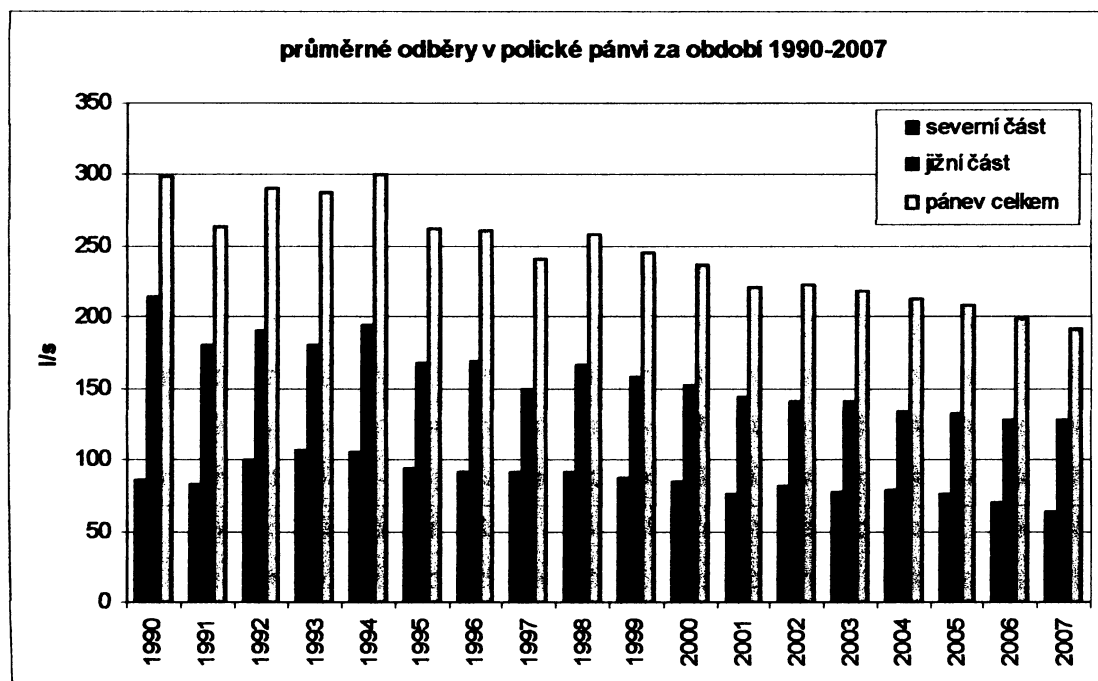
Výběr oblastí představujících možné zdroje kontaminace jsem určil podle terénních pochůzek a leteckých snímků území. Výběr jsem posléze konzultoval s místním pamětníkem, panem Oldřichem Hofmanem z Police nad Metují, s ohledem na změny ve využívání zemědělské půdy v okolí jímacího území Plachty.

5. STÁVAJÍCÍ VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ PODZEMNÍCH VOD POLICKÉ PÁNVE

Polická pánev je co do velikosti tvorby přírodních zdrojů podzemní vody velice perspektivní území. Podzemní vody jsou zde využívány pro hromadné zásobování od první poloviny 20. století. Nachází se zde několik hlavních jímacích center, do kterých jsou soustředěny nejvýznamnější vodárenské odběry.

Od roku 1994 dochází v polické pánvi k trvalému snižování odběrů podzemní vody. Důvodem byla zpočátku jednak silně klesající spotřeba domácností po roce 1989 a jednak značné omezení ztrát vody v potrubí. Mnoho vodárenských objektů je tak dnes zcela nevyužívaných nebo slouží pouze jako záložní zdroje. Průměrný roční odběr podzemní vody v roce 2007 činil 192 l/s (oproti 300 l/s v roce 1994) – viz graf na obrázku č. 3.

V současnosti je diskutována otázka zvýšení stávajících odběrů podzemní vody pro zásobování části Hradce Králové z důvodu nevyhovující kvality hlavního zdroje (zdroj Litá). Toto navýšení by mělo činit až cca 100 l/s.



Obr. 3/ Průměrné roční odběry podzemní vody v pánvi za období 1990-2007.
Data poskytl VaK Náchod, a.s.

6. KVALITA VOD

V polické pánvi jsou jímány velice kvalitní vody využitelné bez jakýchkoliv vodárenských úprav s výjimkou bakteriologického zabezpečení. Obsahují jen minimum železnatých kationtů (okolo 0,02 – 0,04 mg/l) a je možné je považovat za jedny z nejkvalitnějších v české křídové pánvi. Z hlediska vyhlášky č. 252/2004 Sb. splňuje ve většině případů podzemní voda polické pánve požadavky pro pitnou vodu. V některých případech jsou však překročeny maximální povolené hodnoty dusičnanů (jímací území Plachty).

Významný vliv na kvalitu podzemní vody má lidská činnost, zejména aplikace umělých hnojiv, která se projevuje zvýšenými koncentracemi dusičnanů. Z regionálního hlediska není lidská činnost nijak zvlášť omezující pro odběry podzemní vody v pánvi, lokálně však může znečištění podzemní vody představovat problém, jako například v případě jímacího území Plachty. Zde jsou situovány dva významné, vodárensky kdysi hojně využívané vrty VS-10 a NVS-10, s celkovou využitelnou vydatností 40 l/s. V současnosti je však toto území z důvodu vysokého obsahu NO_3^- v jímané vodě pohybující se kolem 50 mg/l využíváné z cca 1/6 jeho kapacity.

V polické pánvi se nachází několik kolektorů vzájemně oddělených relativně nepropustnými vrstvami. Nezávisle vymezit jednotlivé kolektory na základě chemického složení podzemní vody však většinou není možné. Důvodem je absence vhodných jímacích objektů, které by podávaly informaci pouze o jednom konkrétním jímaném kolektoru. Většina vodárenských i průzkumných vrtů je vystrojena tak, že propojují více zvodní. Výsledné složení vzorků podzemní vody z takovýchto vrtů je pak dáno poměrem míšení několika typů vod. Mineralizace se většinou pohybuje kolem 0,3-0,4 g/l (s výjimkou podzemních vod kolektoru skalních měst) a má typický vzrůstající trend od zón infiltrace k zónám drenáže. Alespoň částečně je rozdíl ve složení vod jednotlivých kolektorů patrný z grafů na obr. 4-5 a v příloze č. 3, které zobrazují vývoj koncentrací hlavních sledovaných složek na vybraných vodárenských objektech. Pro sestavení těchto grafů jsem vybral ty objekty, u kterých lze určit převažující podíl jednoho konkrétního kolektoru na výsledném složení vody. Jedním z objektů je i vrt NVS-10 charakterizující kvalitu vody v jímacím území Plachty, které je nejvíce postiženo dusičnanovým znečištěním. Dalším kritériem bylo dlouhodobé využívání těchto zdrojů, a tudíž

existence dostatečně dlouhé časové řady chemických rozborů. Do výběru je zařazen i vrt VS-5 nacházející se v severní části pánve v prostoru Teplic nad Metují. Ten sice není typickým jímacím objektem severní části, jelikož jako jeden z mála zde jímá vodu pouze z bazálních kolektorů, je ale právě pro tuto svou vlastnost dobře použitelný pro srovnání složení podzemní vody jednak v rámci jednotlivých kolektorů, ale i vzhledem k různým částem polické pánve.

Poznámka k vybraným objektům.: Pro hodnocení kvality podzemních vod polické pánve a její časové proměnnosti jsem v následujících kapitolách použil pět využívaných vodárenských zdrojů (NVS-10 Plachty, VS-17 Hlavňov, NV15a Petrovičky, VS-5 Teplice, machovská studna) jako pomyslné „standardy“ pro rozlišení chemismu podzemní vody mezi bazálními kolektory a kolektorem C, který je nejvíce zasažen dusičnanovým znečištěním. Učinil jsem tak přesto, že jsem si plně vědom skutečnosti, že se u většiny z vybraných zdrojů nedá přesně definovat jeden konkrétní jímáný kolektor, ale že jde, vzhledem ke způsobu vystrojení jednotlivých objektů a jejich situování do míst přirozené drenáže podzemních vod, o vodu, jejíž složení je výsledkem mísení vod různého původu. Je však poměrně dobře možné rozlišit, zda se na výsledném složení více podílejí bazální kolektory, či kolektor C. V textu se snažím zachovat označení jednotlivých objektů jako zdrojů „s převažujícím podílem“ určité zvodně na výsledném složení podzemní vody.

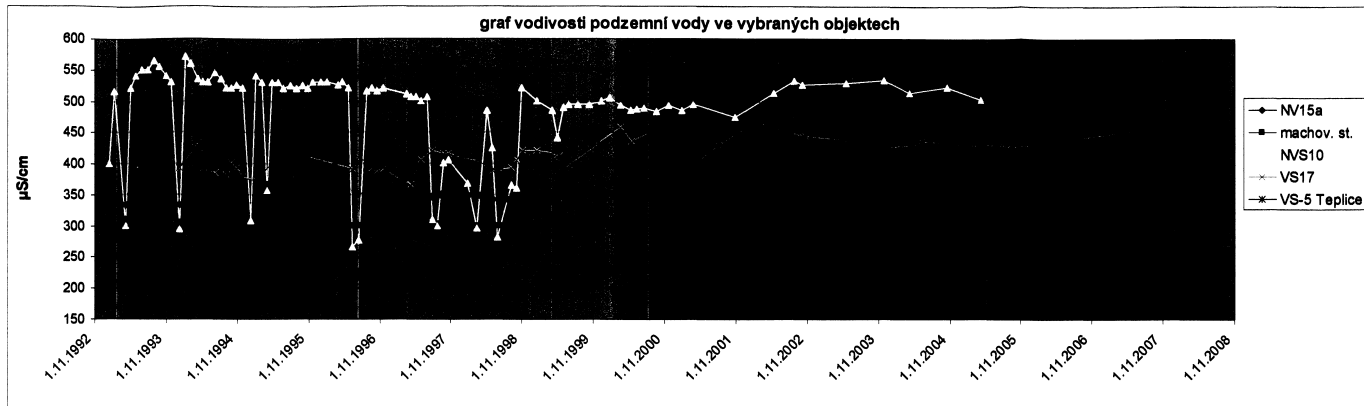
Tabulka číslo 2 Vybrané jímací objekty použité pro porovnání jakosti vody jednotlivých kolektorů.

	zastižený kolektor	kolektor s převažujícím vlivem na složení vody	pozn.
NVS-10 Plachty	C	C	vrt situován na polickém zlomu
NV-15a Petrovičky	A2	A2	
VS-17 Hlavňov	A1+T, A2, C	C	vrt poblíž bělského zlomu
VS-5 Teplice	A1+T, A2	A1+T, A2	vrt situován do drenážní oblasti severní části pánve
machovská studna	A1+T, A2?	A1+T	studna zachycuje původní prameny odvodňující jižní část pánve na východ od bělského zlomu

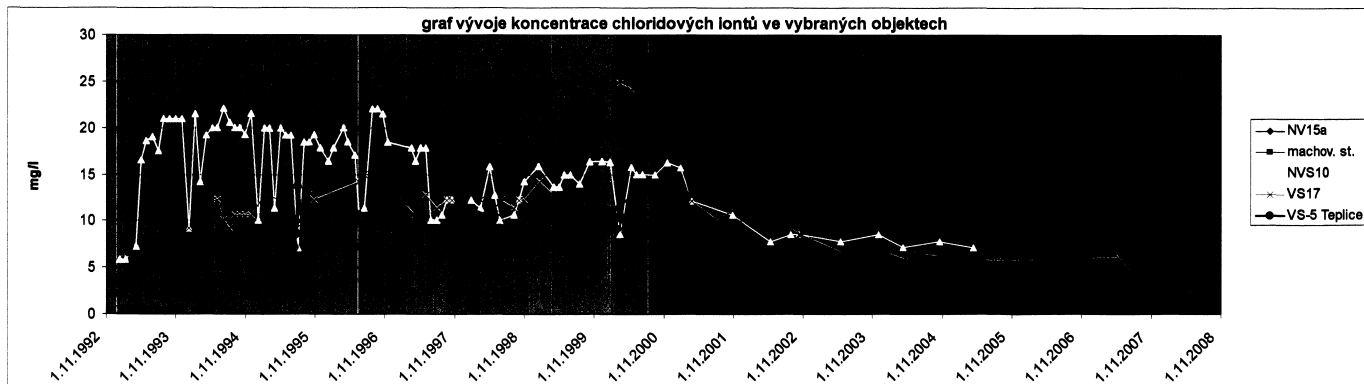
Z grafu vodivosti na obrázku 4 je rozdíl ve složení podzemní vody z jednotlivých jímacích objektů asi nejlépe patrný. Stabilně nejnižší hodnoty vodivosti odrážející celkovou mineralizaci podzemní vody vykazuje voda z vrtu VS-5 (230-260 $\mu\text{S/cm}$), dále machovská studna (300-340 $\mu\text{S/cm}$) a vrt NV-15a Petrovičky (350-390 $\mu\text{S/cm}$). Všechny tyto objekty jímají převážně vodu z bazálních kolektorů. Rozdíly ve vodivosti mezi jednotlivými zdroji korespondují s přirozeným zvyšováním celkové mineralizace ve směru proudění podzemní vody (generelně od severu až severovýchodu k jihu až jihozápadu). Vrt NVS-10 jímá převážně vodu z nejvyššího kolektoru C. Vzhledem k jeho situování přímo na polickém zlomu, kde lze očekávat drenážní účinek zlomu na všechny kolektory včetně bazálních, se však s vysokou pravděpodobností jedná také o směsnou vodu (tomu nasvědčuje i prakticky shodné chemické složení podzemní vody z vrtu NVS-10 s vodou jímanou blízkým vrtem VS-10 Plachty, který propojuje všechny kolektory až do triasu).

Podobná situace je i u vrtu VS-17 v Hlavňově, který pravděpodobně prošel všemi kolektory a je vystrojen v celé délce, na výsledném složení podzemní vody se však značně podílí kolektor C. Vodivost podzemní vody je u objektů jímajících vodu s podílem bazálních kolektorů v čase stabilní, vyjma „skoku“ v letech 2001-2002, po kterém ovšem hodnoty vodivosti opět vykazují setrvalý stav. Naproti tomu je průběh vodivosti u zdrojů jímajících z velké části i kolektor C v čase značně rozkolísaný. Časový vývoj koncentrací hlavních složek podzemní vody je diskutován v kapitole 6.1.

Obdobná je situace i v případě koncentrace chloridů, jak je patrné z grafu na obrázku 5. Nejnižší koncentrace opět vykazují zdroje s převažujícím podílem vody bazálních kolektorů.



Obr. 4/ Graf vodivosti podzemní vody ve vybraných objektech.



Obr. 5/ Graf vývoje koncentrací chloridů v podzemní vodě polické páne.

6.1. Změny chemického složení podzemní vody v čase

Cílem práce je jednak analyzovat vývoj koncentrací dusičnanů v čase, a jednak odhalit jejich možné konkrétní zdroje na základě matematického modelu transportu znečištění. Analýzu časových trendů pokládám za klíčovou pro poznání jevů, které mohou koncentraci dusičnanů v jímacím území Plachty ovlivňovat (intenzita hnojení, doplňování zásob podzemní vody, atd.).

Pro identifikaci jevů, které mohou ovlivňovat koncentraci dusičnanových iontů v podzemní vodě polické pánve a jejich změny v čase, jsem zdokumentoval vývoj i u ostatních chemických komponent, sestavil jejich časové řady a vzájemně je porovnal. Ukazuje se, že podobné trendy, které lze identifikovat na časových řadách obsahu nitrátů v podzemní vodě, je možné nalézt i u jiných složek a některé lze velice dobře korelovat.

Pro tento účel jsem zkonstruoval časové řady hlavních chemických složek, které jsou pravidelně stanovovány v rámci režimních rozborů jakosti jímané vody společností VaK Náchod, a.s. Grafy jsou sestaveny pro stejné zdroje jako v kapitole předcházející (NVS-10 Plachty, VS-17 Hlavňov, VS-5 Teplice, NV-15a Petrovičky a machovská studna). Tyto objekty jsou situovány v odlišných částech pánve i různých hydrogeologických pozicích. Podávají tak dobrou informaci o vývoji chemického složení podzemní vody ve značné části polické pánve.

Pro účely vzájemné korelace vývojových trendů rozdílných složek, či složek vykazujících značné rozdíly v koncentracích mezi jednotlivými jímacími objekty, jsem některá data standardizoval pomocí následujícího vzorce:

$$X_{si} = (X_i - X_{min}) \div (X_{max} - X_{min})$$

kde je:

X_{si} i-tá standardizovaná hodnota koncentrace složky X $\langle 0,1 \rangle$

X_i i-tá hodnota koncentrace složky X

X_{min} minimální hodnota celého rozsahu koncentrací složky X

X_{max} maximální hodnota celého rozsahu koncentrací složky X

Výsledkem je soubor dat nabývajících hodnot $\langle 0,1 \rangle$, jejichž časová řada si zachovává všechny trendy nstandardizované veličiny a lze ji dobře graficky porovnávat s veličinami nabývajících jinak výrazně odlišných hodnot.

Na obrázcích č. 4 a 5 a v příloze č. 3 jsou graficky zobrazeny průběhy časových řad různých ukazatelů chemického složení vody ve vybraných jímacích objektech. Za povšimnutí stojí hned několik skutečností v pozorovaných trendech. Krom již zmíněných obecně vyšších hodnot téměř u všech ukazatelů u vrtů NVS-10 a VS-17 oproti ostatním zdrojům, je zajímavý skokový nárůst vodivosti mezi lety 2001-2002, který se však takto zřetelně projevuje pouze u zdrojů s převažujícím podílem hlubokých kolektorů A1+T a A2. U vrtu NVS-10 Plachty je tento nárůst pozvolný, v případě vrtu VS-17 Hlavňov jde spíše o dlouhodobý, velmi mírný, postupný nárůst a následný slabý pokles. Po tomto zvýšení, které u všech vybraných objektů činí 35-40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se křivka ustaluje a dále se až do roku 2007, kde časová řada končí, prakticky nemění.

V případě koncentrace chloridů je situace odlišná. Po roce 2001 nastává pokles, který je u machovské studny, vrtu NV15a a VS-5, stejně jako v případě nárůstu vodivosti, poměrně náhlý, zatímco u vrtu NVS-10 Plachty jde opět o pozvolný pokles definovaný několika body, po němž se hodnoty v čase již podstatně nemění. U vrtu VS-17 nejsou tyto tendence tak markantní, přesto se ale dají identifikovat i zde.

Příčina těchto náhlých „skoků“ není zcela jasná. V případě chloridů, které se do podzemní vody dostávají hlavně coby znečištění z povrchu, může jít o změnu ve využívání krajiny.

Co se týče hodnot vodivosti, nenašel jsem pro popsané náhlé zvýšení mezi ostatními chemickými složkami žádné vysvětlení. Náhlé zvýšení koncentrace některé ze složek přítomné v disociované podobě, které by se odrazilo ve zvýšení vodivosti, není patrné u žádné ze sledovaných chemických komponent. Nedomnívám se však ani, že by šlo o analytickou chybu při laboratorním stanovení, nebo o změnu analytické metody. Chyba v analýze by se neprojevila u několika jímacích objektů zároveň. Dále by se spíše jednalo o náhlý výkyv, po kterém by se hodnoty vrátily na původní úroveň, což se nestalo. Náhlý skok, po kterém hodnoty opět setrvávají na určité hodnotě, nebo se kolem ní pohybují ve velmi malém rozptylu, by mohl poukazovat na změnu analytické metody při stanovení. Tomuto vysvětlení však odporují dvě skutečnosti. Za první je to průběh křivek v případě vrtu NVS-10, kdy je nárůst (resp. pokles) velmi dobře patrný, ale pozvolný a definovaný několika body. Za druhé je to fakt, kdy se popsaný „skok“ v hodnotě vodivosti objevuje u různých zdrojů v odlišném časovém období s posunem několika měsíců. Možné příčiny těchto jevů jsou diskutovány na základě porovnání s dalšími chemickými složkami podzemní vody v kapitole 6.4. věnované vývoji koncentrace dusičnanů v jímacím území Plachty.

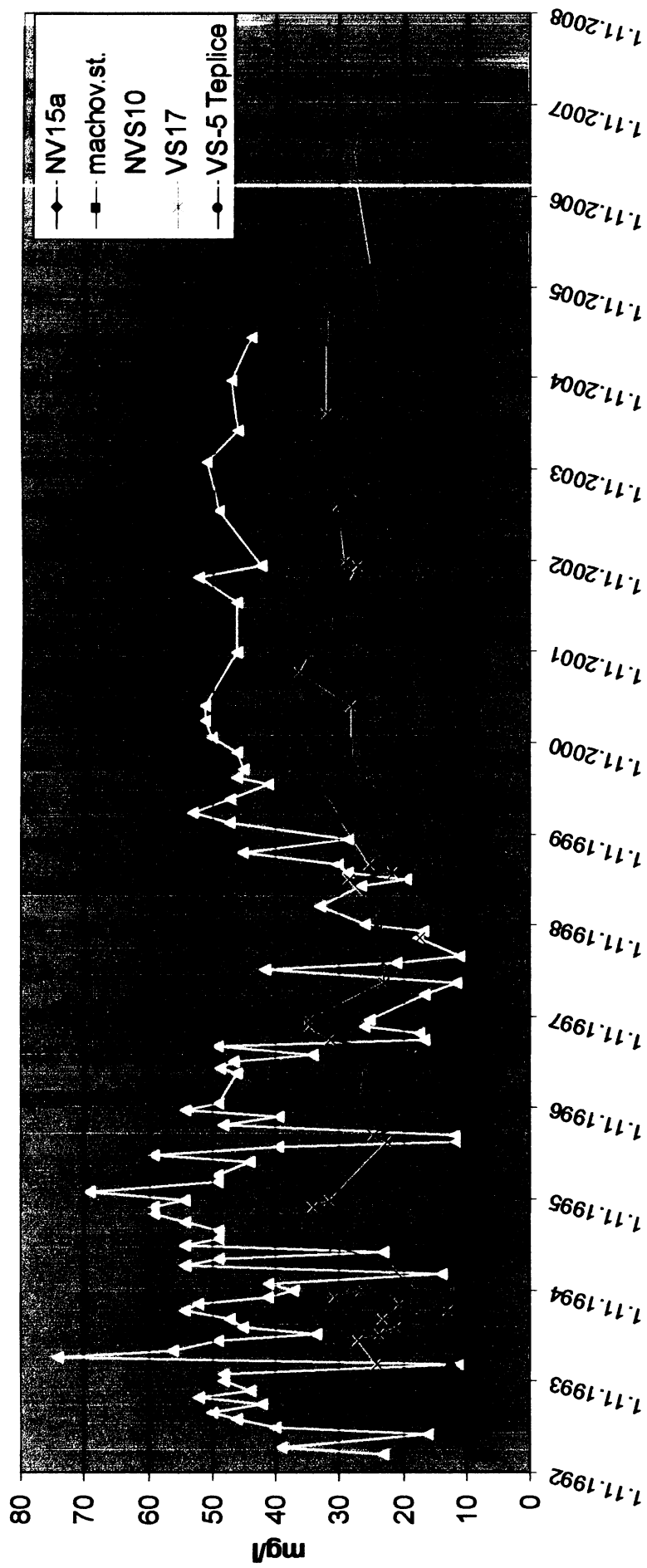
Hodnoty pH jsou vesměs shodné pro všechny zmíněné objekty. Pohybují se v rozmezí 7 – 8, převážně však kolem 7,5 a v čase se nikterak významně nemění.

Obsah vápenatých iontů je ovlivněn především geologickým prostředím. Nejnižší koncentrace Ca^{2+} (okolo 40 mg/l) vykazuje voda z vrtu VS-5, dále machovská studna ($\text{cCa}^{2+} \sim 65$ mg/l), NV15a Petrovičky ($\text{cCa}^{2+} \sim 75$ mg/l), VS-17 Hlavňov ($\text{cCa}^{2+} \sim 80$ mg/l) a nakonec NVS-10 Plachty, kde jsou hodnoty opět velice rozkolísané (60-120 mg/l), což je zřejmě způsobeno míšením vod z různých kolektorů. Vysoké hodnoty obsahu vápenatých kationtů u vrtu NVS-10 mají pravděpodobně původ v polohách vápenatých pískovců a slínovců, které se vyskytují v rámci skupiny bělohorského a jizerského souvrství. S výjimkou vrtu NVS-10 se hodnoty obsahu Ca^{2+} v čase podstatně nemění.

6.2. Koncentrace dusičnanů v podzemní vodě polické pánve a jejich změny v čase

Tak jako i v jiných částech České republiky jsou i v polické pánvi podzemní vody ovlivněny používáním minerálních hnojiv, které se odráží ve zvýšených koncentracích dusičnanových iontů. Zde je nejvíce zasažen kolektor C, jehož horniny v některých místech vystupují až k povrchu i v centrálních částech pánve a jsou tak snáze ohroženy infiltrací znečištěné vody z polí. V podzemní vodě z hlubších zvodní dosahují koncentrace NO_3^- hodnot okolo 10 mg/l, zatímco u zdrojů jímajících vodu kolektoru C byly v minulosti zaznamenány koncentrace běžně převyšující limit pro pitnou vodu 50 mg/l a ojediněle i 100 mg/l (jímací zářezy Stárkov). Časový vývoj koncentrací NO_3^- pro vybrané zdroje je znázorněn v grafu na obrázku č. 6. Z grafu je patrný značný rozdíl v hodnotách pro jednotlivé jímací objekty. Důvodem pro absenci vyššího množství dusičnanů v hlubších kolektorech je nejspíše jejich redukce na elementární dusík. K tomuto procesu dochází běžně v hlubokých kolektorech, kde panuje redukční prostředí, pomocí dvojmocného železa. V polické pánvi, kde jsou koncentrace železa v podzemní vodě naprosto minimální a často pod mez detekce, je činitelem redukujícím nitráty patrně organický uhlík.

graf vývoje koncentrací dusičnanů v podzemní vodě u vybraných
jímacích objektů



Obr. 6/ Graf vývoje koncentrací dusičnanů v podzemní vodě polické pánve u vybraných objektů.

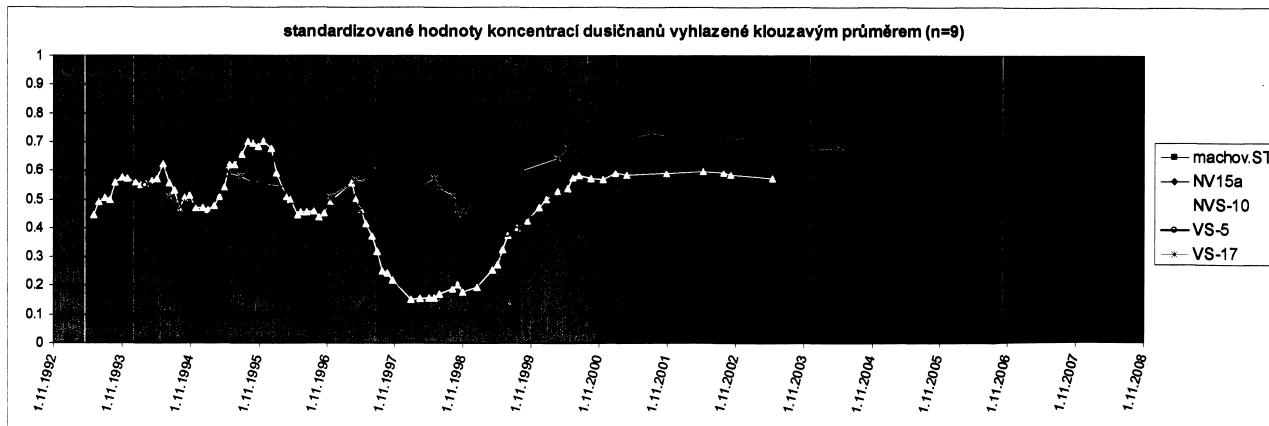
Na grafu v obrázku 6 se koncentrace dusičnanů v podzemní vodě z objektů jímajících vodu s podílem bazálních kolektorů jeví jako v čase prakticky stálé. Pokud však data standardizujeme, aby bylo možné dobře porovnat všechny časové řady, zjistíme, že některé trendy lze bezpečně identifikovat na všech křivkách zobrazujících obsahy dusičnanů v čase ve všech pěti objektech – viz graf na obrázku 7. Na dalším grafu na obr. č. 8 jsou tato data pro lepší názornost navíc vyhlazena klouzavým průměrem. Data standardizovaná podle vzorce v kapitole 6.1. dávají informaci o tom, jak se mění hodnoty v rámci rozsahu každé jednotlivé datové sady. Při porovnávání průběhu koncentrací dusičnanů v podzemní vodě z různých objektů bez provedené standardizace se vlivem rozdílného měřítka jeví časové řady nabývající nižších hodnot (machovská studna, NV15a, VS-5) jako poměrně stálé. Absolutní změny v jejich průběhu se oproti změnám zbývajících dvou řad (NVS-10, VS-17) jeví jako naprosto zanedbatelné. Naproti tomu standardizovaná data, která zobrazují relativní hodnoty každé časové řady vzhledem k jejich absolutnímu rozpětí (rozdíl maximální a minimální hodnoty), umožňují dobré grafické srovnání.

Zhruba od roku 1996 se tak dají u všech zobrazených objektů identifikovat stejné trendy, přičemž posun mezi jednotlivými řadami není nijak velký. Podle předpokladu se změny objevují nejdříve u vrtu NVS-10, jímajícího vodu s převažujícím podílem kolektoru C, který reaguje na vnější změny (množství srážek, intenzita hnojení apod.) nejrychleji. Časový posun oproti ostatním objektům činí 0,5 – 1 rok.

Koncentraci dusičnanů v podzemní vodě tedy kromě míry dotace dusíku významně ovlivňují regionální vlivy patrné v celé polické pávni včetně severní části, kterou lze dle dosavadních průzkumů považovat prakticky za samostatnou.



Obr. 7/ Graf standardizovaných hodnot koncentrací dusičnanů v podzemní vodě polické páne



Obr. 8/ Graf standardizovaných hodnot koncentrací dusičnanů v podzemní vodě, klouzavé průměry.

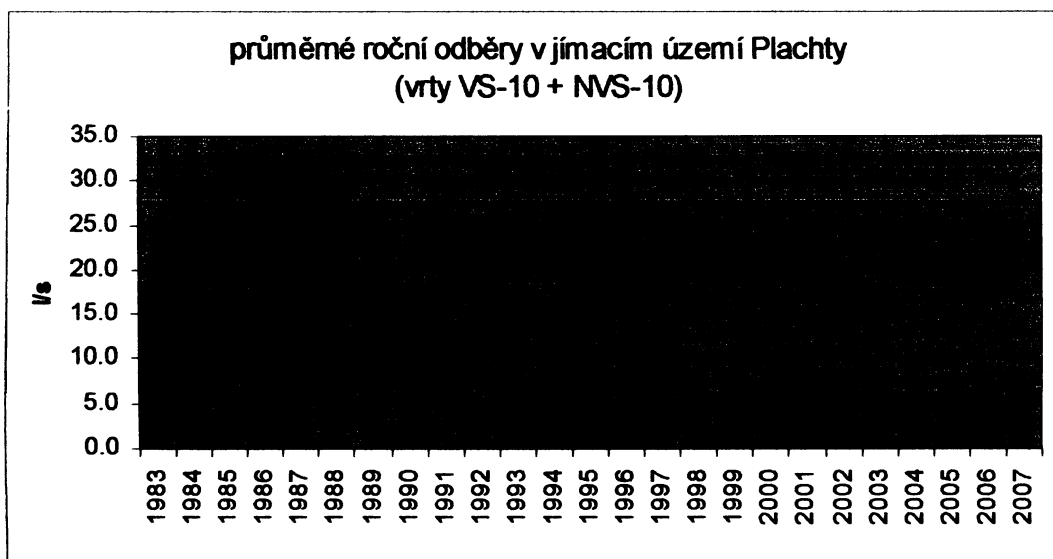
6.3. Jímací území Plachty

Jako jímací území Plachty je označována terénní deprese jižně od intravilánu Police nad Metují se dvěma vodárenskými vrty VS-10 a NVS-10 situovanými přímo na polickém zlomu. Vrty jsou pravděpodobně zastíženy silně tektonicky porušené horniny, o čemž svědčí údaje z čerpací zkoušky provedené po vyhloubení vrtu VS-10, kdy bylo postupně čerpáno až 77 l/s při snížení 10 m od ustálené hladiny.

Vrt VS-10 byl realizován v letech 1962-63 a prošel celým křídovým pokryvem až do permokarbonu, kde skončil. V úseku, kde prochází permokarbonskými horninami, je vrt zacementován. Vrt je vystrojen tak, že propojuje všechny křídové kolektory (A1+T, A2, C). Využitelná vydatnost je stanovena na 30 l/s. Při hloubení vrtu byly prováděny etážové čerpací zkoušky v různých hloubkách. V hloubkách 107 a 157 m pod terénem (odpovídajícím kolektoru C) bylo čerpáno kolem 45 l/s při snížení hladiny o cca 3 m (ustálená hladina dokumentována 6,3 a 7,8 m pod terénem). Téměř shodných výsledků bylo dosaženo i při čerpací zkoušce v hloubce 258 m pod terénem (kolektor A2, ustálená hladina 9,3 m p.t.).

Vrt NVS-10 byl realizován v roce 1973 jako náhrada za vrt VS-10, který nevyhovoval pro vysoké koncentrace dusičnanů. Vrt je ukončen v hloubce 160 m v kolektoru C. Využitelná vydatnost je stanovena na 10 l/s.

Čerpání vrtu VS-10 pro hromadné zásobování bylo zahájeno v sedmdesátých letech, vrt NVS-10 je v provozu zhruba od roku 1985. V průběhu let 1979-1989 bylo z vrtů čerpáno množství kolem 20-30 l/s. Po roce 1990 byly odběry sníženy a v roce 1991 bylo využívání tohoto území na rok zcela zastaveno. Důvodem byla nevyhovující kvalita podzemní vody způsobená vysokým obsahem dusičnanů. V roce 1992 bylo obnoveno využívání obou vrtů. V roce 1996 byl vrt VS-10 opět odstaven pro vysoké koncentrace NO_3^- přesahující hodnoty 50 mg/l a až do současnosti není využíván s výjimkou havarijních situací, kdy slouží jako záložní zdroj. Vrt NVS-10 je od obnovení využívání jímacího území v roce 1992 čerpán bez větších přestávek. V současnosti se odběry pohybují kolem 7 l/s.

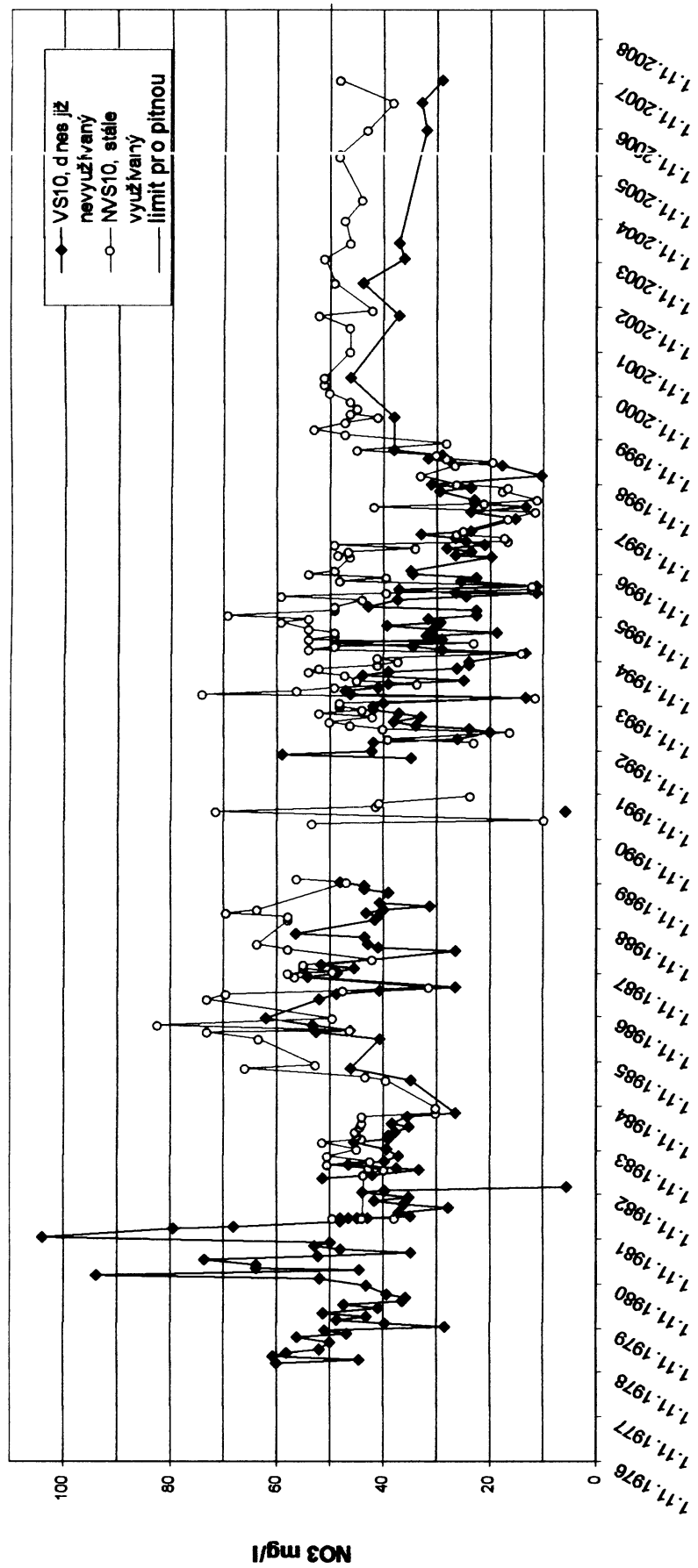


Obr. 9/ Graf průměrných ročních odběrů v jímacím území Plachty (sloupce představují celkový odběr z jímacího území z obou vrtů)

V grafu na obrázku 10 je znázorněn časový vývoj koncentrace dusičnanů v podzemní vodě z vrtů VS-10 a NVS-10. Graf jasně ukazuje, že oba vrtý jímají vodu s prakticky shodným složením i přesto, že vrt VS-10 propojuje všechny křídové kolektory, zatímco vrt NVS-10 je ukončen v kolektoru C.

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. Důvodem, pro který je vrt VS-10 odstaven, by měly být vysoké koncentrace NO_3^- ve chvíli, kdy je vrt intenzivně čerpán. Vrt VS-10 však vykazuje nižší koncentrace dusičnanů dlouhodobě i v průběhu 80. let, kdy z něho bylo odebíráno v průměru kolem 20 l/s. Může se jednat o zdání způsobené nízkou četností chemických rozborů, avšak pokud neexistují jiné důvody pro odstavení vrtu VS-10 kromě vysokých koncentrací dusičnanů (technické, provozní, apod.), bylo by vhodné ověřit, zda se skutečně se zvyšováním odběru z vrtu VS-10 zvyšují i koncentrace dusičnanů v čerpané vodě a zda by v případě nutnosti navýšení odběrů nebylo vhodnější využívat spíše jej než vrt NVS-10.

koncentrace dusičnanů v jímacím území Plachty - vrty VS-10 a NVS-10



Obr. 10/ Graf vývoje koncentrací dusičnanů v jímacím území Plachty

Do grafu na obrázku 10 nejsou vyneseny bodové hodnoty koncentrací dusičnanů ve vrtu VS-10, které byly stanovovány v rámci čerpacích zkoušek a při hloubení vrtu. Podle geologické dokumentace byly v průběhu hloubení vrtu odebírány vzorky podzemní vody z různých hloubek – viz tabulka číslo 3.

Tabulka číslo 3 Koncentrace dusičnanů ve vrtu VS-10 ze vzorků odebraných v průběhu vrtání a při čerpací zkoušce po vyhloubení vrtu (převzato z Vrba 1966)

datum odběru	NO ₃ ⁻ mg/l	hloubka
18.11.1962	32	50 m
7.12.1962	32	106.6 m
7.1.1963	40	157 m
1.7.1963	23	dlouhodobá čerpací zkouška po vyhloubení vrtu
8.7.1963	25	
14.7.1963	23	
25.7.1963	30	

V roce 1975 udává Kněžek et al. hodnoty koncentrací dusičnanů z vrtu VS-10 okolo 30 mg/l. Na začátku roku 1979 se však koncentrace dusičnanů ve vrtu VS-10 pohybují už kolem 60 mg/l.

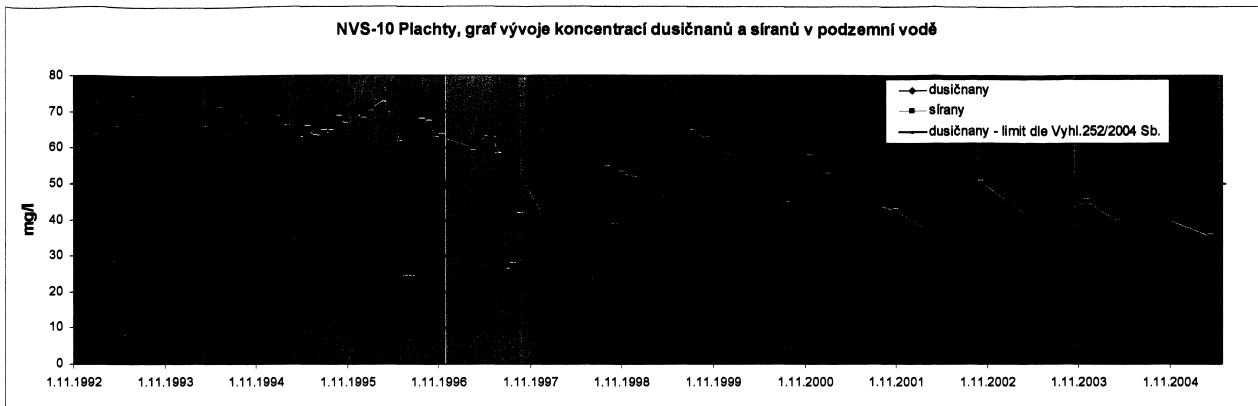
Přítomnost dusičnanů ve vrtu VS-10 v koncentracích 20-30 mg/l již v roce 1962, tedy na samém počátku intenzivního využívání umělých hnojiv, poukazuje na poměrně krátkou dobu zdržení alespoň části podzemní vody.

6.4. Jakost podzemní vody v jímacím území Plachty

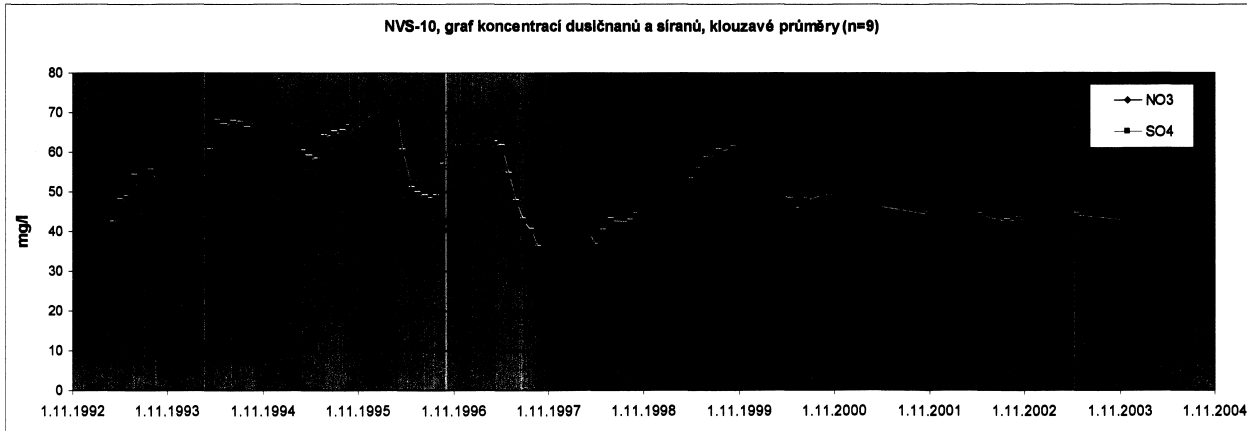
V grafu na obrázku 11 jsou vyneseny hodnoty koncentrací dusičnanů a síranů v podzemní vodě z vrtu NVS-10. Na dalším grafu jsou pak ta samá data vyhlazena klouzavým průměrem. Pokud tato data standardizujeme a porovnáme ještě s průběhem koncentrace chloridů, dostaneme graf, který je znázorněn na obrázku číslo 13. Průběh koncentrace chloridů může dávat informaci o případném ředění podzemní vody. Z velice dobré shody těchto křivek na zmíněném grafu se tedy dá usuzovat na skutečnost, že výrazný propad v koncentraci dusičnanů v letech 1997-1999, který je zřejmý na datech z různých částí polické pánve (viz předchozí kapitola), není s velkou pravděpodobností způsoben snížením množství

aplikovaných hnojiv po roce 1989, tak jak to předpokládá Krásný a spol. ve zprávě z roku 2002. Autoři tohoto textu měli k dispozici údaje do roku cca 1995, kdy obsahy dusičnanů jevíly stagnaci nebo mírný pokles, který je však v dalších letech následován prudkým propadem. Po tomto snížení dochází u vrtů NVS-10 a VS-10 k opětovnému rychlému nárůstu na původní hodnoty během 1-2 roku. V případě ostatních sledovaných objektů je situace podobná – po charakteristickém propadu se hodnoty vracejí na stejnou úroveň, nebo mírně vzrůstají.

Konečná fáze na křivce chloridů, jejíž průběh se již s ostatními složkami neshoduje (stálý a postupný pokles), může mít několik příčin. V současnosti se koncentrace chloridů ve vrtu NVS-10 pohybují kolem 6-7 mg/l, zatímco na začátku 90. let kolísaly kolem 20 mg/l. Podle informací Správy CHKO Broumovsko (p. Malík, ústní sdělení 2008) by tento pokles neměl být způsoben zimním solením silnic, jelikož solení komunikací se na území polické pánve provádí až v posledních několika letech, kdy bylo upuštěno od posypů škvárou. Zdrojem chloridů by tak stejně jako v případě dusičnanů mohla být průmyslová hnojiva, v kterých bývají Cl^- součástí draselných hnojiv jako chlorid draselný. Jak vyplývá z grafu na obrázku 14 došlo po roce 1989 v Čechách k drastickému snížení množství draslíku (a tím i Cl^-) aplikovaného na zemědělskou půdu.

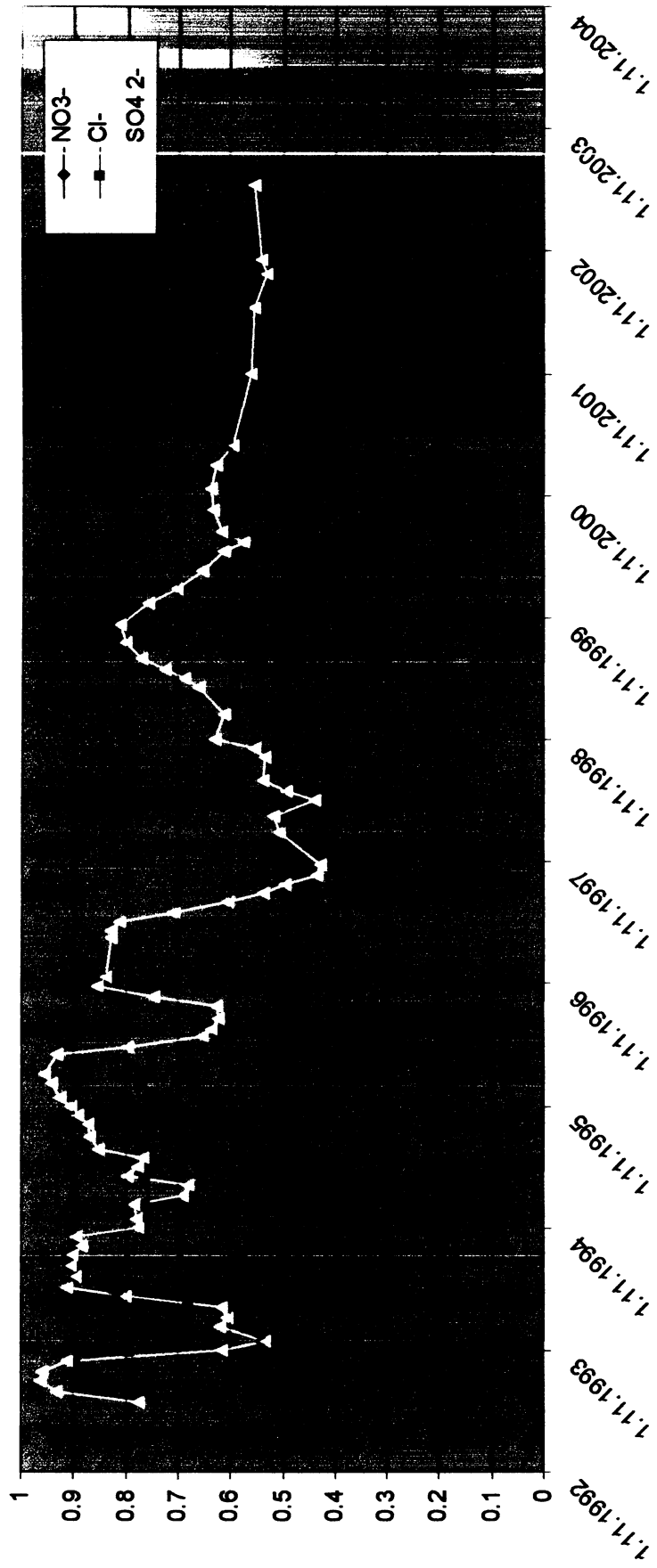


Obr. 11/ Graf vývoje koncentrací dusičnanů a síranů ve vrtu NVS-10 Plachty

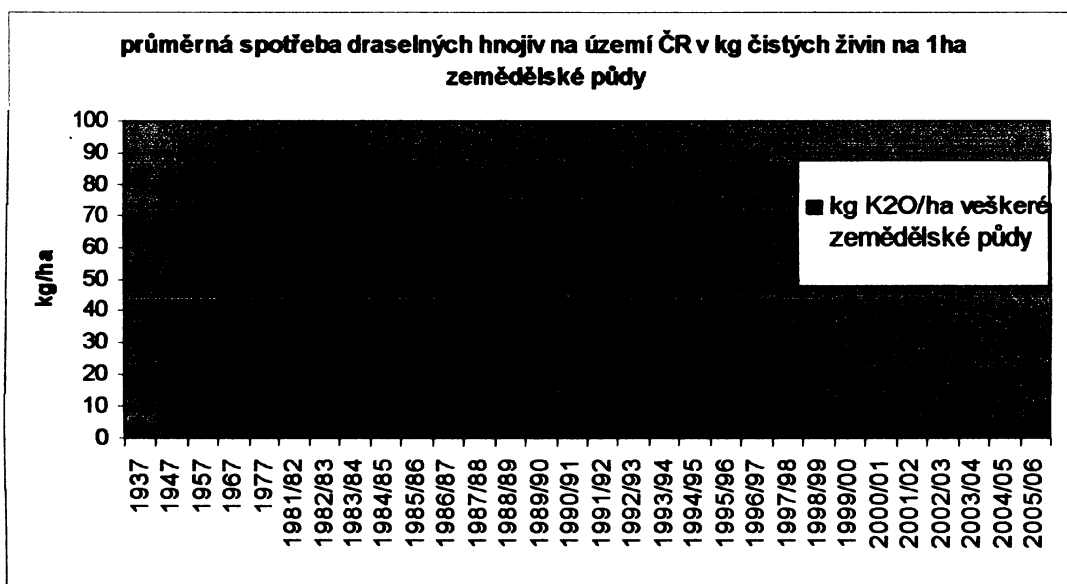


Obr. 12/ Graf vývoje koncentrací dusičnanů a síranů ve vrtu NVS-10 Plachty vyhlazený klouzavým průměrem

standardizované hodnoty koncentrací vybraných složek ve vrtu NVS-10 vyhlazené klouzavým průměrem



Obr. 13/ Graf vývoje standardizovaných koncentrací dusičnanů, síranů a chloridů ve vrtu NVS-10 Plachty



Obr. 14/ Graf množství aplikovaných draselných hnojiv na území ČR. Přepočteno na kg čistých živin/ha zemědělské půdy. Zdroj dat: on-line databáze ČSÚ (www.czso.cz); Jelínek: Vyhodnocení příčin úbytku volně žijících živočichů v krajině; Jihočeská Univerzita – Přílohy k interním vědeckým informacím.

Toto drastické snížení přísunu chloridových iontů do podzemní vody se dle mého názoru může značnou měrou podílet na poklesu koncentrace chloridů v podzemní vodě polické pánve.

Podobně je až překvapivě dobrá korelace obsahu síranů s obsahem dusičnanů s velkou pravděpodobností způsobena aplikací umělých hnojiv. Síra je přítomna v některých druzích umělých hnojiv – např. síran amonný, či jako příměs v superfosfátech. V současné době se již nelze dopátrat přesných údajů o typech hnojiv, která byla používána v 60-80 letech na území polické pánve. Budeme-li ale opět vycházet z „celorepublikových“ statistik, zjistíme, že v šedesátých letech bylo do půdy zapraveno spolu s minerálními hnojivy přes 200 tis. tun síry ročně (Hlušek, 2004), což při výměře orné půdy kolem 3,3 milionů hektarů činí kolem 60 kg S/ha. Po roce 1989 klesla rapidně spotřeba všech minerálních hnojiv, zejména z ekonomických důvodů. Na pozemcích v okolí Police nad Metují, které obhospodařuje Družstvo vlastníků Police nad Metují, je v současnosti jediným používaným dusíkatým minerálním hnojivem ledek. Podle předsedy družstva, pana Ing. Šrámka, je situace na ostatních pozemcích v okolí Police, na kterých hospodaří soukromníci, zřejmě stejná. Příčinou podobného vývoje koncentrací dusičnanů a síranových iontů tedy může být současné používání síranu amonného jako zdroje dusíku v letech před rokem 1989. Rázné snížení jeho aplikace (pokud

byl používán) a jeho nahrazení ledkem, by se pak mohlo odrážet v dlouhodobém poklesu koncentrace síranů od roku cca 1997, odkdy se jejich koncentrace trvale snižují a oproti předcházejícímu období nabývají nižších hodnot než dusičnany.

Na základě porovnání všech výše uvedených údajů o časovém vývoji jednotlivých složek v různých jímacích objektech se domnívám, že jejich průběh v čase je ve sledovaném cca čtrnáctiletém časovém období ovlivněn několika faktory, jejichž účinek se vzájemně překrývá. Jednak je to v případě koncentrací NO_3^- a SO_4^{2-} způsob aplikace průmyslových hnojiv, jejichž nevhodné užívání v historii (například aplikace na zamrzlou půdu, nadměrná množství, používání v nepatřičných fázích vegetace a roku) může mít za následek značné rozkolísání křivky koncentrace dusičnanů v období cca do roku 2000, po němž se křivky ustalují. Dalším činitelem jsou dle mého názoru regionální jevy, patrné na chemickém složení v celé části pánve. Jedním z hlavních by mohlo být doplňování zásob podzemní vody a tím způsobené naředění.

Používání minerálních hnojiv, tedy jejich množství, druh a způsob aplikace, ovlivňuje nejen obsahy dusíku v podzemní vodě polické pánve, ale i další její složky, jakými jsou síranové a chloridové anionty.

Poznámka:

Pro sestrojení datových řad jsem použil převážně pouze data z vrtu NVS-10. Vrt VS-10 vykazuje ve sledovaném období prakticky shodné hodnoty jako vrt NVS-10, ale v důsledků jeho nevyužívání na něm nejsou realizovány chemické rozborů s dostatečnou četností, které by umožňovaly dobré srovnání jednotlivých komponent.

Vývoj koncentrací v jednotlivých objektech může být dále ovlivněn režimem čerpání. Toto by mohlo platit zejména u jímacího území Plachty, které se nachází v silně porušených a propustných horninách a které bylo v minulosti intenzivně využíváno. Nárazové čerpání zde může mít za následek vytváření preferenčních cest proudění podél puklin a porušených zón s rychlostmi proudění řádově vyššími oproti obdobím s mnohem nižší intenzitou využívání těchto vrtů.

Zde bych chtěl poukázat na výkyvy v koncentracích prakticky všech složek podzemní vody ve vrtech VS-10 a NVS-10, patrné na grafech jako náhlé propady, kdy se složení vody z těchto vrtů podobá složení podzemí vody ze zdrojů

s převažujícím podílem vody z bazálních kolektorů. Tento jev může být způsoben jiným poměrem mísení vod, kdy vlivem intenzivního čerpání a snížení piezometrického napětí kolektoru C může dojít ke krátkodobému přičerpání vody z bazálních kolektorů. Situování jímacího území Plachty na polickém zlomu, kde se dá předpokládat mnohem vyšší vertikální propustnost hornin toto nevyklučuje. Dle geologické dokumentace vrtu VS-10 je zde navíc rozdíl piezometrických napětí mezi kolektorem C a bazálními zvodněmi při neovlivněném stavu jen cca 1-2 m.

7. BILANCE DUSÍKU, MNOŽSTVÍ APLIKOVANÝCH HNOJIV

Dusík se do podzemní vody přirozeně dostává v amoniakální formě z rozkladu organické hmoty. Následná oxidace NH_4^+ , kterou ještě usnadňují půdní bakterie, je procesem zapříčiňujícím přirozenou dotaci NO_3^- .

Rozklad organické hmoty a následná oxidace amonných iontů však nemůže zapříčinit výrazně vyšší koncentrace NO_3^- v podzemní vodě. Jejich hlavním zdrojem v polické pánvi je používání průmyslových (minerálních) hnojiv. Bilance množství dusíku, které může vstupovat do podzemní vody ve formě nitrátů, ať už z přirozených zdrojů nebo jako antropogenní znečištění, je nutným podkladem pro transportní model a pro úvahy o jejich šíření v podzemní vodě.

Zjistit přirozenou „požadovou“ koncentraci dusičnanů v podzemní vodě, která je způsobena přirozenými procesy bez ovlivnění člověka, je na území polické pánve dnes již nemožné. Obsahy dusičnanů v podzemní vodě kolektoru C se pohybují většinou v řádu desítek mg/l. V hlubších kolektorech se sice obsahy NO_3^- pohybují do 10 mg/l, i zde jsou však patrné tendence mírného nárůstu obsahu v čase. Množství dusíku vstupující do podzemní vody z rozkladu organické hmoty závisí na mnoha faktorech (geologie, klima, teplota, humidita, typ rostlinného pokryvu, členitost terénu, atd.). Obecně lze říci, že ve většině odborných článků, zabývajících se bilancí dusíku v podzemní vodě a jeho zdroji, považují autoři koncentrace do 8-13 mg dusičnanů v litru za přirozené bez ovlivnění člověkem (např. David K. Mueller a Dennis R. Helsel, USGS, 1996, či F. Mourabit a kol. 2001).

V polické pánvi jsou vysoké koncentrace dusičnanů v podzemní vodě způsobeny používáním umělých hnojiv, kde je dusík přítomen v oxidované formě. Pro úvahy o bilanci a vstupních koncentracích ve zdroji neuvažují dusík v amoniakální formě z organických hnojiv.

Pro odhad celkového množství dusíku, které se do podzemní vody dostává přičiněním člověka, uvažují následující bilanci (pouze NO_3^-):

$$N_{\text{gw}} = N_{\text{přirozený}} + N_{\text{aplik.}} - N_{\text{spotř.}} - N_{\text{ztráty}}$$

kde značí:

N_{gw} – celkové množství dusíku ve formě NO_3^- , které se dostává do podzemní vody

$N_{\text{přirozený}}$ – množství dusíku ve formě NO_3^- z přirozeného rozkladu organické hmoty

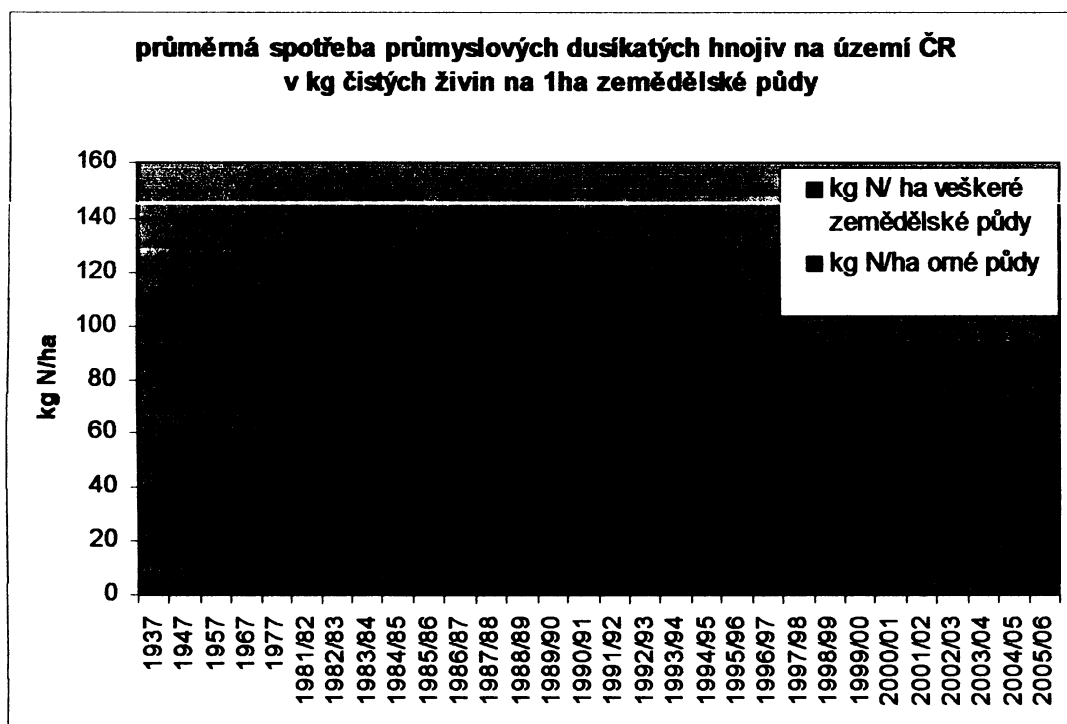
$N_{\text{aplik.}}$ – množství dusíku ve formě NO_3^- z aplikovaných hnojiv

$N_{\text{spotř.}}$ – množství dusíku ve formě NO_3^- , které je využito rostlinami

$N_{\text{ztráty}}$ – množství dusíku z aplikovaných hnojiv, které není využito rostlinami nebo nepřechází do podzemní vody jako NO_3^- (povrchové splachy, denitrifikace, dusík vázaný v půdě)

Odhad velikosti jednotlivých členů v této bilanci je důležitý pro model transportu dusičnanů, je pro něj však třeba učinit jistá zjednodušení. Už samotné vyjádření bilance v sobě skrývá schematizaci, neboť nezahnuje dusík v amoniakální formě z organických hnojiv, který může být v půdě oxidován na dusičnany. Množství NO_3^- pocházející z oxidace NH_4^+ považují vzhledem k množství dusičnanů vstupující do podzemní vody z umělých hnojiv v případě polické pánve za zanedbatelné.

V grafu na obrázku 15 je znázorněna spotřeba umělých hnojiv na území ČR v přepočtu na hektar zemědělské půdy. Do grafu je dále vynesena spotřeba přepočtená na hektar orné půdy – dle údajů z on-line databáze Českého statistického úřadu, která je veřejně přístupná na webových stránkách ČSÚ tvoří dlouhodobě orná půda na území ČR 75 % veškeré zemědělské půdy.



Obr. 15/ Graf množství aplikovaných dusíkatých minerálních hnojiv na území ČR.
Zdroj dat: on-line databáze ČSÚ (www.czso.cz); Jelínek: Vyhodnocení příčin úbytku volně žijících živočichů v krajině; Jihočeská Univerzita – Přílohy k interním vědeckým informacím.

Z grafu vyplývá, že intenzivní používání umělých hnojiv začíná na konci šedesátých let, přičemž maxima dosahuje mezi lety 1983-1986. Po roce 1990 nastává pokles následovaný postupným mírným růstem až do dnešní doby. Graf znázorňuje průměrné hodnoty. Skutečné množství používaných minerálních hnojiv se bude lišit nejen pro různé zemědělské subjekty, ale i podle druhu pěstovaných plodin. Nicméně množství kolem 100 kg N/ha v posledních několika letech dobře koresponduje s informacemi o spotřebě průmyslových hnojiv v okolí jímacího území Plachty, které jsem získal od Ing. Šrámka – předsedy agro družstva obhospodařujícího značnou část pozemků v okolí Police nad Metují. Dle jeho slov se množství dusíkatých hnojiv pohybuje kolem 80-110 kg N na hektar orné půdy v závislosti na druhu plodiny, přičemž je tendence toto množství snižovat a potřebný dusík aplikovat v amoniakální podobě pomocí organických hnojiv. Jako minerální hnojivo je zde používán téměř výhradně ledek. Co se týče ostatních subjektů hospodařících na pozemcích v území polické pánve, nepodařilo se mi zjistit bližší informace, ale dá se předpokládat, že i zde bude situace podobná (Ing. Šrámek, 2006, ústní sdělení).

Co se týče množství aplikovaného hnojiva v okolí Police nad Metují v letech před rokem 1990, je nutné se spolehnout na statistické údaje, jak jsou zobrazeny na grafu v obrázku 15.

Množství dusíku, který je využit rostlinami, se mění podle vlhkosti půdy, teploty, doby aplikování, typu hnojiva, druhu rostliny, pH půdy a mnoha dalších faktorů. Přesné určení tohoto množství by si vyžádalo sestavení samostatného modelu a bylo by spíše záležitostí pedologicko-biologickou. Pro účely diplomové práce bude dostatečný odhad založený na údajích o využití dusíku z práce Růžka a kol. (2006). Podle tohoto článku se množství dusíku z minerálních hnojiv, které jsou rostliny schopny přijmout, pohybuje v ČR v současné době mezi 30-50% v závislosti na množství srážek, úrodnosti půdy a době aplikace. Zbytek tvoří dusík vázaný v půdě, ztráty vyplavením a denitrifikací. Pro výpočet množství dusíku ve formě NO_3^- , které se mohlo v době intenzivního používání minerálních hnojiv dostávat trvale do podzemních vod polické pánve, vycházím z následující jednoduché úvahy:

- využití dusíku z aplikovaných hnojiv předpokládám na spodní hranici rozpětí 30-50 %, které platí pro současný způsob hospodaření; v době intenzivního hnojení by mohlo v úvahu připadat ještě nižší množství
- z nevyužitého množství NO_3^- počítám $\frac{1}{2}$ jako dotaci do podzemní vody, zbytek tvoří splachy po povrchu a denitrifikace
- předpokládám že se dusičnany dostávají do podzemní vody se srážkami infiltrovanými přes půdní vrstvu, přičemž do výpočtu uvažuji, že infiltruje $\frac{1}{3}$ veškerých srážek

Při těchto předpokladech docházím k množství zhruba 50 kg N/ha/rok, které vstupuje do podzemní vody v době nejintenzivnějšího hnojení. Při předpokladu infiltrace $\frac{1}{3}$ srážek dostávám trvalý tok dusíku do podzemní vody v koncentraci kolem 100 mg/l NO_3^- . Vzhledem k tomu, že hnojení probíhá pouze v omezených časových intervalech během roku, kdy je naráz aplikováno velké množství hnojiva, mohou být zřejmě koncentrace NO_3^- ve zdroji znečištění krátkodobě několikrát vyšší. Tomu ostatně nasvědčují i výsledky numerického modelu transportu znečištění.

8. MATEMATICKÝ MODEL PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY

Pro modelování transportu kontaminantu (NO_3^-) bylo zapotřebí sestavit stacionární (proudový model), pro který jsem použil software GroundWater Vistas 4.12 (Jim Rumbaugh, Doug Rumbough, Environmental Simulations, Inc, 1996-2003), který je společným uživatelským prostředím pro vlastní matematický model MODFLOW a další podobné modely proudění podzemní vody a transportu látek. Pro vlastní řešení proudění podzemní vody jsem použil model MODFLOW (*Modular Three-Dimensional Finite-Difference Grounwater Flow Model*) M.G. Mcdonalda a A.W. Harbaugha (USGS). Jedná se o ucelený trojrozměrný model, který řeší rovnici proudění podzemní vody metodou konečných rozdílů v jednotlivých pravoúhlých buňkách, na které je modelová oblast rozdělena. Diskretizace oblastí do jednotlivých buněk je shodná pro všechny vrstvy modelu. Cílem stacionárního modelu je získat vhodný podklad, jímž je trojrozměrné proudové pole pro následný nestacionární model transportu dusičnanového znečištění v okolí jímacího území Plachty. Rychlost a směr regionálního proudění získané ze stacionárního modelu také slouží jako první přiblížení pro úvahy o možných zdrojích kontaminace a rychlostech transportu látek.

8.1. Konceptuální model

Koncepce modelu vychází ze zjednodušené představy o geologii a hydrogeologii polické pánve na základě rešerše archivních průzkumů. Jako modelovou oblast jsem zvolil území v jižní části polické pánve pokrývající plochu cca 40 km² (viz příloha 4). Modelová oblast byla zvolena tak, aby pokrývala jímací území Plachty a jeho okolí. Hranice oblasti tvoří na západě průběh polického zlomu, na severu Pěkovský potok, z jihu pak tok Židovky a na východě okraj polické pánve. Bází modelu tvoří nepropustné podloží představované hranicí permokarbon / trias, popřípadě permokarbon / křída (v místech, kde nejsou zachovány triasové hominy). Modelová oblast byla zvolena tak, aby bylo možné reálné hranice popsat pomocí vhodně zvolených okrajových podmínek.

Proudění podzemní vody v polické pánvi se ve skutečnosti děje ve složitém systému 3-4 propustných vrstev oddělených od sebe relativně méně propustnými

poloizolačními tělesy. Pro účel modelu je situace zjednodušena a model sestává pouze ze 3 následujících vrstev:

1. modelová vrstva představuje horniny bělohorského, jizerského a teplického souvrství, tedy celý sled nacházející se nad stropem rohovcového souvrství.
2. modelová vrstva představuje rohovcové souvrství
3. modelová vrstva zastupuje horniny spojeného kolektoru A1+T a horniny mezi jeho stropem a bází rohovcového souvrství

Izolační tělesa jsou v modelu simulována pomocí odlišné vertikální hydraulické vodivosti.

Geometrie vrstev je znázorněna na obrázku v příloze 5. Horizontálně byly jednotlivé vrstvy vymezeny na základě zjištěných či přijatých údajů o geologické stavbě z vrtných prací.

Vstupní údaje hodnoty infiltrace jsem stanovil na základě minimálních průtoků toků odvodňujících území modelové oblasti. Výsledná hodnota specifického podzemního odtoku $q = 6,75 \text{ l/s/km}^2$ je do modelu zadána jako infiltrace v celé ploše 1. vrstvy a představuje jediný zdroj vody.

Do modelové oblasti zasahují dva významné zlomy (polický a bělský), které jsou modelovány jako samostatná tělesa – jsou tedy představovány pruhem buněk s odlišnými hydraulickými vlastnostmi. Polický zlom uvažuji nepropustný v celém jeho průběhu v rámci modelové oblasti pouze pro 1. a 2. vrstvu. Podle výšky skoku předpokládám, že v rámci kolektoru A1+T je polický zlom příčně protékán.

Bělský zlom uvažuji jako příčně relativně nepropustný v rámci 2. a 3. modelové vrstvy. Po jeho západním okraji je předepsána okrajová podmínka typu „zeď“ (Wall, HFB = Horizontal Flow Barrier). Oba zlomy jsou navíc modelovány jako tělesa s vyšší hydraulickou vodivostí oproti okolí, vertikální i horizontální. Je tak alespoň částečně simulováno předpokládané zvýšení hydraulické vodivosti vlivem tektonického porušení hornin.

Dále je simulován kosý zlom Klůčku v severní části modelové oblasti, u kterého předpokládám relativně nepropustnou funkci. Zde je zadána okrajová podmínka „zeď“ (Wall, HFB = Horizontal Flow Barrier).

V rámci svrchní vrstvy modelu jsem přijal zjednodušení ohledně proudění vody přes okraje oblasti, kdy předpokládám, že oba toky tvořící hranice oblasti fungují jako hydrogeologické rozvodnice a polický zlom je příčně nepropustný. V 1. modelové vrstvě je tak po celé hranici předepsána Neumannova okrajová podmínka „nulový průtok“ (No-Flow). Východní hranici tvoří samotný okraj polické pánve, předpokládám tedy i zde nulový průtok přes hranici a to v rámci všech modelových vrstev. Dále jsou ve svrchní vrstvě zadány povrchové toky okrajovou podmínkou typu „řeka“ (River), která je nastavena tak, aby toky umožňovaly drenáž podzemní vody, ale nebyly jejím zdrojem. Velikost drenáže do toků je upravena volbou vhodné hydraulické vodivosti okrajové podmínky.

Podél celé hranice 2. modelové vrstvy je předepsána Neumannova podmínka typu „nulový průtok“.

Ve 3. modelové vrstvě předpokládám proudění podzemní vody skrz hranici modelu tvořenou polickým zlomem. Velikost průtoku napříč hranicí není zadána absolutně, ale je navolena pomocí okrajové podmínky „řeka“ (River) s vhodnou volbou hydraulické vodivosti a hydraulické výšky.

Přetékání mezi jednotlivými vrstvami je zadáno pomocí rozdílné vertikální hydraulické vodivosti.

V modelu jsou zadány průměrné odběry podzemní vody za rok 2007 z následujících zdrojů:

- NVS-10 Plachty; odběr 6,8 l/s z kolektoru C
- VS-17 Hlavňov; odběr 1,5 l/s z kolektoru C
- machovská studna; odběr 45,6 l/s z kolektoru A1+T

8.2. Numerický model, kalibrace, hlavní omezení modelu

Modelovaná oblast byla rozdělena do pravidelné sítě 48 873 pravoúhlých bloků. Síť je rozdělena po kroku 50 m v obou směrech a je shodná pro všechny modelové vrstvy.

Tabulka číslo. 4 Výchozí hodnoty horizontální a vertikální hydraulické vodivosti

modelová vrstva	odpovídající souvrství	K_x [m/s]	K_z [m/s]
1	C/D, C, A/C	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-9}$
2	A2	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$
3	A1, T, A1/A2	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-8}$

Stacionární model byl kalibrován na shodu se známými hladinami podzemní vody ve vrtech pro současný stav s odběry podzemní vody. V prvním přiblížení jsem použil hodnoty hydraulické vodivosti pro jednotlivé vrstvy podle tabulky č. 4. V průběhu kalibrace se však jasně ukázalo, že pro shodu modelu s měřenými hladinami je skutečně třeba pojmout oba zlomy jako tělesa s rozdílnými hydraulickými parametry narozdíl od okolí. Dále bylo nutno snížit horizontální vodivost všech modelových vrstev zhruba o jeden řád z důvodu vysychání buněk modelu v rozlehlých oblastech při okraji pánve. Totéž platilo u vertikální vodivosti 2. a 3. modelové vrstvy. Konečné rozložení přijatých hydraulických vodivostí je znázorněno v přílohách 7a,b. V průběhu kalibrace byla mírně změněna východní hranice modelu představovaná okrajem polické pánve – některé vysychající buňky při okraji pánve byly změněny na neaktivní. Kalibrace modelu je založena na celkem 21 objektech – viz tabulka 5 a mapa kalibračních bodů v příloze č. 6.

Tabulka číslo. 5 Porovnání přijatých a výsledných hladin podzemní vody

objekt	kolektor	hladina podzemní vody		rozdíl	souřadnice objektu v JTSK	
		přijata	z modelu		Y	X
		m n.m.	m n.m.	m		
V-6 Plachty	A1+T	440.7	440.2	0.5	1010727	608175
V-9 Bukovice	A1+T	445.5	452.7	-7.2	1008434	608717
VS-7 Suchý Důl	A1+T	419.8	453.1	-33.3	1009527	606384
NV-9 Bukovice	A1+T	445.5	452.7	-7.2	1008434	608717
machov. st.	A1+T	471.0	471.3	-0.3	1013627	605376
VS-10 Plachty	A1+T	442.0	440.9	1.1	1010591	608189
V-24 Bělý	A2	396.0	422.5	-26.5	1012753	607020
V-6 Plachty	A2	440.7	440.2	0.5	1010727	608182
V-9 Bukovice	A2	445.5	449.5	-4.0	1008434	608717
V-1 Suchý Důl	A2	495.0	493.2	1.8	1009462	606109
VS-16 Pěkov	A2	492.9	496.1	-3.2	1004995	607247
NV-9 Bukovice	A2	445.5	449.5	-4.0	1008434	608717
V-18 Bělý	A2	490.0	489.7	0.3	1012032	605136
machov. st.	A2	471.0	474.2	-3.2	1013609	605380
V-6 Plachty	C	440.7	440.0	0.7	1010749	608160
V-9 Bukovice	C	445.5	448.6	-3.1	1008434	608717
VS-12 Pěkov	C	520.8	525.6	-4.8	1005586	607550
VS-17 Hlavňov	C	506.0	506.3	-0.3	1008136	606356
VS-18 Pěkov	C	472.0	472.0	0.0	1007236	608949
NV-9 Bukovice	C	445.5	448.6	-3.1	1008434	608717
NVS-10 Plachty	C	439.0	439.9	-0.9	1010691	608076

U vrtů VS-7 Suchý Důl a V-24 Bělý se nepodařilo dosáhnout shody skutečné a modelované hladiny podzemní vody. U obou vrtů je hladina podzemní vod zakleslá hluboko pod terénem. Při terénním měření jsem ověřil u vrtu VS-7 hladinu podzemní vody v hloubce 72,2 m, což odpovídá kótě cca 419 m n.m. Vrt V-24 jsem přes veškerou snahu nebyl schopen v terénu nalézt ani po opakovaných pokusech,

ale dle archivních údajů se i zde hladina podzemní vody pohybuje v hloubce kolem 70 m pod terénem (kóta 395 m n.m.). Důvody mohou být následující:

- Vrt VS-7 je zřejmě situován v zapadlé kře v prostoru bělského zlomu bez významnějšího zvodnění (viz kapitola 3.3.2.), čemuž nasvědčuje skutečnost, že vrt V-1 vzdálený cca 40 m má artézský přetok.

- Vrt V-24 je pravděpodobně ovlivněn dosud ne zcela známou anomálií, podle RNDr. Kněžka může být vrt situován v pásmu porušených hornin machovské antiklinály (Kněžek 2008, ústní sdělení). Jiným vysvětlením může být menší výška skoku na polickém zlomu v jeho jižním průběhu, která dovoluje podzemní vodě z hlubších partií křídových hornin, či jejich podloží protékání napříč zlomem.

Po kalibraci model konverguje bez větších problémů a je numericky stabilní.

Omezení modelu vycházejí z následujících skutečností:

- a) z přijatých zjednodušení oproti realitě
- b) z měřítka modelu vyžadujícího schematizaci vstupních údajů
- c) z různé důvěryhodnosti vstupních údajů a poměrně malého počtu vrtů v modelové oblasti
- d) z vlastností programu MODFLOW

Za hlavní omezení pokládám právě zjednodušení, kterých jsem byl nucen se dopustit v rámci formulace konceptuálního modelu. Jde zejména o otázku protékání hranic modelu. Předpoklad nulového průtoku jistě není ve skutečnosti splněn, avšak podle mapy hydroizohyps podzemní vody polické pánve (Krásny et al. 1996) se v rámci kolektoru A1+T a A2 nevytváří v místech mnou zvolených hranic gradient hladiny podzemní vody směrem „do“ či „z“ modelové oblasti, který by značil významnější proudění přes hranice. Toto platí s výjimkou nejjihnější části modelu v okolí vrtu V-24, kde se dá předpokládat proudění podzemní vody směrem do modelu. Co se týče nejvyšší modelové vrstvy, považuji předpoklad nulového průtoku přes hranice v rámci přesnosti modelu za reálný.

Dalším problémem je míra důvěryhodnosti některých údajů o úrovních hladiny podzemní vody ve vrtech. Důvodem je zejména nevhodná výstroj mnoha vrtů. Nastává tak, v polické pánvi poměrně častá situace, kdy je vrtem propojeno více

zvodněných kolektorů, a je složité, ne-li nemožné, jasně určit, kterému kolektoru odpovídá zjištěné piezometrické napětí.

Model byl laděn pro současný stav, z toho důvodu jsem se snažil získat v terénu co nejvíce údajů o aktuálních úrovních hladiny podzemní vody ve vrtech. Některé objekty dnes však již nelze dohledat, tudíž jsem se v těchto případech musel spolehnout na archivní údaje z geologické dokumentace, či dříve realizovaných průzkumů, které dnes již nemusí být platné.

Nutnost schematizace vstupních dat se ukazuje jako největší problém v případě hydraulické vodivosti, která je vždy zadávána jako určitá homogenní zóna, kde sice může být stanovena anisotropie prostředí v rámci dané oblasti (rozdílné hydraulické vodivosti v různých směrech), ale tento model pak platí pro celou danou zónu. V prostoru kolem hlavních zlomů, kde se nachází i jímací území Plachty, se na proudění podzemní vody bude jistě velkou měrou uplatňovat pohyb vody po puklinách. Hydraulický dosah při čerpání z vrtů situovaných přímo na polickém zlomu (jímací území Plachty) pak může být mnohem větší, zvláště podél polického zlomu, než jak vyplývá z modelu. Toto omezení limituje zejména závěry transportního modelu.

8.3. Výsledky stacionárního modelu

Výsledné proudové pole získané stacionární simulací proudění podzemní vody je základem pro model transportu dusičnanových aniontů.

Prostorové rozdělení rychlosti proudění podzemní vody v rámci modelové oblasti je pro jednotlivé modelové vrstvy znázorněno v příloze 9. Narozdíl od předešlých numerických modelů proudění podzemní vody v polické pánvi, které byly vytvořeny za účelem poznání regionálního proudění a simulace různých odběrových variant, bylo třeba zaměřit pozornost i na nejvyšší kolektor C, který je nejvíce postižen dusičnanovým znečištěním a z kterého zřejmě pochází značná část vody čerpané vrty v jímacím území Plachty.

Stacionární model ukazuje, že porušené zóny kolem hlavních zlomů (bělský a polický) fungují jako drenáže podzemní vody a dochází zde k významnému vertikálnímu přetékání v rámci všech vrstev. Zlomy jsou koncipovány jako úzké pásy se zvýšenou vertikální i horizontální vodivostí, avšak příčně jen omezeně propustné. V případě bělského zlomu se tak podařilo namodelovat situaci, kdy podzemní voda přitékající z východní části pánve jen z malé části zlom protéká a hlavní proud směřuje podél zlomu k jihu do míst přirozené drenáže v prostoru machovské studny. Obdobná situace je i v případě polického zlomu.

Na křížení povrchových toků s hlavními poruchovými pásmy dochází v modelovém řešení k odvodňování podzemní vody do toků. Tento výsledek je v souladu se závěry průzkumu Koroše et al. (2003), který na všech tocích, jež se nalézají v mnou vybrané modelové oblasti, potvrzuje v místech křížení s hlavními tektonickými liniemi nárůst vodnosti.

9. MATEMATICKÝ MODEL TRANSPORTU NO_3^- V PODZEMNÍ VODĚ

Pro modelování transportu dusičnanů v podzemní vodě jsem použil transportní model MT3D (*A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems*, Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang), který je implementovanou součástí softwaru GroundWater Vistas.

Transport dusičnanů je modelován jako nestacionární, avšak v čase prakticky neměnném proudovém poli, získaném ze stacionárního modelu. Výjimkou jsou jen různé varianty odběrů podzemní vody, odpovídající průměrným reálným hodnotám pro dané časové období. Modelová oblast se nemění.

Vstupními údaji pro transportní model jsou:

- počáteční koncentrace kontaminantu (NO_3^-) v podzemní vodě
- zdroj kontaminantu
- koncentrace kontaminantu ve zdroji
- hydraulické parametry prostředí ovlivňující transport (porozita, disperzivita)
- reaktivita kontaminantu (rozpad, sorpce)

Vstup kontaminantu do modelu je zadán přes infiltraci a jeho absolutní hodnota je odlišná pro zdroje a pro ostatní plochy. Zdroj dusičnanů představují jednotlivá pole, která se nacházejí v modelové oblasti a jsou zadána jako polygony s odpovídající hodnotou vstupní koncentrace. Situace zdrojů je znázorněna na mapce v příloze č. 10. Zde jsou určeny koncentrace podle uvažované bilanční rovnice dusíku a průměrných statistických množství aplikovaných hnojiv (kapitola 7). Na zbývajících plochách je zadána stálá dotace dusičnanů o hodnotě 11 mg/l, která představuje přirozené zdroje NO_3^- . Hodnota 11 mg/l je zároveň zadána jako počáteční koncentrace. Celkem je zadáno 13 plošných zdrojů kontaminace. Protože v úvahu jako možné zdroje kontaminace podzemní vody v jímacím území Plachty připadají dvě oblasti nacházející se východně od polického zlomu, je model řešen v několika variantách, které se od sebe liší umístěním ohnisek kontaminace. Popis a výsledky jednotlivých variant jsou uvedeny dále v textu.

Porozitu a disperzivitou jsem určil podle litologie a předpokládaných hydrogeologických poměrů:

- efektivní porozita 4 %
- podélná disperzivita 100 m
- příčná disperzivita 10 m

Poměrně malá hodnota efektivní pórovitosti je takto zvolena záměrně, aby byl simulován předpoklad, kdy se transport kontaminantu odehrává převážně po puklinách v okolí polického zlomu. Po několika simulacích se ukázalo jako nezbytné snížit ještě více efektivní porozitu, aby modelová křivka koncentrace NO_3^- v pozorovaném objektu odpovídala co nejlépe skutečnosti. Konečná hodnota efektivní porozity je 3%.

Dusičnany bývají považovány za konzervativní složku, která se nesorbuje a v podzemní vodě prakticky nepodléhá žádným reakcím s výjimkou denitrifikace v hlubších kolektorech. Ta je zadána pomocí parametru „poločas rozpadu“ (Half Life Time) pro 2. a 3. modelovou vrstvu, který simuluje jejich propad v důsledku denitrifikace. Sorpce je zadána nulová. S výjimkou simulovaného rozpadu v bazálních kolektorech se tedy jedná o nereaktivní transport.

Oproti stacionárnímu modelu proudění je transportním modelem simulován stav za určité časové období. Narozdíl od proudového modelu jsou v transportním modelu zadány odběry z vodárenských zdrojů proměnné v čase tak, aby odpovídaly průměrným čerpaným množstvím v daném časovém období.

Transportní dobu jsem pro začátek zvolil cca 70 let, tj. od roku 1937 do současnosti, aby bylo možné porovnat skutečné koncentrace dusičnanů s modelovými. Počáteční krok výpočtu jsem zvolil 1 den, maximální krok je cca 25 dní. Transport je řešen v několika variantách, jejichž koncepce je stručně popsána v následujícím textu. Výsledky jsou ve formě izolinií koncentrací dusičnanů v kolektoru C spolu s grafem skutečných a modelových hodnot zobrazeny v přílohách 11a-f.

Tabulka číslo. 6 Hodnoty koncentrací dusičnanů ve zdrojích znečištění přijaté do modelu

období	1937-1947	1947-1957	1957-1967	1967-1977	1977-1981	1981-1982	1982-1983	1983-1984
NO ₃ ⁻ mg/l	15.2	14.6	23.2	51.9	95.6	105.0	106.3	110.9

období	1984-1985	1985-1986	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992
NO ₃ ⁻ mg/l	109.9	110.7	95.6	105.6	105.2	105.0	80.9	65.0

období	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000
NO ₃ ⁻ mg/l	56.6	65.9	65.6	59.2	63.7	63.7	62.5	66.1

období	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2008
NO ₃ ⁻ mg/l	69.0	72.9	64.3	71.3	69.6	71.6

9.1. Varianty řešení transportního modelu

Varianta 1

Varianta 1 představuje simulaci transportu v časovém úseku cca 70 let, který reprezentuje období od 40. let do současnosti. Výsledek modelu pak umožňuje porovnat skutečný vývoj koncentrací NO₃⁻ známý z chemických rozborů s modelovým výstupem. V této variantě je zadáno všech 13 zdrojů kontaminace, které jsou zobrazeny na mapce v příloze 10 a pro přehlednost očíslovány.

Výsledné rozložení koncentrací dusičnanů v kolektoru C je znázorněno v příloze 11a spolu s grafem, kde je srovnán průběh skutečných koncentrací v jímacím území Plachty (vrtý NVS-10 a VS-10) s modelovými hodnotami. Z grafu je vidět, že koncentrace z modelu se přibližují skutečným hodnotám až v závěrečných fázích křivky, které odpovídají zhruba současnosti. Nižší hodnoty, kterých modelová křivka nabývá v průběhu 70-80. let budou zřejmě způsobeny nepřesným odhadem vstupních koncentrací dusičnanů v jednotlivých zdrojích kontaminace. V závěru však křivka poměrně dobře koresponduje s reálnými hodnotami. Pokles koncentrací v pozorovacím bodě kolem roku 1990 je způsoben změnou režimu čerpání, kdy je simulováno odstavení obou vrtů a nulové odběry. Z tohoto období neexistují z jímacího území Plachty prakticky žádné kontrolní rozborů kvality vody, tudíž nelze potvrdit, zda se takto projevuje změna režimu čerpání i ve skutečnosti.

Varianta 2

Představuje stejné časové období, tj. cca 1937-2007, ale jako zdroje kontaminace jsou zadány pouze 3 pole nacházející se jižně a východně v blízkosti jímacího území – viz příloha 10. Spolu s variantou 3 umožňuje model v tomto nastavení lépe rozlišit vliv jednotlivých zdrojů na výslednou koncentraci v jímacím území.

Z výsledků této varianty je patrné, že největší vliv na míru znečištění podzemní vody mají právě tyto 3 zdroje, poněvadž pak zdroj označený číslem 9.

Varianta 3

Simulována je doba 1937-2007, zadáno je 8 jednotlivých oblastí jako zdroje kontaminace severovýchodně od Police nad Metují.

Varianta 4

Varianta 4 představuje prognózu vývoje koncentrací dusičnanů v jímacím území na dalších 50 let od současnosti. V úvahu je bráno všech 13 zdrojů kontaminace jako ve variantě 1. Vstupní hodnoty koncentrace kontaminantu jsou ponechány na úrovni 71,6 mg/l, kterou uvažují v současnosti. Stejně tak čerpání v jímacím území je ponecháno na 7 l/s odpovídajícím dnešním průměrným odběrem. Tato varianta tedy představuje předpověď na 50 let od nynějška při zachování současného stavu, ať už jde o využívání jímacího území či způsob a množství aplikovaných hnojiv.

Varianta 5

Model v této obměně vytváří prognózu vývoje koncentrací na 50 let od současnosti za předpokladu, že se zastaví dotace veškerého dusíku pocházejícího z umělých hnojiv ze zdroje číslo 9, který podle výsledků varianty 2 nejvíce ovlivňuje koncentraci dusičnanů v jímacím území Plachty. Všech zbylých 12 plošných zdrojů je ponecháno s mírou dotace kontaminantu odpovídající současnému stavu – tj. 71,6 mg/l. Ve zdroji číslo 9 je v časovém období 2007-2057 zadána dotace NO_3^- v hodnotě 11 mg/l. Odběr podzemní vody v jímacím území Plachty je 7 l/s.

Tato varianta má sloužit k simulaci budoucího vývoje koncentrací, za ideálního předpokladu žádné dotace dusičnanů do podzemní vody z nejvíce znečišťujícího zdroje č. 9 s výjimkou uvažovaných 11 mg/l z přirozeného rozkladu organické hmoty. Výchozím bodem je stav dosažený variantou 1, který simuluje současnost.

Varianta 6

Model simuluje vývoj na dalších 50 let od současnosti s předpokladem snižování množství aplikovaných hnojiv a jejich nahrazováním hnojivy organickými. Ve všech 13 plošných zdrojích je zadána hodnota 40 mg NO₃⁻/l. Dále je v tomto období simulováno opětovné zvýšení čerpání podzemní vody v jímacím území Plachty na průměrné odběry 30 l/s.

Trend snižování množství dusíku z minerálních hnojiv a jeho nahrazování dusíkem z organických hnojiv lze na území polické pánve pozorovat již dnes (Ing. Šrámek, ústní sdělení 2006). Důvodem jsou jednak různé ekologické tlaky a jednak ekonomické hledisko. Podle informací, které jsem od Ing. Šrámka získal, bylo v roce 2006 aplikováno na pozemky obhospodařované Družstvem vlastníků Police nad Metují kolem 15 000 tun čistého dusíku ve formě ledku. V roce 2004 to však bylo téměř 50 000 tun. Deficit je nahrazován právě organickými hnojivy, ve kterých je dusík pro rostliny v lépe využitelné, amoniakální formě.

V této variantě uvažují všech 13 zdrojů.

9.2. Výsledky transportního modelu

Výsledky transportního modelu ukazují na konkrétní zdroj znečištění podzemní vody v jímacím území Plachty, kterým jsou zemědělské pozemky nalézající se v jeho blízkosti východním směrem. Naproti tomu ostatní území označená v modelu za možné zdroje kontaminace se na koncentraci dusičnanů ve sledovaných vrtech VS-10 a NVS-10 projevují spíše okrajově, i když ne zcela zanedbatelně.

V ideálním případě, že by byla zastavena dotace veškerého nitrátového dusíku ze zdroje číslo 9, který má dle výsledků transportního modelu největší podíl na znečištění podzemní vody jímáné ve vrtech VS-10 a NVS-10 Plachty, mělo by při stávajícím využívání jímacího území dojít k ustálení koncentrací dusičnanů zhruba za 40 let na hodnotě kolem 25 mg/l. Dílčím předpokladem pro tuto predikci je nezvyšující se dotace nitrátů do podzemní vody z ostatních zdrojů, které mají vliv jednak na rychlost poklesu koncentrace ve sledovaných vrtech a zejména na její konečnou hodnotu.

Při předpokladu snížení množství aplikovaného dusíku ve formě NO_3^- a jeho nahrazení organickými hnojivy zhruba z jedné poloviny na celém území představujícím modelovou oblast, by došlo k poklesu koncentrací z dnešních hodnot na hodnoty kolem 25 mg/l za cca 30 let od současnosti.

Je třeba zdůraznit, že všechny tyto varianty představují zjednodušené modely opírající se o různé předpoklady, které nemusí odpovídat realitě. Dávají však společně informaci o tom, jaké lze očekávat trendy v budoucích vývojích kvality podzemní vody v jímacím území Plachty.

Z výsledků modelu plyne, že by se hodnoty koncentrací dusičnanů v podzemní vodě ve vrtech VS-10 a NVS-10 neměly již dále stupňovat, pokud se nebude zvyšovat množství hnojiv s dusíkem v nitrátové formě. Za předpokladu zachování současného stavu by mělo dojít k mírnému poklesu obsahu dusičnanů ze současných 50 mg/l na cca 40 mg/l do 15-20 let.

V případě, že bude pokračovat stávající pozitivní trend snižování množství aplikovaných umělých hnojiv a jejich nahrazování hnojivy organickými, lze očekávat dlouhodobé a postupné snižování koncentrací dusičnanů v podzemní vodě. Konečná hodnota a rychlost poklesu bude odvislá od způsobu a poměru, v jakém by byla průmyslová hnojiva nahrazována organickými.

10. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Problém kontaminace podzemních vod polické pánve dusičnanovými ionty byl v předchozích průzkumných pracích řešen spíše okrajově. Vesměs bylo upozorňováno na riziko spjaté s rychle rostoucími koncentracemi NO_3^- , přičemž za jednoznačnou příčinu je ve všech předcházejících průzkumech označováno nadměrné či nesprávné používání umělých hnojiv. V práci Krásného et al. (2002) autoři na základě dostupných údajů o stagnujících či mírně klesajících koncentracích dusičnanů v podzemní vodě předpokládají jejich další pokles, který je dáván do souvislosti se snižujícími se množstvími aplikovaných umělých hnojiv. Analýza časových řad složení podzemní vody ukazuje, že tento optimistický pokles, následovaný opětovným nárůstem, není s největší pravděpodobností vyvolán menším přísunem dusíku do podzemní vody. Srovnání obsahu dusičnanů ve vodárenských objektech v různých částech pánve a jejich korelace s ostatními chemickými ukazateli indikuje spíše regionální vlivy, patrné v celé pánvi, jakými může být například doplňování zásob podzemní vody. Pro potvrzení tohoto závěru však chybí údaje o stavech hladiny podzemní vody v příslušném časovém období.

Hlavní omezení transportního modelu, použitého pro předpověď budoucího vývoje znečištění podzemní vody v jímacím území, plynou již ze zjednodušení a schematizace při konstrukci proudového modelu. Zřejmě nejvíce limitujícím faktorem, je opět úloha tektoniky na proudění podzemní vody a tedy i na transport kontaminace v okolí polického zlomu. Velmi nízká hodnota efektivní pórovitosti ukazuje na převládající transport kontaminace v rámci puklinového systému. Určit tak zdroj kontaminace pouze na základě numerického modelu jednoznačně nelze.

Oblasti, které mají podle výsledků modelu největší podíl na kontaminaci podzemní vody v jímacím území Plachty, jsou k tomuto závěru předurčeny již svou polohou v blízkosti vodárenských vrtů. Jako nejpravděpodobnějším zdrojem kontaminace se tak jeví pole na pozemcích nacházejících se ve svahu východně nad jímacím územím. Zde se dá stále předpokládat významný vliv tektoniky na porušení hornin. Avšak díky stejnému předpokladu v pásmu několika desítek až prvních stovek metrů podél polického zlomu, není možné vyloučit transport dusičnanů z jiného zdroje či zdrojů. Nejpodstatnějším problémem, je tedy samotná koncepce modelu, založená na proudění podzemní vody v porézním prostředí, ve kterém nelze

simulovat vytváření preferenčních cest proudění podzemní vody v puklinovém prostředí.

Další omezení týkající se závěrů transportního modelu vyplývají ze stanovení a způsobu zadání vstupních koncentrací kontaminantu ve zdrojích znečištění.

Hodnoty koncentrací na vstupu do modelu (jednotlivé plošné zdroje) jsem určil podle bilanční rovnice v kapitole 7 na základě průměrných statistických údajů o množství aplikovaných hnojiv v rámci celého území ČR. Odtud zřejmě pramení příčina pro odlišný vývoj skutečných koncentrací v období 1980-1990 od hodnot na výstupu z modelu. Důvodem jsou jednak odchylky od statistických dat způsobené rozdíly v hospodaření jednotlivých subjektů, které se mohou pohybovat v desítkách procent celkového množství použitých hnojiv. Další příčinou je zřejmě zjednodušení vyplývající z použité bilanční rovnice. Významný vliv bude mít i rozdíl ve způsobu vstupu kontaminantu do podzemní vody, který bude ve skutečnosti odpovídat spíše krátkodobým nárazovým dotacím, než dlouhodobému rovnoměrnému přísunu.

Vzhledem ke všem přijatým zobecněním a zjednodušením jakožto i k samotné koncepci modelu, který reprezentuje stacionární proudění podzemní vody a nemůže postihovat krátkodobé časové výkyvy, ať už v čerpaných množstvích, doplňování zásob podzemní vody, či způsobu aplikace hnojiva, je tedy nutné pohlížet na výsledné koncentrace dusičnanů na výstupu z modelu spíše jako na dlouhodobé průměrné hodnoty.

Pro zpřesnění modelu by bylo nutné konkretizovat množství a typ hnojiv, se kterými bylo v historii v okolí Police nad Metují hospodařeno. Tento požadavek je v současnosti prakticky nesplnitelný. Získání přesných údajů o skutečném množství dusíku vstupujícího do podzemní vody by mohlo být tématem pro samostatný vědecký úkol a je daleko nad rámec této práce. V tomto ohledu považuji shodu mezi reálnými hodnotami a koncentracemi na výstupu z modelu vzhledem ke všem přijatým zjednodušením za dostatečnou.

Výše popsané odchylky reálného stavu od přijatého modelu mají vliv na rozkolísání křivky skutečných koncentrací dusičnanů v podzemní vodě oproti modelovým. Podepisují se také na přesnosti hodnot, kterých je dosaženo v rámci predikce budoucího vývoje. Neovlivňují však obecné závěry týkající se doby transportu a předpokládaných budoucích trendů vývoje obsahu dusičnanů v podzemní vodě.

Výsledky analýzy časových řad i matematického modelu ukazují na relativně krátké transportní časy od zdroje kontaminace do jímacích objektů, které odhadují na cca 10 let. Důkazem jsou zejména poměrně vysoké koncentrace dusičnanů ve vrtu VS-10 pohybující se kolem 30 mg/l již na počátku šedesátých let – tedy teprve v době nástupu intenzivního používání umělých hnojiv. Rychlost, s jakou se kontaminace objeví v jímacích objektech je zřejmě řízena primárním transportem znečištění puklinovým systémem, zatímco průlinová propustnost bude mít vliv na celkové zdržení kontaminace ve zvodnělém hominovém prostředí. Izotopové datování podzemních vod provedené v rámci posledního průzkumu, který byl v polické pánvi realizován pod vedením Krásného (2002), ukázalo přítomnost tritia v podzemní vodě ve vrtech jímacího území Plachty v hodnotách okolo 25 tritiových jednotek. Jímaná voda je tedy prokazatelně současného stáří.

11. ZÁVĚRY

V souladu se zadáním jsem zhodnotil jakost podzemní vody polické pánve v okolí vodárenského jímacího území Plachty a doplnil analýzu časového vývoje dusičnanových iontů o matematický model proudění a transportu znečištění.

Rozbor časových řad koncentrací dusičnanů a dalších ukazatelů jakosti podzemní vody, které jsou pravidelně stanovovány v rámci režimního sledování vodárenských objektů, ukazuje, že na výsledném složení podzemní vody polické pánve se významnou měrou podílejí regionální vlivy uplatňující se v celé pánvi. V případě dusičnanových iontů se tak překrývá působení více faktorů ovlivňujících jejich koncentrace. Jedním z nich je patrně doplňování zásob podzemní vody, které může být vysvětlením pro výrazný výkyv obsahu NO_3^- na konci 90. let ve všech sledovaných jímacích objektech. Druhým je množství a způsob aplikace minerálních hnojiv, která jsou hlavním zdrojem dusičnanů v podzemní vodě polické pánve.

Na základě porovnání průběhu časových řad různých složek podzemní vody se domnívám, že množství a typ používaných hnojiv se významně odráží na koncentracích i jiných chemických komponent v podzemní vodě, které jsou součástí průmyslových hnojiv. Jedná se zejména o síranové a chloridové anionty.

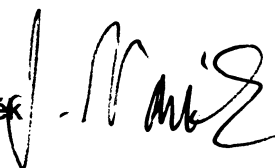
Podle výsledků matematického modelu neočekávám další nárůst koncentrace dusičnanů, ovšem za předpokladu že se nebude dále zvyšovat množství aplikovaných hnojiv s dusíkem v nitrátové formě. Zároveň se ale nedá očekávat výrazný pokles koncentrací dusičnanových iontů, ale spíše jejich postupné a dlouhodobé snižování v závislosti na množství, typu a způsobu aplikace hnojiv. Podstatné snížení koncentrací NO_3^- v podzemní vodě v jímacím území Plachty se dá čekat v řádu prvních desítek let.

Pokud by došlo v souvislosti s uvažovaným navýšením odběrů podzemní vody v polické pánvi k nutnosti opětovného plného využití jímacího území Plachty, nemělo by dle modelu dojít k dlouhodobému zvýšení koncentrací dusičnanů v jímané vodě. Krátkodobé zvýšení však vyloučit nelze. Nelze však ani počítat s výrazným zvýšením jakosti jímané vody v obzoru několika let a to ani v případě významného omezení dotace dusíku do podzemní vody.

Vzhledem k zasažení značné části kolektoru C dusičnanovým znečištěním, by bylo v případě nutnosti navýšení odběrů zřejmě nejvhodnějším řešením vyhloubení nového vrtu, který by byl vystrojen pro jímání vody pouze z některého z bazálních kolektorů.

Ačkoliv matematický model transportu ukazuje na jednu konkrétní oblast coby hlavní zdroj znečištění podzemní vody v jímacím území Plachty, nelze vzhledem k hydrogeologické situaci jímacího území učinit přesný závěr o zdroji kontaminace. Jediným možným způsobem pro zvýšení jakosti podzemní vody nejen v rámci jímacího území Plachty, ale i v celém rozsahu kolektoru C, je důsledné omezování množství aplikovaných minerálních hnojiv na nejnižší možnou míru, popřípadě jejich nahrazení hnojivy organickými. Je však třeba také dbát na způsob aplikace hnojiv, ať už průmyslových či organických, který se velkou měrou podílí na množství živin, které rostlinami není využito a přechází následně do podzemní vody.

Praha, září 2008

Jiří Vaněk 

Seznam literatury a použitých zdrojů

- Hynie O. (1949): Vodárensky využitelné vydatné nádrže podzemních vod v Čechách. – Geotechnika, 8. Praha
- Kašpárek L., Kněžek V., Nowacki F., Procházková J., Uhlík J., Tyralski M., Serafin R., (2006): Vodní zdroje vnitrosudetské pánve – výsledky česko-polské spolupráce při monitoringu a modelování (1975-2004), Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. Praha. ISBN 80-85900-58-0
- Klein V. (1959): Stratigrafické dělení křídového útvaru ve vnitrosudetské depresi. –Věst. Ústř. Úst. geol., 34, 5, 358-362. Praha
- Krásný J. et al. (2002): Hydrogeologie polické křídové pánve: optimalizace využívání a ochrany podzemních vod. –Sborník geologických věd, 22. ČGS. Praha., ISBN 80-7075-591-1
- Tásler R. et al. (1979): Geologie české části vnitrosudetské pánve. –Ústřední ústav geologický. Praha
- Nepublikované zprávy:*
- 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 Krzeszow-Adršpach (OKrA). -Vodní zdroje. Praha
- Koroš I. et al. (2003): CHKO Broumovsko: Vztahy podzemních a povrchových vod, zpráva za 3. etapu prací, Praha. Archiv VaK Náchod, a.s.
- 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. Archiv VaK Náchod, a.s.
- 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. Archiv VaK, a.s.
- Krásný J. et al. (1996): Optimalizace využívání a ochrany podzemních vod s ohledem na ostatní složky životního prostředí: Polická pánev, závěrečná zpráva úkolu. - Přírodovědecká fakulta University Karlovy. Praha. Archiv VaK Náchod, a.s.

Krásný J. et al. (1997): Návrh změn pásem hygienické ochrany podzemních vodních zdrojů polické křídové pánve, pilotní projekt. –Přírodovědecká fakulta University Karlovy. Praha. Archiv VaK Náchod, a.s.

Vaněk J. (2006): Dusičnany v podzemních vodách polické pánve a změny jejich koncentrací, bakalářská práce. Praha.

Vejlupek M. (1984): Vysvětlující text k vrstevnicové mapě báze spodního turonu v území bilančního celku polická pánev. –Ústřední ústav geologický. Praha. Archiv Hydrogeologické společnosti, s.r.o.

Vrba J. (1966): Hydrogeologie polické křídové pánve. –MS, Geofond, Praha. (GF P018805)

Ústní sdělení:

Hofman Oldřich, Police nad Metují (2008), informace týkající se využívání zemědělské půdy v okolí jímacího území Plachty

Kněžek V. (2006): Informace týkající se problematiky bělského zlomu

Kněžek V. (2008): Informace týkající se hydrogeologické pozice vrtu V-24 Bělý

Malík, Správa CHKO Broumovsko (2008): Informace o zimní údržbě komunikací

Šrámek, Družstvo vlastníků Police nad Metují (2006): Informace ohledně hospodaření s umělými hnojivy v okolí Police nad Metují

Zdroj na webové stránce:

ČSÚ (2008): Půdní fond – bilance půdy, www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/bilance_pudy, 4.8.2008

ČSÚ (2008): Spotřeba průmyslových hnojiv na 1 ha zemědělské půdy, [http://www2.czso.cz/csu/2002edicniplan.nsf/t/8A00357459/\\$File/d107.pdf](http://www2.czso.cz/csu/2002edicniplan.nsf/t/8A00357459/$File/d107.pdf), 3.7.2008

Hlušek J. (2004): Multimediální učební texty z výživy rostlin, http://www.af.mendelu.cz/ustav/221/multitexty/html/hnojiva/mineralni/hnojiva_mineralni.htm, 4.9.2008

Jelínek R. (2008): Vyhodnocení příčin úbytku volně žijících živočichů v krajině, <http://vezky.wz.cz/produkty/PDF-Jelinek/15.pdf>, 4.9.2008

Jihočeská Univerzita v ČB (2008): Přílohy k interním vědeckým informacím, http://www.zf.jcu.cz/research/interni_info/1999/obiloviny/prilohy/, 15.8.2008

- Mourabit F. (2002): Nitrates occurrence in the groundwater of the Loukkos perimeter, <http://www.rsc.org/publishing/journals/EM/article.asp?doi=b107323k>, 4.9.2008**
- Mueller K, Helsel D.R. (1996): Nutrients in the nation's water – To much of a good things?, USGS, National Water-Quality Assessment Program, <http://water.usgs.gov/nawqa/circ-1136/circ-1136main.html>, 4.9.2008**
- Růžek P., Svoboda P., Vavera R. (2006): Produkční a pozdní hnojení ozimé pšenice dusíkem, <http://www.vurv.cz/index.php?key=print&id=749>, 4.9.2008**

PŘÍLOHY (samostatná část)