

JP 2884

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Silně propustné zóny ve Vysokomýtské synklinále: vliv na vývoj jakosti podzemní vody a dobu zdržení

Diplomová práce

Markéta Kollerová

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Jiří Bruthans, PhD.

Praha, září 2007

ABSTRAKT

Vysokomýtská synklinála představuje jeden z nejvýznamnějších hydrogeologických celků východní části české křídové pánve. Proudění podzemních vod v této jednotce je ovlivněno faciálními změnami sedimentů (pískovce a slínovce) a tektonikou, která silně ovlivňuje rozpukání kolektoru.

Ve své práci jsem se zaměřila na studium pramenů a chemismu vod Vysokomýtské synklinály za účelem objasnění, jak vysoce propustné zóny ovlivňují jakost podzemních vod a dobu jejich zdržení. Provedený výzkum by se dal rozdělit na dvě části: (1) terénní práce tří vybraných oblastí Vysokomýtské synklinály (úseky toků Desná, Loučná) a studium chemismu pramenů, (2) vyhodnocení chemismu podzemních vod a pramenů z databáze Hydrofond a ČHMÚ.

Ve vybraných úsecích toků Desná a Loučná jsem provedla lokalizaci pramenů, měření teploty, konduktivity a měření průtoků. Tato měření prokázala, že v případě toku Loučná dochází v této oblasti k velkým příronům podzemních vod přímo do povrchového toku. Tyto skryté přítoky mají vyšší vydatnost než je vydatnost známých pramenů v daném úseku a za daného vodního stavu tvoří i více jak 700 l/s. Naopak přírony toku Desná tvoří převážně prameny a přítoky a podíl skrytých příronů není tak významný. Na druhou stranu dochází mezi obcemi Poříčí u Litomyšle a Víška k vsakování vod do náplavu toku a dotaci křídového kolektoru. V tomto úseku představuje jediný významnější pramen Panna Marie, jehož vydatnost je kolem 21 l/s. Velké množství pramenů toku Desná u Osíku se často soustředí kolem jednoho většího pramene a některé prameny dosahují vydatností až několik desítek l/s.

Studované prameny mají relativně vysoké koncentrace dusičnanů a chloridů, přesahující jejich přirozené koncentrace v přírodním prostředí a v některých případech dokonce překračují normy pro pitnou vodu.

Vyhodnocení hloubkové distribuce chemismu vrtů z databáze Hydrofond ukázalo na míru znečištění jednotlivých kolektorů. Nejvyšší míra celkového znečištění je podle očekávání v mělkých zvodních, ale např. distribuce chloridů prokázala, že příměsi mladé vody a tudíž antropogenní znečištění zasahuje i do hlubokých kolektorů. Téměř 40% vrtů, jejichž střední hloubka otevřeného úseku je 200 m a více, obsahuje vyšší koncentrace než 10 mg/l chloridů. Necelých 30% vrtů má v hloubkách přes 100 m koncentrace dusičnanů vyšší než 15 mg/l. Plošná analýza chemismu podzemních vod poukázala na vyšší koncentrace chloridů, hydrogenuhličitanů, síranů a draslíku v severozápadní části Vysokomýtské synklinály v porovnání s ostatními oblastmi Vysokomýtské synklinály, což je pravděpodobně způsobeno stagnující podzemní vodou v této oblasti.

ABSTRACT

Vysoké Mýto Syncline represents one of the most important hydrogeological region in the eastern part of the Bohemian Cretaceous Basin. Groundwater circulation of this unit is affected by facial changes in sedimentary rocks (sandstones and marlstones) and tectonics, which is responsible for degree of fracturing.

This work is focused on Vysoké Mýto springs and groundwater chemistry to explain how permeable zones influence groundwater quality and residence time. The study could be separated into two parts: (1) field work in three selected regions of Vysoké Mýto Syncline (Desná and Loučná rivers) and spring chemistry (2) evaluation of groundwater chemistry and spring data (Hydrofond and ČHMÚ databases).

By means of thermometry I located all springs in the study area and measure their discharge. These measurements demonstrated that prevailing groundwater discharge to Loučná river is in form of hidden inflows, which can not be directly observed. These hidden inflows have higher water discharge (>700 l/s) than visible springs in corresponding area. On the other hand, inflows at Desná Creek are mainly formed by observable springs and importance of hidden inflows is not so significant. Part of the upper Desná Creek segment can be classified as losing stream (between villages Poříčí u Litomyšle and Víška). The only important spring in this area is the Panna Marie Spring with yield around 21 l/s. The majority of springs located at lower segment of Desná Creek are usually concentrated around one larger spring and yield of some of these spring groups is up to X0 l/s.

Nearly all springs show elevated concentration of nitrates and chlorides. These are higher than natural concentration in groundwater. In some cases, concentrations are higher than limits for drinkable water.

Relationship between depth of intake parts of boreholes and aquifer chemistry was studied based on chemical analyses of boreholes from Hydrofond database. The highest degree of pollution shows the shallow aquifer. However even deeper aquifers show considerable number of samples with elevated nitrate and chlorite content demonstrating presence of water admixture infiltrated in last several decades. Almost 40% of boreholes with mean open depth exceeding 200 m have chloride content over 10 mg/l. Also nearly 30% of boreholes with mean open depth exceeding 100 m have nitrate concentrations higher then 15 mg/l. Area distribution of groundwater chemistry points to higher concentration of chloride, hydrocarbonate, sulphate and potassium in northwestern part of Vysoké Mýto Syncline comparing to other parts. This is probably result of stagnant zones in this region.

OBSAH

1	Úvod	1
2	Geologické a hydrogeologické poměry	2
2.1.	Česká křídová pánev	2
2.1.1.	Geologie	2
2.1.2.	Stratigrafie	3
2.1.3.	Tektonika	5
2.1.4.	Hydrogeologie	5
2.2.	Vysokomýtská synklinála	7
2.2.1.	Geologie a stratigrafie	8
2.2.2.	Tektonika	9
2.2.3.	Hydrologie a hydrogeologie	9
2.2.4.	Chemismus vod	11
3	Hydrogeologická prozkoumanost zájmového území	13
4	Metodika práce	14
4.1.	Odběr vzorků podzemních vod	14
4.2.	Měření fyzikálních a chemických parametrů	14
4.3.	Měření průtoků	14
4.4.	Termometrie a vydatnost pramenů	14
4.5.	Obsahy dusičnanů a chloridů	16
4.6.	Tritium	16
4.7.	Zpracování vrtné dokumentace hydrofondu	17
4.8.	Režimní sledování pramenů ČHMÚ	18
5	Výsledky a diskuse	20
5.1.	Termometrie a měření průtoků	20
5.1.1.	Desná I	20
5.1.2.	Desná II	23
5.1.3.	Loučná	26
5.2.	Plošná distribuce chemismu podzemních vod a závislost na hloubce pod povrchem	29
5.2.1.	Chloridy	29
5.2.2.	Dusičnany	31
5.2.3.	Sírany	33

5.2.4. Hydrogenuhličitany	35
5.2.5. Oxid křemičitý	36
5.2.6. Draslík	37
5.2.7. Chemická spotřeba kyslíku	38
5.2.8. pH	39
5.3. Plošná distribuce specifické vydatnosti a závislost na hloubce pod povrchem	40
5.4. Vyhodnocení režimních sledování průtoků	43
5.4.1. Hodnocení čar vyprazdňování	43
5.4.2. Čáry překročení	46
5.4.3. Autokorelace vydatnosti pramenů	47
5.5. Střední doba zdržení	48
5.5.1. Tritium	48
5.5.2. Dusičnany a chloridy	50
6 Závěr	54
7 Literatura	57

SEZNAM OBRÁZKŮ:

- Obr. 1: Stratigrafické a litofaciální členění ČKP (podle Herčík et al., 1999)
- Obr. 2: Schématická mapa Vysokomyštské synklinály (Herčík et al., 1999)
- Obr. 3: Princip měření vydatnosti skrytých příronů podzemních vod. Upraveno podle Bruthans a Zeman (2001)
- Obr. 4: Lokalizace pramenů Desná I (podkladová mapa 1:50 000)
- Obr. 5: Průběh termometrie a konduktivity úseku Desná I
- Obr. 6: Lokalizace pramenů Desná II (podkladová mapa 1:50 000)
- Obr. 7: Průběh termometrie a konduktivity úseku Desná II
- Obr. 8: Měření teploty a konduktivity pramene Paďovrka v úseku Desná II
- Obr. 9: Lokalizace pramenů úseku Loučná (podkladová mapa 1:50 000)
- Obr. 10: Průběh termometrie a konduktivity úseku Loučná
- Obr. 11: Měření průtoku pramene Pekla I
- Obr. 12: Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce
- Obr. 13: Závislost koncentrací dusičnanů na střední hloubce
- Obr. 14: Závislost koncentrací chloridů na koncentracích dusičnanů pro jednotlivé kolektory
- Obr. 15: Závislost koncentrací síranů na střední hloubce
- Obr. 16: Závislost koncentrací síranů na koncentracích dusičnanů pro jednotlivé kolektory
- Obr. 17: Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce
- Obr. 18: Závislost koncentrací oxidu křemičitého na střední hloubce
- Obr. 19: Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce
- Obr. 20: Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce
- Obr. 21: Závislost pH na střední hloubce
- Obr. 22: Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce
- Obr. 23: Logaritmická závislost specifické vydatnosti na střední hloubce
- Obr. 24: Vztah mezi Q (průtok daného subrežimu proudění) a jeho koeficientem α
- Obr. 24: Čáry překročení studovaných pramenů
- Obr. 26: Míra autokorelace vydatností studovaných pramenů
- Obr. 27: Vývoj koncentrací dusičnanů v čase

SEZNAM TABULEK:

- Tab. 1: Teplota a konduktivita úseku Desná I včetně vydatností jeho přítoků
- Tab. 2: Teplota a konduktivita pramenů úseku Desná I
- Tab. 3: Teplota a konduktivita úseku Desná II včetně vydatností jeho přítoků
- Tab. 4: Teplota a konduktivita pramenů úseku Desná II
- Tab. 5: Teplota a konduktivita úseku Loučná
- Tab. 6: Teplota a konduktivita pramenů úseku Loučná
- Tab. 7: Maximální a průměrné hodnoty chemických komponent v jednotlivých kolektorech
- Tab. 8: Maximální a průměrné hodnoty chemických komponent rozdělené podle hloubkových intervalů
- Tab. 9: Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi > 10 mg/l chloridů v jednotlivých kolektorech
- Tab. 10: Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi > 15 a > 50 mg/l dusičnanů v jednotlivých kolektorech
- Tab. 11: Statistické hodnoty průtoků studovaných pramenů
- Tab. 12: Základní parametry studovaných pramenů pro vytvoření výtokových čar
- Tab. 13: Přehled koeficientů vyprazdňování α_1, α_2
- Tab. 14: Koncentrace tritia [TU] ve studovaných pramenech a směrodatné odchylky měření
- Tab. 15: Procentuelní zastoupení vod ze 60. let ve studovaných pramenech (odběr 2005)
- Tab. 16: Hodnoty tritia a radiouhlíku ve vrtech Vysokomýtské synklinály (Šilar, 1982)
- Tab. 17: Koncentrace dusičnanů a chloridů ve studovaných pramenech
- Tab. 18: Seznam pramenů a jejich sledované období
- Tab. 19: Koncentrace dusičnanů pro krátké řady pramenů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Topografická mapa s vyznačenými měřenými úseky

Příloha 2a: Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce

Příloha 2b: Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce (0-100 mg/l)

Příloha 2c: Závislost koncentrací dusičnanů na střední hloubce

Příloha 2d: Závislost koncentrací síranů na střední hloubce

Příloha 2e: Závislost koncentrací síranů na střední hloubce (0-200 mg/l)

Příloha 2f: Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce

Příloha 2g: Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce (0-600 mg/l)

Příloha 2h: Závislost koncentrací oxidu křemičitého na střední hloubce

Příloha 2i: Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce

Příloha 2j: Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce (0-30 mg/l)

Příloha 2k: Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce

Příloha 2l: Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce (0-6 mg/l)

Příloha 2m: Závislost pH na střední hloubce

Příloha 2n: Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce

Příloha 2o: Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce (0-15 l*s⁻¹*m⁻¹)

Příloha 3a: Původní označení vrtů ve Vysokomýtské synklinále

Příloha 3b: Plošná distribuce chloridů

Příloha 3c: Plošná distribuce dusičnanů

Příloha 3d: Plošná distribuce síranů

Příloha 3e: Plošná distribuce hydrogenuhličitanů

Příloha 3f: Plošná distribuce oxidu křemičitého

Příloha 3g: Plošná distribuce draslíku

Příloha 3h: Plošná distribuce chemické spotřeby kyslíku

Příloha 3i: Plošná distribuce pH

Příloha 3j: Plošná distribuce specifických vydatností

Na prvním místě bych ráda poděkovala svému školiteli Mgr. Jiřímu Bruthansovi, PhD. za trpělivé vedení mé práce, za jeho rady, připomínky a pomoc při terénních pracích i při sepisování této diplomové práce. Za stanovení obsahu tritía bych ráda poděkovala Mgr. Zdeňce Churáčkové (PřF UK). Za poskytnutí dat z hydrofondu děkuji Mgr. Ludmile Pacákové, za data z geofondu Dr. Renatě Kachlíkové, za hodnoty režimních měření vydatností a teplot pramenů RNDr. Janu Doležalovi (ČHMÚ). Také bych ráda poděkovala svému příteli za pomoc při terénních pracích, za jeho rady a především za jeho psychickou podporu. Na posledním místě také děkuji všem lidem na Ústavu hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky za vytvoření příjemného pracovního prostředí.

1. ÚVOD

Vysokomýtská synklinála se nachází v jihovýchodní části české křídové pánve. Její rozsah se kryje s bilančním celkem bc6 (Herčík et al., 1999). Vysokomýtská synklinála je na většině území tvořena převážně bělohorským a jizerským souvrstvím, pro které je typické střídání pískovců a slínovců, které často obsahují zvýšený podíl vápnité složky a představují hlavní zdroje podzemních vod v této oblasti.

V oblasti toku Loučná u Vysokého Mýta a toku Desná v okolí Dolního Újezda a Osíku se vyskytuje velké množství pramenů, u kterých předchozí studie ukázaly velmi nevyrovnanou vydatnost a rozdílné chemismy. Herčík et al. (1999) poukázal na velké zvýšení průtoku toku Loučná u Vysokého Mýta, kde na úseku dlouhém pouze 2,4 km dochází k příronu až 760 l/s podzemních vod, z toho vyšší desítky procent představují skryté přítoky přímo do toku Loučná a jen zbytek jsou pozorovatelné prameny. Enormní skryté přírony podzemních vod vyžadují existenci silně propustné porozity. Otázkou je distribuce porozity v prostoru, její charakter a vliv na dobu zdržení vody v kolektoru a transport znečišťujících látek.

Tato diplomová práce je zaměřena na studium distribuce vysoce propustných zón Vysokomýtské synklinály pomocí termometrie, zhodnocení doby zdržení vody v kolektoru a dalších otázek. Jedná se o kombinaci terénních prací a zhodnocení hydrogeologických dat z vrtů a pramenů, které byly získány z databází Geofondu a ČHMÚ.

2. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

2.1. Česká křídová pánev

Česká křídová pánev (ČKP) představuje nejrozsáhlejší sedimentární pokryv Českého masivu zabírající plochu téměř 14 600 km² sahající od Drážďan až na severozápadní Moravu, přičemž 90 % pánve leží na českém území. Délka pánve v osním směru dosahuje 290 km a její šíře max. 100 km, přesto je zřejmé, že původní rozsah pánve byl mnohem větší a okraje pánve podlely erozi v pokřídovém období. Pánev je značně protažená ve směru SZ-JV nicméně v okolí Svitav se stáčí do směru SSZ-JJV (Herčík et al., 1999).

2.1.1. Geologie

ČKP byla vytvořena v důsledku oslabení obloukové zóny Českého masivu (ČM) tvořené moldanubickou zónou (jádro ČM) a saxothuringikem (severní oblast ČM). V první fázi vývoje tvar pánve kopíroval pánve permokarbonské, ale v důsledku počátku alpinského vrásnění došlo k oživení tektonických zlomů, které se vytvořily během Variské orogeneze. Po krátkém období sladkovodní sedimentace došlo v cenomanu k transgresi, která pokračovala až do spodního coniacu. V tomto období vznikly specifické facie, které nebyly popsány z okolních pánví zahrnující sekvence vápnatých pelitů a karbonátů se silicifikovanými polohami, sideritovými konkrécemi apod. (Valečka a Skoček, 1991). Prvotní stádia mořské sedimentace a jednotlivé sledy zdvihu mořské hladiny studoval Uličný et al. (1997). Tato práce popisuje přítomnost rozsáhlého fluvialního systému a estuárií v prvních stádiích vývoje ČKP, které ukazují na postupné prohlubování pánve a přechod k rozsáhlé mořské transgresi.

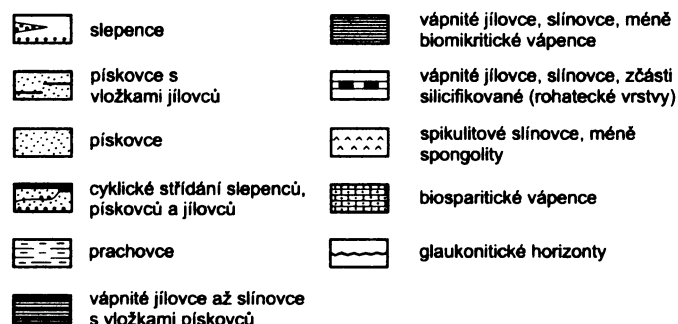
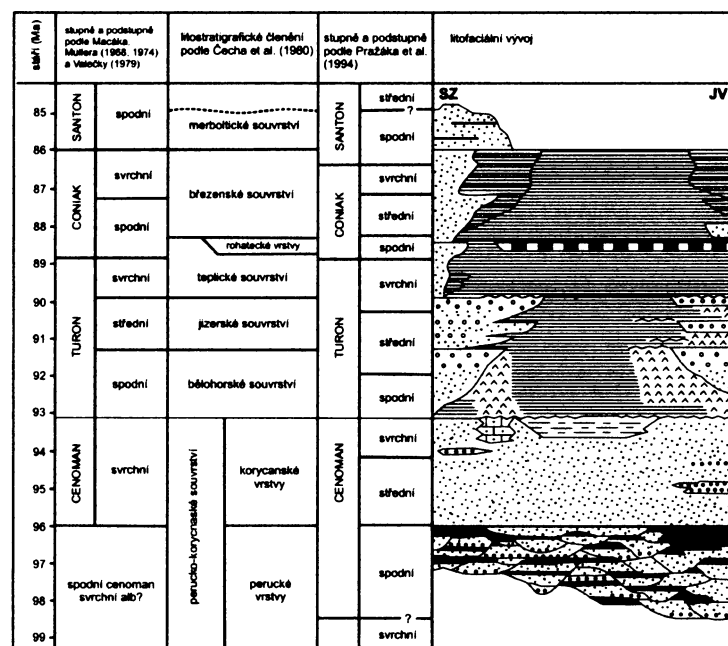
Podloží pánve tvoří převážně metamorfované horniny proterozoického, příp. spodně paleozoického stáří. Díky vrtným pracím byl také zjištěn velmi značný výskyt permokarbonských vulkanitů a jejich sedimentárních produktů. Sedimenty ČKP jsou většinou velmi dobře odkryty a jen sporadicky pokryty tenkou vrstvou kvartérních sedimentů (deluvia, spraše, štěrkopísky) nebo neogenních sedimentů ve východní části pánve. Výjimku tvoří SZ část pánve, kde jsou sedimenty překryty terciárními vulkanity (České středohoří) a sedimenty (Severočeská a Mostecká pánev).

Sedimentace v ČKP trvala přibližně 13-15 mil. let. (Čech a Valečka, 1991; Pražák et al., 1994). Mocnost sedimentů dosahuje řádů set metrů, přičemž maxima dosahují až 1100 m (osní část pánve). Sedimentární výplň je tvořena převážně klastickými sedimenty o různé zrnitosti s podružným množstvím karbonátů a vzácně se vyskytujícími polohami uhelných sedimentů, silicitů apod.

2.1.2. Stratigrafie

Kompletní stratigrafický sled vrstev ČKP je patrný z Obr. 1. (Herčík et al., 1999).

Bazální, většinou nepříliš mocná (< 120 m) vrstva je tvořena sedimenty perucko-korycanského souvrství. Perucké vrstvy v ideálním případě tvoří několik cyklů říčních a jezerních křemenných slepenců, pískovců a prachovců až jílovců decimetrových až metrových mocností. Tento sled je možné rozdělit do tří stratigrafických jednotek (Kanta a Uličný, 2001), kde je nejspodnější jednotka tvořena převážně sedimenty meandrujících řek a



Obr. 1. Stratigrafické a litofaciální členění ČKP (podle Herčík et al., 1999)

Od spodního turonu lze rozdělit faciální vývoj na 2 etapy:

1) facie více či méně cyklicky zvrstvených kvádrových pískovců o mocnostech až několik set metrů. Tato facie charakterizuje oblasti, kde docházelo k přínosu klastického materiálu z pevniny (Drážďany, Mladá Boleslav, Broumov) ve formě říčních delt a často ukazují stopy intenzivního přepracování v důsledku přílivu/odlivu. Sedimentace těchto říčních delt probíhala v blízkosti zlomů ohraničující ČKP, ale v některých případech zasahovaly až 70 km

do pánve (Uličný, 1999). Výrazným projevem této sedimentace jsou tzv. skalní města v severních Čechách.

2) facie vápnitých jílovců a slínovců s přechody do jílovitých vápenců charakterizuje části pánve více vzdálené od přínosu klastického pevninského materiálu.

Následující stratigrafická jednotka je tvořena sedimenty bělohorského souvrství spodně až středně turonského stáří. Na bázi je zpravidla vyvinuta poloha glaukonitických jílovců (většinou 10-50 cm). V místech, která byla dále od pobřeží nasedají na bazální vrstvu slínovce s prachovou příměsí (tzv. „opuky“). Naopak tam kde byl velký přínos klastického materiálu z pobřeží převládají křemenné kvádrové pískovce.

Nadložní jizerské souvrství (střední až svrchní turon) dosahující mocnosti až 400 m, je odrazem velké svrchnokřídové transgrese, kdy došlo k velkému zvětšení plošného rozsahu ČKP a tím i mocné sedimentaci. Charakter sedimentů je stejný jako v bělohorském souvrství a je opět závislý na vzdálenosti sedimentačního prostoru od pevniny.

Následující teplické souvrství (svrchní turon, spodní coniac) má rovněž transgresní charakter a v průběhu jeho ukládání měla ČKP největší plošný rozsah. Dominantním typem sedimentační horniny jsou slínovce, v Poohří s polohami vápenců. Sedimentační prostor kvádrových pískovců se zúžil pouze na oblasti kolem lužického a vnitrosudetského zlomu. Významným prvkem tohoto souvrství jsou tzv. rohatecké vrstvy (spodní coniac), které tvoří opuky s typickou silicifikací některých poloh, které se ukládaly v osní části ČKP.

Březenské souvrství středního-svrchního coniacu až spodního santonu představuje ve většině oblastí nejsvrchnější facii ČKP, již značně redukovanou postupující erozí (výjimku představují sedimenty přikryté tercierními vulkanity v SZ části pánve). Mocnost sedimentů dosahuje až 500 m což bylo způsobeno zejména zvýšenou subsidencí části dna pánve. V důsledku toho také došlo k velké pestrosti faciálního vývoje. Zatímco v centrálních částech pánve opět převládala sedimentace vápnitých jílovců a slínovců, v okrajových částech pánve došlo ke zvýšení podílu sedimentace kvádrových pískovců (kromě severní části v blízkosti zlomů rovněž v JV části pánve). Toto souvrství je charakteristické výskytem tzv. přechodné facie, kdy dochází ke střídání vrstev vápnitých jílovců/prachovců a pískovců. Přestože se tato facie charakterem velmi podobá flyšové (hlubokomořské) sedimentaci, spíše představuje epizodické události (mořské bouře), kdy došlo ke zvýšenému přínosu klastického materiálu a vzniku vložek pískovců – tzv. tempestitů (Valečka 1984, 1988).

Nejsvrchnější partie ČKP představuje merboltické souvrství (spodní santon?), které je vyvinuto pouze v podloží tercierních vulkanitů, které zabránily jeho erozi. Narozdíl od předchozích čtyř souvrství jsou zde dominantním typem horniny bělavé pískovce s jílovitou

základní hmotou. Toto souvrství lze považovat již za produkt regrese, nicméně poznatky z jiných evropských křídových pánvích ukazují na pokračující transgresi i během campanu (Valečka in Herčík et al., 1999).

2.1.3. Tektonika

ČKP je možné rozdělit do dvou základních strukturně-tektonických jednotek: (1) severovýchodní s orientací tektonických struktur SZ-JV a (2) severozápadní se SV-JZ orientací (Malkovský et al., 1974; Malkovský et al., 1979). Herčík et al. (1999) vyčleňuje v rámci ČKP 6 různých sektorů (A-F), které se liší odlišnými tektonickými strukturami, jejich orientací, četností a výškovou pozicí.

Na celém území ČKP se projevují vrásové deformace, jejichž struktury byly založeny v počátku saxonské orogeneze. Tyto struktury mají přímou souvislost s morfologií a strukturní stavbou podloží ČKP, což se projevuje zejména v případech antiklinál (např. vraclavská), které pokrývají elevace podloží na nichž většinou chybí nejstarší křídové sedimenty (Herčík et al., 1999). Ve východní části pánve jsou sedimenty ČKP mírně zvrásněny do vrásových struktur SZ-JV směru, které dosahují většinou kilometrových řádů – např. vysokomytská synklinála, antiklinála Železných hor apod.

Přestože byly sedimenty ČKP uloženy téměř vodorovně, v průběhu konce křídy a zejména v terciéru v důsledku alpínské orogeneze došlo k vytvoření vertikálních zlomů, podél nichž docházelo k vertikálním posunům. Tyto zlomy mají v zásadě dvě různé orientace:

1) zlomy SVV-JZZ směru spojené s terciérním vulkanismem Českého středohoří – např. krušnohorský a litoměřický zlom.

2) zlomy SSZ-JJV směru, kde je nejvýznamnější lužický zlom (porucha), který omezuje ČKP na severu a místy má charakter přesmyku.

Zlomová tektonika měla velký vliv zejména v počátečních stádiích vývoje ČKP (fluviální a estuární prostředí), kdy určovala směr a zhloubení paleoúdolí a tím i přínos klastického materiálu do pánve (Uličný a Špičáková, 2002; Uličný, 1999).

2.1.4. Hydrogeologie

ČKP představuje nejvýznamnější hydrogeologickou strukturu Českého masivu s největšími zásobami pitné vody. Zvodněné kolektory ČKP lze podle stratigrafického členění rozdělit do čtyř skupin:

1) bazální kolektor je vázán na perucko-korycanské souvrství (kolektor A), příp. je spojen se spodním bělohorským souvrstvím (kolektor AB)

- 2) kolektor B bělohorského souvrství
- 3) kolektor C jizerského souvrství
- 4) kolektor D všech souvrství nad jizerským souvrstvím

Nejvýznamnější kolektor C zadržuje 52 % celkového množství podzemní vody ČKP, kolektor A pak 20 % a kolektory C a D po 14 %. Podle stylu zvodnění lze ČKP rozdělit na 3 segmenty – západní, centrální a východní (Herčík et al., 1999).

Západní část je charakteristická rozsáhlými výskyty pískovců, které vytvářejí mocné pravidelně zvodněné kolektory. Zatímco kolektor A je vyvinut v téměř celé této části (průměrná mocnost 50 m, zvodnění téměř výhradně napjatá hladina), kolektor C (BC) je převážně omezen na území pravobřežních přítoků Labe (průměrná mocnost 150 m, zvodnění převážně volné), kde váže největší zásoby podzemní vody ČKP. Kolektor D se vytváří v pískovcích březenského, teplického a merbolitického souvrství a největších mocností dosahuje v zakleslé středohorské kře v Lužických horách.

Centrální část je z hydrogeologického hlediska naprosto nevýznamná v důsledku převažujících nepropustných vápnitých jílovců a slínovců jizerského, teplického a březenského souvrství. Vyskytuje se zde pouze málo výrazný bazální kolektor A s napjatou vodní hladinou. Přestože je tato část pánve z vodohospodářského hlediska nevýznamná, zvýšený obsah CO₂ (oblast mezi Poděbrady, Chlumcem nad Cidlinou a Sezemicemi) umožňuje použít vodu k balneologickým účelům (lázně Poděbrady a Bohdaneč).

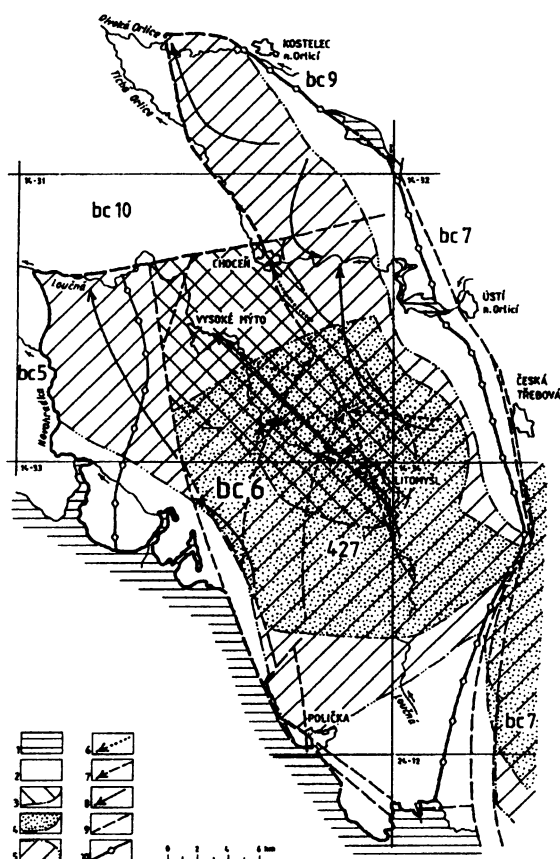
Ve východní části pánve je klíčovým faktorem zvodnění křídových sedimentů tektonická stavba (Vrba, 1966). Sedimenty jsou zde v důsledku alpínské orogeneze deformovány do systému vrásových struktur doprovázenými zlomy a tím dochází k rozčlenění této části pánve na jednotlivé samostatné segmenty s vlastním oběhem vody. Bazální kolektor A dosahuje proměnlivé mocnosti a vydatnosti v závislosti na hloubce deprese reliéfu a faciálního vývoje sedimentů. Kolektory B a C jsou vázány nejen na pískovce svrchní části, ale i na prachovito-písčité silicifikované slínovce. Protože jsou oba kolektory tvořeny křehkými horninami, vlivem tektonických procesů dochází k jejich drcení a tím vzniká vysoce propustný puklinový systém zapříčiňující vysokou propustnost. Podle geologických vlastností a typu kolektoru je možno východní část rozdělit do čtyř segmentů:

- a) křída v okolí Železných hor s kolektorem A
- b) ústecká a vysokomytáská synklinála s kolektory A, B, C (v ústecké synklinále i reliktní kolektor D)
- c) podorlická křída s kolektorem B
- d) hořicko-miletínská křída a královédvorská synklinála s kolektorem A

Ke spojitému zvodnění kolektorů dochází pouze v oblastech strukturální deprese, převážná část podzemních vod je tak vázána v izolovaných oblastech oddělených od sebe oblastmi stoku. Takovými nejvýznamnějšími oblastmi jsou synklinály královédvorská, miletínská, jaroměřská, ústecká, vysokomýtská, kyšperská, Dlouhé Meze a nejjižnější oblast hradecké synklinály (Herčík et al., 1999).

2.2. Vysokomýtská synklinála

Vysokomýtská synklinála představuje hydrogeologický bilanční celek bc6 (podle Herčík et al., 1999). Synklinála je vymezena povodím Loučné, mezipovodím Tiché a Divoké Orlice a v okrajových částech povodími Novohradky, Svratky a Svitavy přičemž celková plocha celku dosahuje 863 km². Schématickou mapu vysokomýtské synklinály zobrazuje Obr. 2.



Obr. 2. Schématická mapa Vysokomýtské synklinály (Herčík et al., 1999):

- 1 – předkřídlové útvary, 2 – území stoku,
- 3 – nádrž v kolektoru Cb, 4 – nádrž v kolektoru Ca, 5 – nádrž v kolektoru B,
- 6 – směr proudění podzemní vody v kolektoru Cb, 7 – směr proudění podzemní vody v kolektoru Ca, 8 – směr proudění podzemní vody v kolektoru B,
- 9 – zlom, 10 – osa antiklinály.

2.2.1 Geologie a stratigrafie

Podloží vysokomýtské synklinály tvoří proterozoické, příp. paleozoické slabě až středně metamorfované horniny poličského krystalinika nebo hlinecké zóny do kterých intrudovaly paleozoické variské granitoidní horniny (Buriánek et al., 2003; Pitra a Guiraud, 1996). Tyto horniny patří ke krystaliniku středočeské oblasti (bohemiku). Krystalinikum lužické (sudetské) oblasti vystupuje v ssz. části synklinály, kde jej tvoří metamorfované horniny zábřežského krystalinika. Sedimenty permského stáří tvoří podloží křídý ve východní části synklinály (Herčík et al., 1999).

Vysokomýtská synklinála je charakteristická tzv. orlicko-žďárským vývojem (Čech a Valečka, 1994), který tvoří pískovce bělohorského a jizerského souvrství s vyšším podílem glaukonitu a fosfátů. Pro tento vývoj je typické časté střídání pískovců a slínovců. Pouze ssz. synklinály a úzká zóna na s. je tvořena tzv. labským (slínovce) vývojem. Stratigraficky je synklinála tvořena perucko-korycanským až březenským souvrstvím. Perucko-korycanské souvrství tvoří souvislý (65-70 m) pokryv, kromě elevací krystalinika v okolí Vysokého Mýta. Perucké vrstvy jsou převážně tvořeny tzv. „přechodnou facií“ (mocnost až 22 m), která se vyznačuje zjemňujícími se cykly směrem do nadloží (pískovce/slepence až jílovité prachovce/jílovce). Korycanské vrstvy (většinou 10-20 m) jsou zastoupeny dominantními pískovci se zvýšenou příměsí jílovité frakce. Bělohorské souvrství (55-90 m) tvoří směrem do nadloží hrubnoucí gradační cyklus začínající slínovci, které přecházejí do jílovito-vápnitých pískovců, často silicifikovaných. V okrajích synklinály se vyskytují vložky silicity a silicifikovaných slínovců. Jizerské souvrství (135-165 m) je největším plošně rozšířeným souvrstvím. Litologie souvrství je velmi podobná jako v souvrství bělohorském, přičemž je možno vyčlenit dva do nadloží hrubnoucí cykly. Mocnost spodního cyklu velmi kolísá od 55 do 92 m, ale svrchní cyklus kolísá jen mezi 100 a 110 m. Teplické souvrství je v celém rozsahu zastoupeno pouze v okolí Vysokého Mýta, kde dosahuje mocnosti 80-85 m. Souvrství je převážně tvořeno vápnitými jílovci, ale ve svrchních částech vystupují charakteristické rohatecké vrstvy, které dosahují mocností až 35 m. V některých polohách rohateckých vrstev je silicifikace natolik silná, že jsou klasifikovány až jako silicity (např. Slavík a Valečka, 1988). Nejsvrchnější březenské souvrství (15-20 m) se zachovalo pouze na několika elevacích v jv. okolí Vysokého Mýta (Čech, 1996). Nadloží křídý je převážně tvořeno kvarterními, příp. neogenními sedimenty.

2.2.2. Tektonika

Mladší fáze saxonské tektogeneze vedly ke vzniku plochých, většinou nesouměrných vrás, které byly postiženy podélnými zlomy poklesového charakteru (Vavřínová, 1981). Tektonická stavba vysokomýtské synklinály je dominantním faktorem určujícím geometrii proudění v jednotlivých kolektorech. V důsledku poklesu ker orlicko-kladské klenby k JZ došlo k vytváření asymetrických vrás a v severovýchodních ramenech antiklinál vznikly flexury. Místy došlo i k přerušení vrstev a pokračování zlomů do platformního pokryvu (Malkovský, 1979).

Synklinála je sevřena mezi potštejskou a vraclavskou antiklinálou, které mají asymetrickou stavbu. Potštejská antiklinála představuje nejvyšší elevaci v této oblasti probíhající ve směru SSZ-JJV, která se v oblasti Janova stáčí na SSV-JJZ. Vysokomýtská synklinála představuje asymetrickou strukturu SZ-JV směru. Její východní křídlo má oproti západnímu jednoduchou stavbu s příkřejším sklonem. Konečně vraclavská antiklinála má generelní severní sklon osy a je charakteristická zejména tzv. choceňskou flexurou krátkého průběhu S-J směru od Chocně ke Kosořínu (Soukup, 1948).

Zlomová struktura převážně SZ-JV směru je tvořena především zlomem malejovským a jílovickým, které sledují osy vrásových struktur vraclavské a vysokomýtské synklinály (Herčík et al., 1999). Podél jílovického zlomu došlo k poklesu západní kry o 50-200 m a tento pokles klesá směrem k Litomyšli, kde zlom vyznívá. Naopak malejovský zlom pokračuje více k JV až za okraj křídly. K těmto dvěma zlomům jsou příčně vyvinuty zámurské zlomy s. od Vysokého Mýta a častolovický zlom v údolí Divoké Orlice.

2.2.3. Hydrologie a hydrogeologie

Hlavním hydrogeologickým faktorem Vysokomýtské synklinály je litofaciální změna labské facie (slínovce) na facii orlicko-žďárskou (pískovce), rytmičnost sedimentace a puklinatost (Vavřínová, 1981). Hlavní povrchový tok Vysokomýtské synklinály představuje řeka Loučná, která odvodňuje 60 % území. Přijímá většinu odtoku podzemní vody z kolektorů Ca a Cb a část vody z kolektoru B. Zbytek vody kolektoru B přijímá Tichá Orlice a Novohradka. Průtoky plně charakterizují tvorbu podzemních vod v křídlových kolektorech synklinály. Ke zvýšenému průtoku Loučné dochází mezi Litomyšlí a Hrušovou (přiron 760 l/s podzemní vody z toho přes X0 % skrytě do toku Loučná). K podobně skrytým přironům dochází i u Tiché Orlice, Desné (přítok Loučné) a řady dalších toků.

Významné zásoby podzemních vod vysokomýtské synklinály jsou vázány v puklinově propustném jizerském (kolektor Ca a Cb) a bělohorském (kolektor B) souvrství. Bazální

kolektor A v perucko-korycanském souvrství má pouze omezený význam, vzhledem k nesouvislé mocnosti.

Detailní hydrogeologické poměry Vysokomýtské synklinály zpracovali v rámci komplexní syntézy ČKP Herčík et al. (1987). Následující popis vychází převážně z této práce.

Pískovce orlicko-žďárského vývoje obsahují 4 kolektory (A, B, Ca, Cb), meziizolátory a hlavní stropní izolátor. Labský vývoj vysokomýtské synklinály není hydrogeologicky tak významný a jsou v něm vyvinuty pouze 2 kolektory (A, B). Kolektory B, Ca a Cb jsou většinou ve tvaru deskovitých těles mocných 30-50 m.

Bazální kolektor A je vázaný na sedimenty perucko-korycanského souvrství (cenoman). Kolektor má pouze omezené plošné rozšíření a vzhledem k pomalému oběhu vody (průlino-puklinová propustnost) je kvalita vody špatná. Kolektory B (spodní turon), Ca (střední turon) a Cb (svrchní turon, spodní coniac) mají mnoho společných vlastností a jsou typicky vázané na svrchní polohy do nadloží hrubnoucích cyklů bělohorského a jizerského souvrství. Typicky jsou vyvinuty v rigidních křehkých horninách (pískovce), které ale obsahují vložky silicifikovaných slínovců. Tyto pevné horniny se chovají při deformaci tříštivě a tím dochází k otevírání puklin a vytvoření puklinového systému, který je klíčový pro oběh podzemní vody. Mocnost kolektorů je tak úzce spjata s litofaciálními přechody hornin a zejména intenzitou deformace. Transmisivita kolektoru je závislá na homogenitě filtračního prostředí, tj. na propojení jednotlivých puklin. Z čerpacích zkoušek na vrtech bylo zjištěno, že v regionálním měřítku jsou tyto kolektory značně nehomogenní což je zřejmé z velkého rozptylu hodnot transmisivity na vrtech.

Kolektor B je vázán na svrchní část bělohorského souvrství a je tedy rozšířen po celém území Vysokomýtské synklinály. Přestože má relativně malé infiltrační území, jeho vydatnost je velmi vysoká. Vzhledem k nehomogenitě však vykazuje velký rozptyl hodnot transmisivity (0,1 až 1123 m²/d) s průměrnou hodnotou 190 m²/d. Díky tomu mají vrty situované v tomto kolektoru vydatnosti v X0 až X00 l/s. Propustnost kolektoru je puklinová a stropní izolátor představují slínovce spodní části středního turonu. K přínosu vody do kolektoru dochází na výchozech kolektoru v okrajových částech synklinály. Zásoby podzemní vody jsou soustředěny v centrální části synklinály (artézská nádrž) a odtud jsou vedeny směrem k s. třemi sestupujícími proudy (západní Nadymač → Novohradka → Loučná; střední Loučná; východní Tichá Orlice).

Kolektor Ca je vyvinut ve střední části jizerského souvrství, které je zastoupeno pouze jižně od zámrské elevace. Transmisivita kolektoru vykazuje nižší hodnoty než kolektor B (průměrná hodnota 95 m²/d), ale opět velmi vysoký rozptyl hodnot. Transmisivita klesá o dva

a více řádů podél severního ohraničení kolektoru (linie Džbánov-Vračovice-Ústí nad Orlicí). Plošné rozšíření zásob podzemních vod je mnohem nižší než v kolektoru B. Hladina kolektoru je převážně napjatá (320-380 m.n.m.), pouze v depresích řeky Loučné v okolí obce Hrušová kolektor vykazuje výrazné artézské zvodnění (+ 80 m.n.t.).

Kolektor Cb má ze všech kolektorů největší plošné rozšíření, protože je vázán na nejsvrchnější partie jizerského souvrství. V ose synklinály je vyvinut stropní izolátor kolektoru tvořený teplickým a březenským souvrstvím. Hodnoty transmisivity dosahují nejvyšších hodnot ze všech kolektorů – 198 m²/d s poměrně nízkým rozptylem hodnot. Nádrž podzemní vody kolektoru má nejnižší plošné rozšíření a oproti ostatním kolektorům má volnou hladinu podzemní vody. Voda v kolektoru je v hydraulické souvislosti s řekou Loučnou a prameny Pekla (s. od obce Hrušová) představují přelivné prameniště v místech, kde jsou vyvinuty stropní izolátory. Tato dotace kolektoru je doplněna liniovým přetokem podzemních vod podél zlomových linií.

2.2.4 Chemismus vod

Všechny drenážní vody vykazují vysokou průměrnou mineralizaci až 750 mg/l. Tyto vody mají mineralizaci Ca-SO₄-HCO₃ typu a obsahují velmi vysoké obsahy Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻ iontů (Vavřínová, 1981). To ukazuje na velké znečištění těchto vod zejména zemědělskými hnojivy.

Vody cenomanského kolektoru (kolektor A) lze rozdělit do 2 typů s typickou mineralizací kolem 350 mg/l. První typ (Ca-HCO₃) se vyskytuje především v křídlech synklinály, zatímco druhý typ (Na-Ca-Cl-HCO₃) je vázán na centrální části synklinály (oblast mezi Litomyšlí a Vysokým Mýtem). Oba typy nemají prakticky žádné obsahy NO₃⁻ a SO₄⁻, ale vykazují vysoké až velmi vysoké obsahy Fe (až 37 mg/l).

Všechny tři významné kolektory (B, Ca, Cb) vykazují podobný chemismus Ca-HCO₃ typu s typickou mineralizací 300-600 mg/l. Podzemní vody kolektoru B jsou převážně tohoto typu, nicméně výše zmíněné tři sestupné proudy z hlavní nádrže vykazují různý chemismus. Západní proud je charakteristický výrazným zvýšením obsahu HCO₃ a Na dosahující v místě odvodnění u Stradouně souhrnné koncentrace až 1000 mg/l. U vod středního a východního proudu nedochází k tak výraznému nárůstu mineralizace a v místech odvodnění dosahují hodnot pouze kolem 350 mg/l. Vody tohoto kolektoru vykazují podobné chemismy jako vody kolektoru A (nízké obsahy NO₃⁻ a SO₄⁻), ukazující na nízké znečištění povrchovými vodami, ale vysoké obsahy Fe (až 1,7 mg/l) a v některých vrtech i Mn. Vavřínová (1981) to připisuje pravděpodobné přítomnosti pyritu v horninovém prostředí. Vody kolektoru Ca jsou převážně

Ca-HCO₃ typu, ale lze vyčlenit dvě samostatné oblasti s odlišnou tvorbou chemického složení vod. V západních částech kolektoru dochází k výraznému nárůstu mineralizace až na 600 mg/l a v jv. části kolektoru byly dokonce zastiženy vody typu Na-HCO₃ s mineralizací až 800 mg/l. Charakteristické jsou zvýšené obsahy NO₃⁻ (až 63 mg/l), SO₄⁻ a v některých případech i amonných (0,1 mg/l) iontů. V některých vrtech byly zastiženy rovněž zvýšené koncentrace Fe (průměrně 0,4 mg/l) a Mn (Vavřínová, 1981). Podobné chemické složení (Ca-Na-HCO₃) vykazují vody kolektoru Cb. V jižní části kolektoru se formují vody středně mineralizované (400-450 mg/l), zatímco v severní části dosahují zvýšené mineralizace (500-650 mg/l). Vody pramenů mají zvýšené obsahy NO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, Mg²⁺ a K⁺. Naproti tomu, chemismus vod z vrtů je odlišný zejména v nízkých koncentracích NO₃⁻ (< 4 mg/l), ukazující oproti pramenům spíše na dlouhý oběh vod, které jsou v rovnováze s horninovým prostředím (Vavřínová, 1981). K výraznému přínosu Na z kolektoru Ca dochází podél jílovického zlomu a tím se výrazně zvyšuje i mineralizace (830 mg/l). Extrémní hodnoty mineralizace (1490 mg/l) s výrazně odlišným chemismem typu Na-Ca-SO₄-HCO₃ byly zastiženy v proudově zastíněném prostoru podél j. zámorského zlomu.

3. HYDROGEOLOGICKÁ PROZKOUMANOST ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

První hydrogeologické zprávy publikoval již v roce 1949 a 1961 Hynie, tyto však tvořily pouze součást rozsáhlého hydrogeologického průzkumu ČR (Hynie, 1949, 1961). Tvorbu zásob podzemních vod zhodnotil Hercog et al. (1971). V 60. a 70. letech minulého století bylo řešeno velké množství konkrétních vodohospodářských úkolů, v rámci kterých došlo k intenzivnímu vrtnému průzkumu, ale žádná nepředstavovala systematický výzkum celé Vysokomýtské synklinály.

Komplexní rozsáhlý hydrogeologický průzkum zahrnující: mapování pramenů, čerpací zkoušky a chemismus podzemních a povrchových vod provedla Vavřínová (1981). Tato práce jako první poukázala na to, že rozhodujícím faktorem zvodnění Vysokomýtské synklinály je puklinová propustnost, podmíněná rozpukáním hornin, jejich litofaciálním vývojem a lokální tektonikou. Hlavním závěrem této práce je zhodnocení jednotlivých kolektorů co se týče jejich výskytu a mocností, vydatností a zejména chemismu podzemních vod. Součástí této práce bylo vyhodnocení stáří podzemních vod (radiouhlíková metoda) provedené J. Šilarem.

Na tento hydrogeologický průzkum navázal Žižka (1982, 1985). Zatímco Vavřínová (1981) provedla vyhodnocení přírodních zdrojů a využitelných zásob v kategorii C₂, Žižka pokračoval v průzkumu zásob kategorií C₁ a B.

Během 90. let bylo v rámci geologického a hydrogeologického mapování provedena celá řada drobných prací převážně ve východní a jižní části Vysokomýtské synklinály (Čech, 1995; Čurda, 1997, 2000). Shrnutí dosavadních poznatků o celé české křídové pánvi publikoval Herčík et al. (1999).

4. METODIKA PRÁCE

4.1. Odběr vzorků podzemních vod

Vzorky na stanovení chloridů a dusičnanů jsem odebrala do lahví o objemu 0,5 l. Vzorky pro stanovení tritia jsme odebrali do PET lahví s dobrým těsněním.

4.2. Měření fyzikálních a chemických parametrů

Konduktivitu jsem měřila pomocí konduktometru Cond 340i se sondou TetraCon 325 od firmy WTW (Německo). Tento přístroj má zabudovanou automatickou kompenzaci na teplotu 25 °C. Přesnost přístroje je 0,5%. Konduktivitu jsem měřila na pramenech a přímo v toku Loučná a Desná.

Teplotu pramenů a toků jsem měřila pomocí elektrického odporového teploměru s ponorným čidlem, sondou s přesností 0,1 °C a kabelem (GTH 175/Pt od fy. Greisinger, Německo).

Hodnotu pH pramenů jsem měřila pomocí pH metru pH 330i se sondou SenTix 41 od firmy WTW.

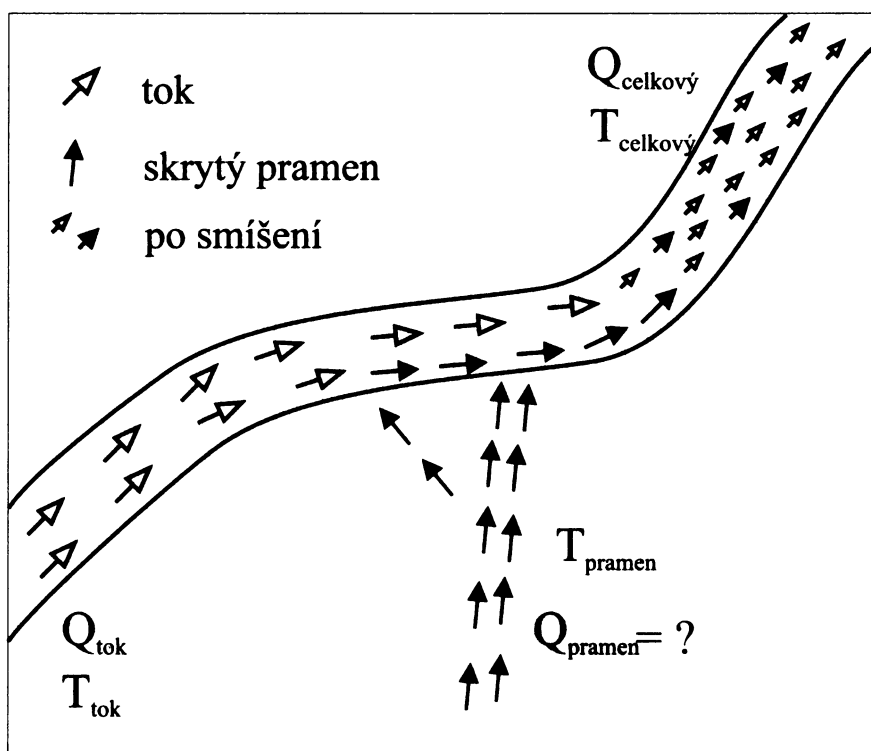
4.3 Měření průtoků

Měření průtoků vybraných toků a pramenů jsem provedla pomocí hydrologického křídla C2 od firmy OTT ve dvou etapách. Hustotu měřených bodů v síti jsem zvolila s ohledem na hloubku a šířku toků/pramenů. Dobu měření jednoho bodu v síti jsem stanovila na 30 sekund. Touto metodou lze dosáhnout přesnosti až $\pm 5\%$ (Pelikán, 1988). Pokud to bylo možné, měření bylo opakováno na více profilech a následně tyto hodnoty zprůměrovány. K vyhodnocení naměřených dat byl použit program HYDROM (Petr Nakládal, Vodní zdroje a.s.). Pokud nebylo průtok možné naměřit pomocí hydrometrické vrtule, byla určena alespoň orientační hodnota pomocí odhadu.

4.4. Termometrie a vydatnost pramenů

Měření teploty a s ním spojené měření konduktivity vybraných toků jsem provedla v zimním období, v průběhu nejvyšších mrazů, aby se co možná nejvíce projevil příron podzemních vod na teplotě vody toku. V případě, že jsou toky pokryté ledem, je možné se s měřením teploty soustředit pouze na rozmrzlé úseky (Bruthans a Zeman, 2001). Cílem měření bylo lokalizovat a kvantifikovat veškeré přítoky do toků ve vybraných úsecích. Vydatnost přítoků (skrytých pramenů) byla zjišťována na základě změny teploty a konduktivity, kterou pramen vyvolal v povrchovém toku (Obr. 3). Principem je zákon

zachování hmoty a tepla. Pro výpočet vydatnosti jsem použila vztahy Votruba a Patera (1983), Bruthans a Zeman (2001), viz. rovnice 1 až 3. Při měření jsem postupovala podél toku nebo kde to bylo možné, přímo korytem toku. Krok mezi jednotlivými měřeními byl 25-500 m v závislosti na vodnosti a míře zamrzání toku.



Obr. 3. Princip měření vydatnosti skrytých příronů podzemních vod. Upraveno podle Bruthans a Zeman (2001).

$$Q_{\text{celk}} \cdot R \cdot c \cdot T_{\text{celk}} = Q_{\text{tok}} \cdot R \cdot c \cdot T_{\text{tok}} + Q_{\text{pramen}} \cdot R \cdot c \cdot T_{\text{pramen}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{celk}} = Q_{\text{tok}} + Q_{\text{pramen}} \quad (2)$$

z nichž plyne:

$$Q_{\text{pramen}} = Q_{\text{tok}} \cdot (T_{\text{tok}} - T_{\text{celk}}) / (T_{\text{celk}} - T_{\text{pramen}}) \quad (3)$$

Kde:

Q_{pramen} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] a T_{pramen} [$^{\circ}\text{C}$] je vydatnost a teplota skrytého pramene.

Q_{tok} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] a T_{tok} [$^{\circ}\text{C}$] je vydatnost a teplota toku nad pramenem.

Q_{celk} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] a T_{celk} [$^{\circ}\text{C}$] je vydatnost a teplota toku pod pramenem.

c je měrné teplo vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$].

R je hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Změřila jsem hodnoty: Q_{tok} , T_{tok} , T_{celk} , T_{pramen} . Q_{pramen} jsem vypočítala z rovnice (3).

Výsledky měření jsem zpracovala pomocí programu MS EXCEL. Kótaci (metráž) toku jsem nejprve provedla zakreslením bodů do topografické mapy 1:50 000. Následně jsem veškeré měřené body vynesla v programu ArcMap 9.1 do podkladových topografických map v měřítku 1:10 000 a jejich vzdálenosti odečetla.

4.5. Obsahy dusičnanů a chloridů

V diplomové práci jsem se zaměřila na obsahy dusičnanů a chloridů, které lze využít jako indikátory ovlivnění lidskou činností (hnojení polí, solení komunikací a úniky odpadních vod). První série vzorků pro stanovení NO_3^- , Cl^- jsme odebrali v červnu 2005 z vybraných pramenů. Druhou sérii vzorků odebral Jiří Bruthans v lednu 2007. Dusičnany a chloridy byly stanoveny pomocí HPLC v laboratořích fy. Ecochem (rok 2005) a jejich nástupcem ALS Laboratory group (leden 2007).

4.6. Tritium

Tritium je izotop vodíku ^3H s poločasem rozpadu 12,43 let. Jeho koncentrace se vyjadřuje v tritiových jednotkách - TU. Přírodní koncentrace tritia ve srážkách se před rokem 1950 pohybovaly v jednotkách TU, ale v důsledku termionukleárních pokusů během 50. a 60. let došlo k nárůstu koncentrací tritia v atmosféře až o několik řádů. Tritium, které je v současné době obsažené v podzemní vodě, je tak převážně antropogenního původu. Jedna z metod na stanovení střední doby zdržení z obsahu tritia ve vodě je založena na sledování vývoje obsahu tritia v závislosti na čase (Kendall a McDonnell 1998). Nicméně, tato metoda je použitelná pouze v případě, že na zkoumaném objektu byly analyzovány obsahy tritia v 80. letech nebo dříve.

Vzhledem k tomu, že analýzy z 80. let nejsou pro prameny, ze kterých jsme vzorky odebírali k dispozici, mohla jsem použít pouze kvalitativní interpretaci střední doby zdržení (Clark a Fritz, 1997):

pod 0,8 TU	infiltrace před rokem 1950
0,8 – 4 TU	směs infiltrace před rokem 1950 a moderní infiltrace
5 – 15 TU	moderní voda (5 až 10 let stará)

15 – 30 TU moderní voda s příměsí vody z 60. a 70. let
přes 30 TU významná složka infiltrace z 60. a 70. let
přes 50 TU infiltrace z 60. let převažuje

Od školitele jsem získala střední aktivity tritia ve srážkové vodě opravené na rozpad k 1.1.2005 pro dvě období: a) roky 1960-1980 a b) roky 1981 až 2004. Jedná se o hodnoty získané z měsíčních aktivit tritia z dat ze stanice IAEA Vídeň (IAEA/WMO, 2006), které byly váženy množstvím srážek a byly z nich vypočteny průměrné hodnoty pro zimní a letní pololetí jednotlivých let (detaily viz. Bruthans, 2006).

Pro výpočet procentuelního zastoupení vod z 60. a 70 let (tritiem bohatých) jsem použila zjednodušený dvousložkový model, který kombinuje dvě složky z následujících tří (Bruthans a Kadlecová 2005): složka 1-OLD představuje infiltraci vod před rokem 60 (~ 0 TU), složka 2-60. představuje vody z 60. až 80. let (~ 55-65 TU) a složka 3-REC infiltraci po roce 1980 (~ 10 TU). Vzhledem k nižší koncentraci tritia v zimním období a naopak vyšší v letním, je nutné uvažovat míšení těchto dvou složek. Z toho důvodu jsem použila dva extrémní poměry zastoupení srážek zima/léto (1:1 – stejný poměr jako ve srážkách a 1:0,3 – silné nabohacení zimní vodou díky většímu výparu v létě). Reálná hodnota bude mezi těmito dvěma extrémy. Další detaily viz. Bruthans (2006).

Vzorky na stanovení tritia jsme odebrali v červnu 2005 z vybraných pramenů. Druhou sérii vzorků odebral J. Bruthans v lednu 2007. Odebrané vzorky na stanovení tritia byly uchovávány v temnu. Měření obsahu tritia ve vzorcích provedla Z. Churáčková v laboratoři PŘF UK na nízkopozadovém kapalinovém scintilačním spektrometru Tri Carb 3170Tr/SI (Canberra-Packard Company). Vzorky byly elektrolyticky nabohaceny v poměru 1:10 v izotopové laboratoři PŘF UK. Každý vzorek byl měřen ve čtyřech opakováních po dobu 700 minut. Přesnost stanovení je mezi 0,2 a 0,8 TU.

4.7. Zpracování vrtné dokumentace Hydrofondu

Hydrogeologické poměry Vysokomýtské synklinály byly v minulosti popsány pomocí značného množství hydrogeologických vrtů a systematického měření průtoků. Z databáze Hydrofondu jsem získala v rámci této diplomové práce rozsáhlý soubor všech dostupných vrtů (683 vrtů) Vysokomýtské synklinály včetně chemismu podzemních vod, vydatností a pro 250 nejhlubších vrtů též geologický profil (Geofond ČR). Pomocí geologického profilu jsem vrty rozdělila do jednotlivých kolektorů, do kterých spadají jejich otevřené úseky. Ostatní vrty, které měly max. hloubku do 30 m jsem zařadila do skupiny kvartér a mělká zvodeň, protože

tyto vrty jsou situovány až na výjimky do blízkosti údolnic a z geologické mapy nelze určit do kterého kolektoru zasahují. Navíc lze u těchto vrtů s vysokou pravděpodobností předpokládat kontaminaci způsobenou antropogenní činností, zejména z plošných zdrojů znečištění. Tyto skupiny dat jsem zpracovala pomocí MS EXCELU a následně importovala do programu ArcMap 9.1. Pomocí tohoto programu jsem vytvořila plošnou distribuci chemismu (CHSK, pH, K, Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, SiO₂) podzemních vod a specifických vydatností a vykreslila je do podkladových map 1:50 000.

4.8. Režimní sledování pramenů ČHMÚ

Z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) jsem získala režimní měření vydatností a teplot pěti pramenů ve Vysokomýtské synklinále za celou dobu sledování. Tato data jsem zpracovala pomocí MS EXCELU a vytvořila čáry vyprazdňování a čáry překročení. Metoda hodnocení čar vyprazdňování podle Kullmana (1990) spočívá v nahrazení skutečné čáry vyprazdňování pramene matematicky modelovanou křivkou, získanou jako superpozici několika exponenciálních rovnic ve tvaru :

$$Q_t \approx Q_0 \cdot e^{-\alpha (t - t_0)}$$

nahrazujících laminární proudění vody v horninovém prostředí a případně jedné, nebo několika lineárních rovnic ve tvaru :

$$Q_t = Q_0 [1 - \beta (t - t_0)]$$

nahrazujících turbulentní proudění vody v horninovém prostředí. Z celého období sledování vydatností pramenů jsem nejprve manuálně a následně pomocí makra v MS EXCELU vybrala vhodné úseky znázorňující vyprazdňování vrtu v období po dešti. Těmito úseky jsem proložila 1 až 2 laminární subrežimy (v případě těchto pěti pramenů jsem nepoužila turbulentní subrežim) a získala tak hodnoty Q a koeficienty vyprazdňování α (v případě dvou subrežimů α_1, α_2). Následně jsem z těchto dat vytvořila logaritmický graf Q vs. α .

Pro data z těchto pěti pramenů jsem také provedla autokorelaci. Jedná se o korelaci průtoků se stejnou řadou průtoků tak, že druhá řada (identická s první) se postupně posouvá o časový interval. Při posunu = 0 je korelace rovna 1 (řady jsou zcela shodné). Se zvyšujícím se časovým odstupem již míra korelace klesá v závislosti na tom jak prudce se průtok daného pramene mění v čase. Protože se jedná o stovky výpočtů korelačního koeficientu, využila jsem dostupné makro v programu MS EXCEL. Makro automaticky posouvá po každém výpočtu druhou řadu o 1 řádek dolů (v mém případě o 7 dní) a znovu spočítá korelaci.

Z těchto dat jsem následně vytvořila graf ukazující míru korelace v závislosti na časovém posunu.

Rovněž jsem z ČHMÚ získala pro veškeré studované prameny Vysokomýtské synklinály koncentrace dusičnanů za celou dobu jejich sledování. Data jsem zpracovala pomocí programu MS EXCEL a pro prameny, ve kterých byly koncentrace dusičnanů dlouhodobě sledovány, jsem vytvořila graf vývoje dusičnanů v čase. Pro zajímavost a komplexnost dat jsem k pramenům, u kterých jsme odebírali vzorky v letech 2005 a 2007 doplnila nejnovější koncentrace dusičnanů.

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1. Termometrie a měření průtoků

Měření teploty a konduktivity vybraných toků (Desná, Loučná) jsem provedla 13-15. a 20-22. ledna 2006 za účelem nalezení všech přítoků. Termíny měření byly voleny v obdobích, kdy teploty klesaly pokud možno maximálně pod bod mrazu, aby byl teplotní kontrast mezi přítoky podzemní vody a povrchovým tokem co největší. Na základě dosud zjištěných poznatků a vzhledem k velkému množství pramenů byly vybrány 3 úseky pro tato měření (Příloha 1):

- 1) Desná I – tok Desná od Poříčí u Litomyšle do Visky
- 2) Desná II – tok Desná v celé délce obce Osík
- 3) Loučná – tok Loučná od železniční stanice v Cerekvici nad Loučnou po Soukenickou Valchu před Vysokým Mýtem

Měření průtoků Desné a Loučné jsem provedla ve 2 etapách. Nejdříve v lednu 2006 při měření termometrie a konduktivity a poté v období 23.-24. června 2007. První etapa měření zahrnovala pouze počáteční úseky toku Desná a Loučná, kde probíhala termometrie a měření konduktivity za účelem zhodnocení naměřených dat. Tato měření jsem využila k výpočtu vydatností přítoků na základě zachování hmoty a tepla (kap. 4.4). Vydatnost přítoků jsem vypočítala jako průměrnou hodnotu z výsledků měření teploty a konduktivity. V druhé etapě jsem se zaměřila na celkovou vydatnost vybraných toků a jejich přítoků/pramenů (kde to bylo možné).

5.1.1. Desná I

Délka měřeného úseku byla cca. 5000 m. V oblasti toku Desná I jsem našla 5 pramenů (D1-D5; Obr. 4), přičemž tři z nich byly již dříve popsány a zakresleny v kartografických mapách. Všechny tyto prameny se nacházejí v blízkosti toku Desná a nepředstavují její skryté přírony. Naměřené hodnoty teploty a konduktivity toku jsou uvedeny v Tab. 1, pramenů v Tab. 2 a průběh jejich variace v závislosti na délce toku je zobrazen na Obr. 5.

Tab. 1. Teplota a konduktivita úseku Desná I včetně vydatností jeho přítoků

vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)	vydatnost přítoku (l/s)	označení
0	0,1	208		odpad z potrubí
162	0,2	214		
222	0,9	260		
263	0,7	264		
320	0,6	265	3,2	pramen D1 (pramen U Kapličky)

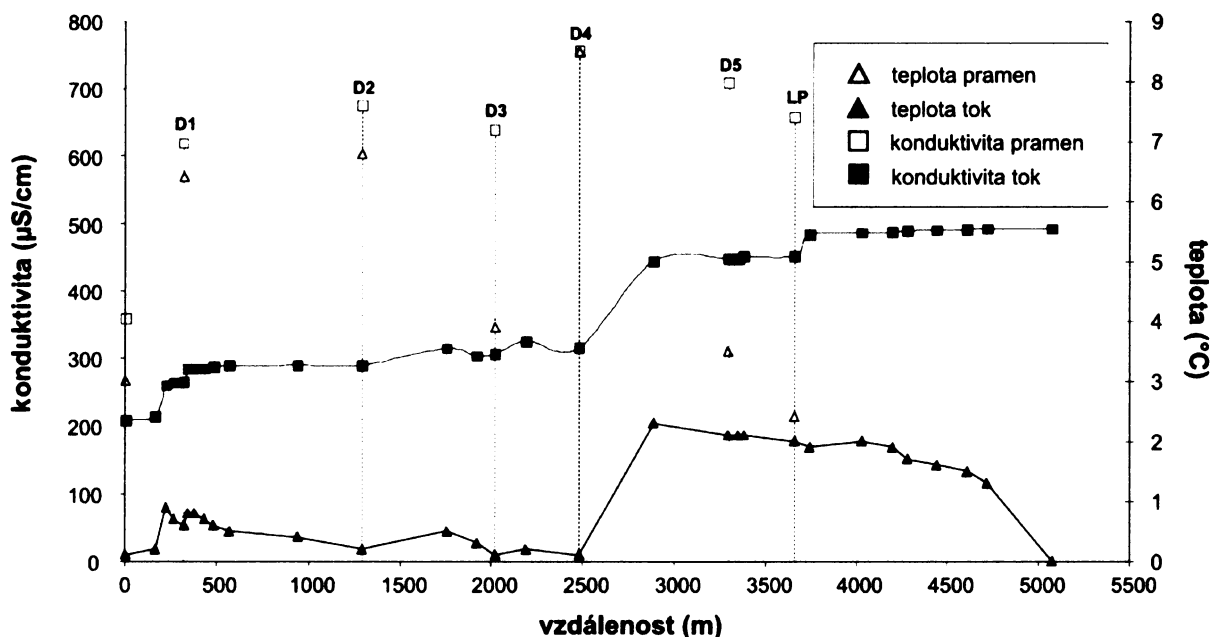
341	0,8	285		
377	0,8	285		
430	0,7	285		
482	0,6	288		
567	0,5	289		
939	0,4	290		
1291	0,2	290	3,6	pramen D2
1755	0,5	315		
1918	0,3	304		
2019	0,1	307	1	pramen D3
2188	0,2	326		
2480	0,1	316	21	pramen D4 (pramen Panna Marie)
2888	2,3	445		
3294	2,1	449	0,8	pramen D5 (Drábova Studánka)
3350	2,1	449		
3382	2,1	452		
3661	2,0	453	19	Lubenský potok
3744	1,9	484		
4029	2,0	487		
4196	1,9	488		
4279	1,7	490		
4441	1,6	491		
4606	1,5	492		
4716	1,3	493		
5073	0,0	493		



Obr. 4. Lokalizace pramenů Desná I (podkladová mapa 1:50 000)

Tab. 2. Teplota a konduktivita pramenů úseku Desná I

označení	vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)
pramen D1 (pramen U Kapličky)	320	6,4	620
pramen D2	1291	6,8	676
pramen D3	2019	3,9	640
pramen D4 (pramen Panna Marie)	2480	8,5	756
pramen D5 (Drábova Studánka)	3294	8,1	716



Obr. 5. Průběh termometrie a konduktivity úseku Desná I

Z Tab. 1 a Obr. 5 je patrné, že všechny nalezené přítoky ovlivnily z větší či menší míry konduktivitu a teplotu toku. Je to dáno zejména nízkou počáteční konduktivitou toku (208 μS/cm). Průtok na začátku úseku Desná I jsem změřila hydrologickým křídlem a jeho hodnota činila 47 l/s. Nejvýznamnějším přítokem Desné v tomto úseku je pramen D4-Panna Marie, který svojí vydatností 21 l/s a vysokými hodnotami konduktivity (756 μS/cm) výrazně dotuje tok Desné a ovlivňuje jeho fyzikální hodnoty. Ostatní prameny mají průtoky pohybující se v rozmezí 0,8 – 3,6 l/s. V závěru zkoumaného úseku se do toku Desná vlévá Lubenský potok s vydatností 19 l/s.

Podrobnější měření průtoků, které jsem provedla v červnu 2007 (období sucha) ukázalo, že ve studovaném úseku dochází pravděpodobně k vsakování do náplavů toku a dotaci křídového kolektoru. Počáteční hodnota naměřeného průtoku činila 19 l/s, dotace pramene

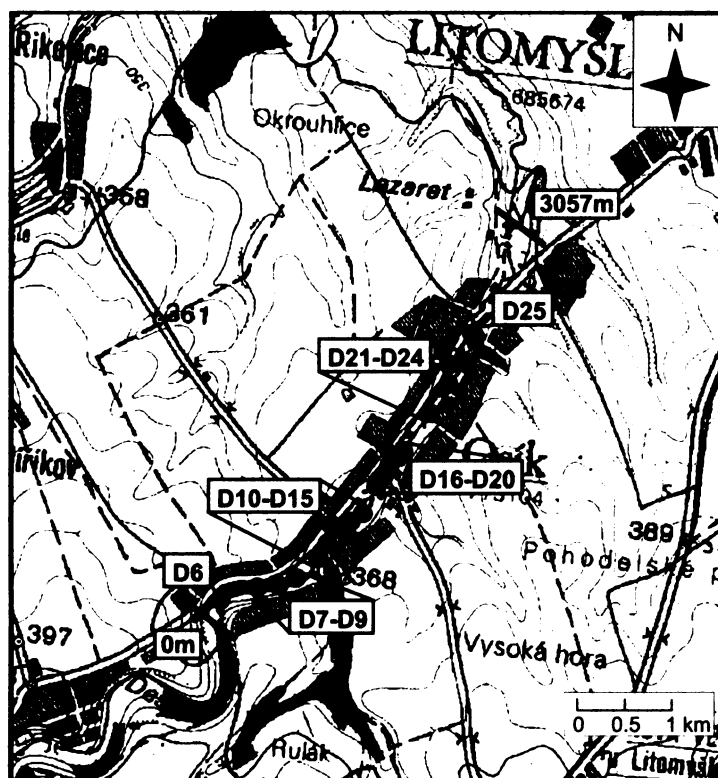
D4-Panna Marie byla 12 l/s (ostatní prameny byly vyschlé), ale výsledná hodnota průtoku na konci úseku Desná I činila pouze 22 l/s.

5.1.2. Desná II

Délka měřeného úseku byla cca. 3000 m. V oblasti toku Desná II jsem našla 20 pramenů (D6-D25; Obr. 6), čtyři z nich byly již dříve popsány a zakresleny v kartografických mapách. Některé tyto prameny se nacházejí v blízkosti toku Desná, jiné představují skryté přírny do toku. Naměřené hodnoty teploty a konduktivity toku jsou uvedeny v Tab. 3, pramenů v Tab. 4 a průběh jejich variace v závislosti na délce toku je zobrazen na Obr. 7.

Tab. 3. Teplota a konduktivita úseku Desná II včetně vydatností jeho přítoků

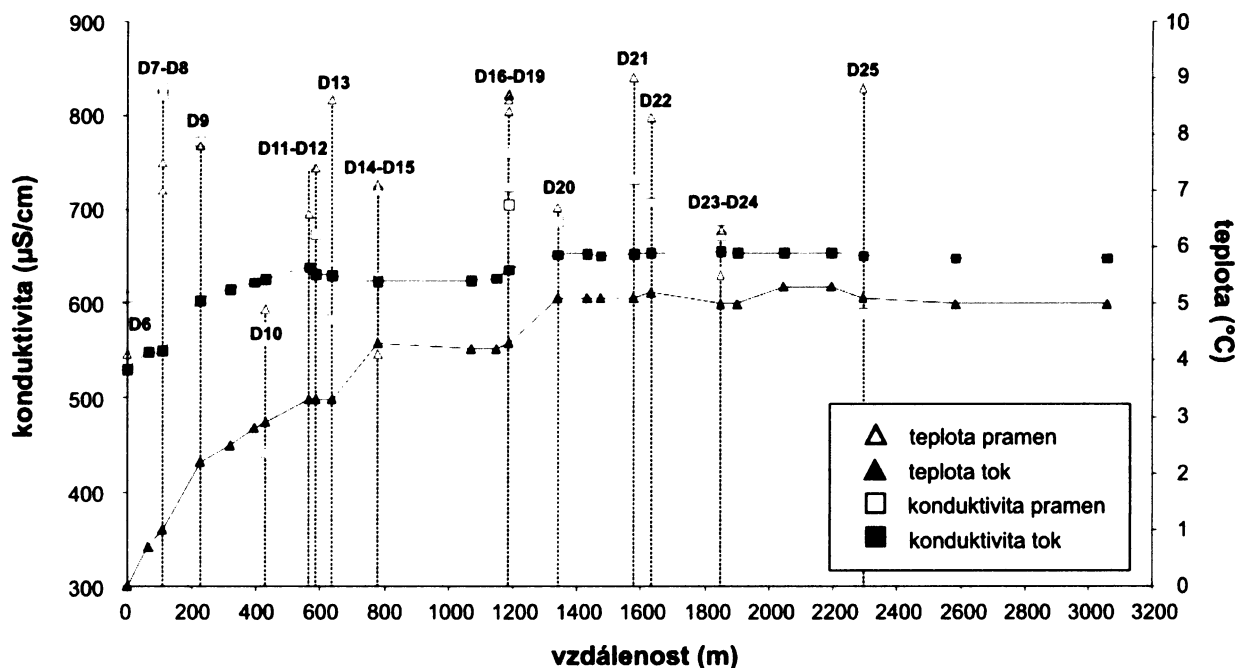
vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)	vydatnost přítoku (l/s)	označení
0	0,0	531	65,9	pramen D6
65	0,7	549		
109	1,0	550		pramen D7, pramen D8
227	2,2	604		pramen D9 (pramen Třasavka)
320	2,5	616		
395	2,8	623		
430	2,9	626	30,5	pramen D10
565	3,3	632		pramen D11
585	3,3	632	54,1	pramen D12
636	3,3	630		pramen D13 (pramen Hertička)
779	4,3	624		pramen D14, pramen D15
1071	4,2	625		
1149	4,2	627	72,9	pramen D16, pramen D17
1187	4,3	636		pramen D18, pramen D19 (pramen Paďovrka)
1340	5,1	652	5	pramen D20
1431	5,1	653		
1473	5,1	651		
1576	5,1	653	8	pramen D21
1630	5,2	654	8,2	pramen D22 (pramen u Mlýna)
1848	5,0	655		pramen D23, pramen D24
1901	5,0	654		
2045	5,3	654		
2194	5,3	654		
2293	5,1	651	0,5	pramen D25
2583	5,0	648		
3057	5,0	648		



Obr. 6. Lokalizace pramenů Desná II (podkladová mapa 1:50 000)

Tab. 4. Teplota a konduktivita pramenů úseku Desná II

označení	vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)
D6	0	4,1	608
D7	109	7,5	830
D8	109	7,0	832
D9 (pramen Třasavka)	227	7,8	773
D10	430	4,9	442
D11	565	6,6	748
D12	585	7,4	674
D13 (pramen Hertička)	636	8,6	584
D14	779	5,6	618
D15	779	7,1	628
D16	1149	8,6	761
D17	1149	8,7	724
D18	1187	8,4	706
D19 (pramen Paďovrka)	1187	8,7	705
D20	1340	6,7	687
D21	1576	9,2	732
D22 (pramen u Mlýna)	1630	8,3	708
D23	1848	8,3	708
D24	1848	5,5	672
D25	2293	8,8	590



Obr. 7. Průběh termometrie a konduktivity úseku Desná II

Změny konduktivity na zkoumaném úseku Desná II již nejsou tak výrazné, z důvodu menšího rozdílu mezi fyzikálními hodnotami pramenů a toku. Počáteční hodnota konduktivity toku činila 531 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Rozdíly v teplotě toku jsou v první polovině úseku poměrně velké, protože nad úsekem měření byl tok zamrzlý a na začátku úseku dochází k výrazným příronům podzemní vody do toku. V dané oblasti se dají vyčlenit 3 hlavní skupiny pramenů, které jsou většinou tvořeny jedním hlavním, kolem kterého vyvěrá řada menších pramenů. První prameniště (D6-D9) se nachází kolem pramene D9-Třasavka a vykazuje celkovou vydatnost



Obr. 8. Měření teploty a konduktivity pramene Paďovrka v úseku Desná II

65,9 l/s. Pramen D9-Třasavka se nachází na pravém břehu Desné, několik metrů od hlavního toku, zatímco většina ostatních pramenů představují skryté přírony přímo do toku. Druhé prameniště (D10-D15) tvoří zejména pramen D13-Hertička se kterým je spojen systém pramenů a skrytých příronů podzemních vod o celkové vydatnosti 84,6 l/s. Poslední prameniště je tvořeno, na rozdíl od

předchozích dvou, dvěma velkými a dvěma menšími prameny (D16-D19), vyskytujících se na několika desítkách metrech. Poslední pramen je již v mapách zakreslený pramen Paďovrka. Jejich celková vydatnost dosahuje 72,9 l/s. V druhé polovině zkoumaného úseku již nedochází k tak výraznému příronu podzemních vod do toku.

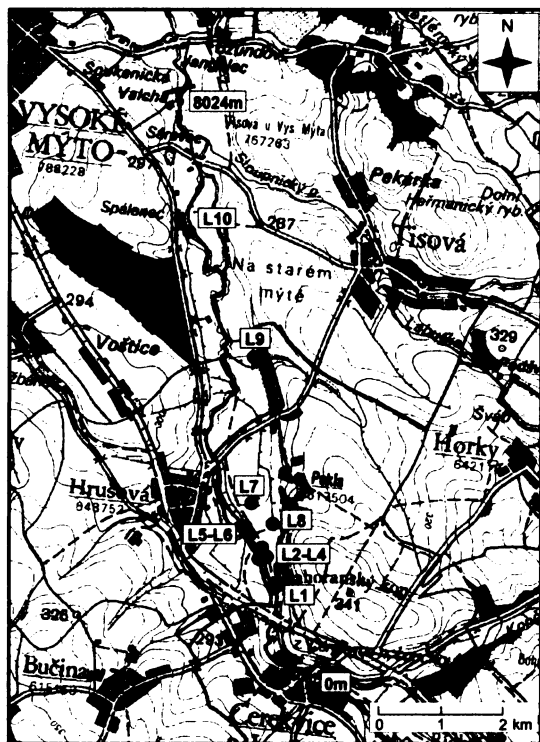
5.1.3. Loučná

Délka měřeného úseku byla cca. 8000 m. V oblasti toku Loučná jsem našla 10 pramenů (L1-L10; Obr. 9), tři z nich byly již dříve popsány a zakresleny v kartografických mapách. Z provedeného měření průtoků provedeného v červnu 2007 je však zřejmé, že tyto prameny představují pouze zlomek celkových přítoků do toku Loučná (viz. níže). Pouze prameny L5, L6, L7-Pekla I a L8-Pekla II se nacházejí na břehu Loučné, ostatní přítoky představují skryté přírony toku Loučná. Naměřené hodnoty teploty a konduktivity toku jsou uvedeny v Tab. 5, pramenů v Tab. 6 a průběh jejich variace v závislosti na délce toku je zobrazen na Obr. 10.

Tab. 5. Teplota a konduktivita úseku Loučná

vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)	označení
0	3,8	684	
304	3,8	685	
444	3,9	685	
701	4,0	685	
908	4,0	687	
1074	4,1	688	
1202	4,1	690	pramen L1
1423	4,5	697	
1496	4,7	698	
1584	5,1	700	pramen L2, L3, L4
1719	5,7	692	
1836	5,7	693	
1925	5,9	720	
1994	6,0	719	
2291	6,1	718	
2369	6,1	719	pramen L5, L6
2534	6,2	717	
2585	6,2	717	
2693	6,3	705	
2763	6,3	703	
2881	6,2	717	
2920	6,4	722	
3036	6,4	729	
3134	6,3	731	
3332	6,3	731	
3506	6,3	731	
3653	6,3	731	

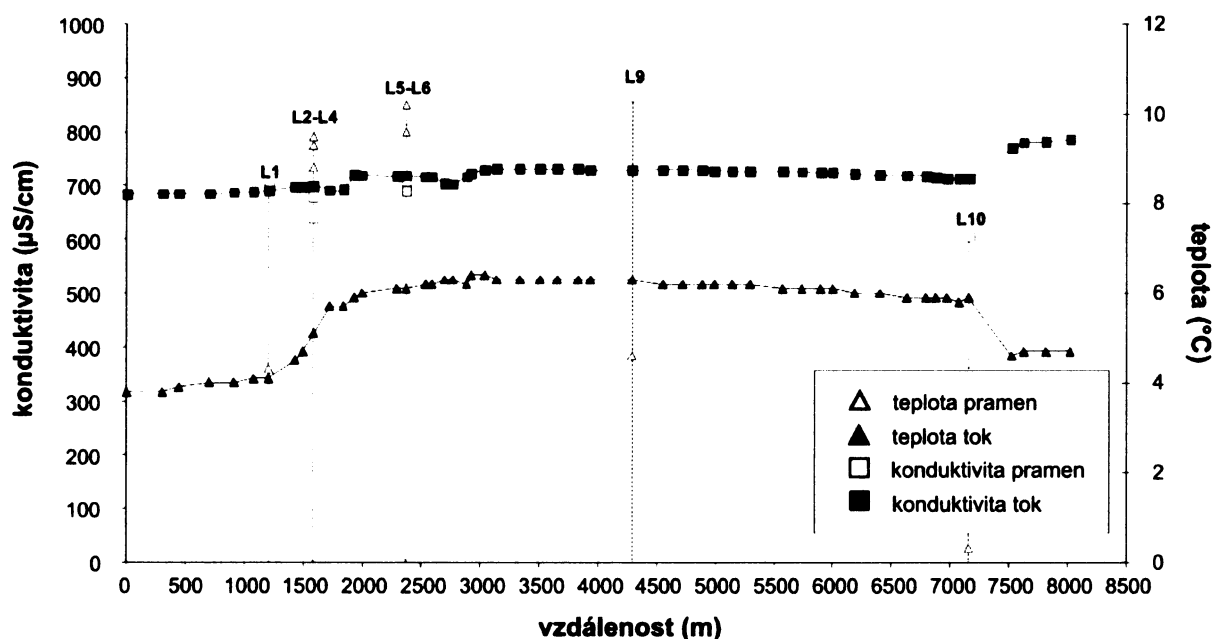
3829	6,3	731	pramen L7, pramen L8
3937	6,3	729	
4290	6,3	729	pramen L9
4554	6,2	730	
4719	6,2	730	
4884	6,2	729	
4989	6,2	728	
5140	6,2	727	
5295	6,2	727	
5573	6,1	727	
5736	6,1	726	
5897	6,1	724	
5997	6,1	724	
6184	6,0	722	pramen L10
6401	6,0	720	
6630	5,9	719	
6794	5,9	718	
6877	5,9	716	
6974	5,9	714	
7076	5,8	713	
7160	5,9	714	Sloupnický potok
7527	4,6	770	
7628	4,7	781	
7816	4,7	782	
8024	4,7	786	



Obr. 9. Lokalizace pramenů úseku Loučná (podkladová mapa 1:50 000)

Tab. 6. Teplota a konduktivita pramenů úseku Loučná

označení	vzdálenost (m)	teplota (°C)	konduktivita (μS/cm)
L1	1202	6,8	720
L2	1584	9,3	679
L3	1584	9,5	641
L4	1584	8,8	658
L5	2369	9,6	709
L6	2369	10,2	690
L7 pramen Pekla 1		10,1	654
L8 pramen Pekla 2		9,2	692
L9	4290	7,4	899
L10	6184	6,0	722



Obr. 10. Průběh termometrie a konduktivity úseku Loučná



Obr. 11. Měření průtoku pramene Pekla I

Hodnoty konduktivity Loučné v celém sledovaném úseku vykazují pouze nízké variace, což je dáno velmi podobnými fyzikálními hodnotami pramenů a hlavního toku. Rovněž počáteční teplota Loučné je poměrně vysoká, tudíž přítoky se neprojevily tak výraznými změnami jako na předchozích tocích. Jelikož se ve většině případů jedná o skryté přírony a nebylo možné změřit jejich skutečné

hodnoty teploty a konduktivity, nešlo použít pro výpočet vydatností vztahu Votruba a Patera (1983), Bruthans a Zeman (2001). Průtoky, které jsem změřila v červnu 2007 na začátku a konci zkoumaného úseku Loučné dosahovaly hodnot 837 l/s a 1598 l/s. Nejvýznamnější přítoky Loučné představují prameny Pekla I, II, jejichž souhrnná vydatnost před soutokem s Loučnou činila 36 l/s a Sloupnický potok (39,5 l/s). Z toho vyplývá, že v tomto osmikilometrovém úseku přitékalo v době měření do Loučné ~ 700 l/s v podobě skrytých příronů.

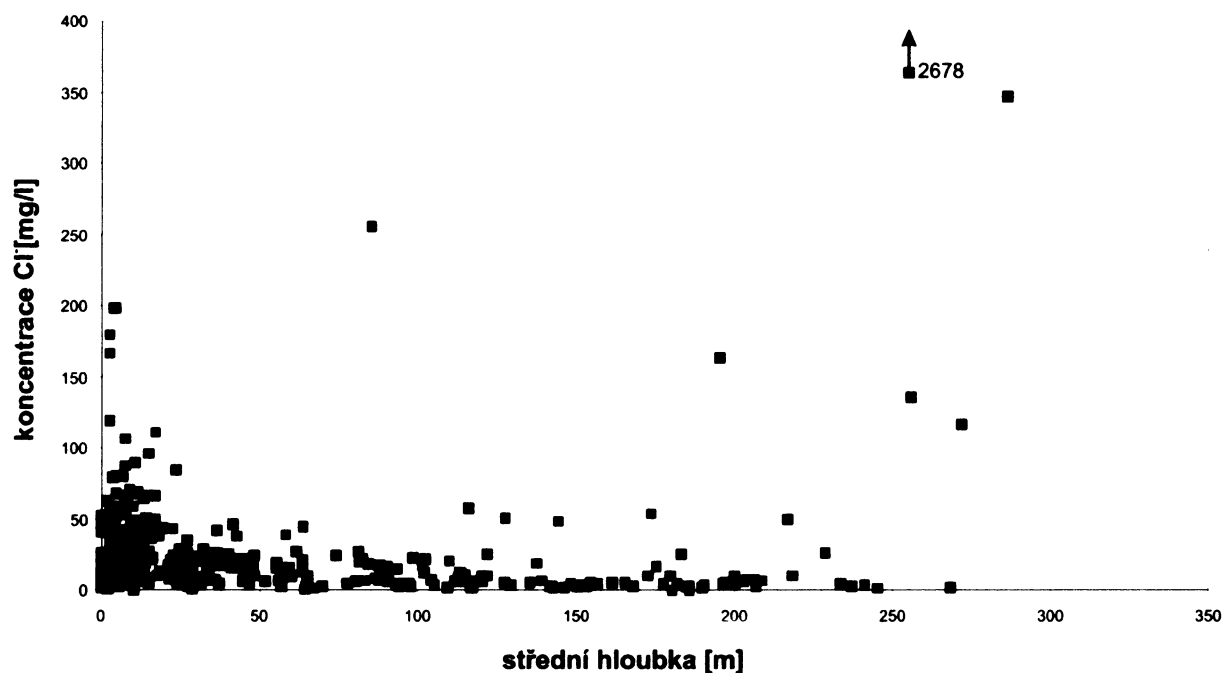
5.2. Plošná distribuce chemismu a závislost na hloubce pod povrchem

Pro vytvoření grafů závislosti koncentrací rozpuštěných látek na střední hloubce otevřeného úseku a map s plošnou distribucí chemismu podzemních vod jsem použila data z 683 vrtů Vysokomyštské synklinály získaná z Geofondu ČR. Data jsem rozdělila do 8 skupin, podle kolektorů, ze kterých byly zkoumané vzorky odebírány. Jedná se kolektory mělká zvodeň a kvartér (do tohoto kolektoru byly zahrnuty všechny vrty mající hloubku do 30 m viz. kap. Metodika práce), křída-turon spodní (KT1), křída-turon střední (KT2), křída-turon svrchní (KT3), křída-nerozlišený turon (KT), cenoman + starší útvary v jeho podloží (cenoman + podloží). Další skupinu tvoří vrty, které zasahují do několika kolektorů zároveň (KT + cenoman + křída) a jako poslední skupinu zbylé vrty zasahující do jiných kolektorů nebo u kterých není známý profil (ostatní). Studovala jsem plošnou a hloubkovou distribuci několika chemických látek. Vybrala jsem ty chemické komponenty, které lze využít jako indikátory znečištění a další základní chemické složky a ukazatele. Jedná se o prvky Cl^- , NO_3^- , K^+ , ChSK , dále HCO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2 a pH. Dále jsem vytvořila grafy a mapy znázorňující specifickou vydatnost vrtů z čerpacích zkoušek. Maximální a průměrné koncentrace v jednotlivých kolektorech zobrazuje Tab. 7, rozdělené podle hloubkových intervalů Tab. 8 na konci kapitoly 5.3. V Příloze 3a jsou znázorněny sledované vrty s jejich původním označením.

5.2.1. Chloridy

Koncentrace chloridů se pohybují v rozmezí 0-347,5 mg/l, výjimku tvoří jedna hodnota dosahující 2867 mg/l. Většina hodnot se nachází pod hranicí 100 mg/l, což je mezní hodnota pro pitnou vodu. Obecně lze říci, že s rostoucí hloubkou klesá koncentrace chloridů (Obr. 12). Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2a, b. Koncentrace chloridů v kolektoru mělká zvodeň a kvartér jsou nejvíce variabilní a dosahují hodnot až 198,5 mg/l. Koncentrace kolektorů KT1, KT2, KT3, cenoman + podloží

nepřesahují hodnoty 50 mg/l, ve většině případů se k této hranici ani nepřibližují. Průměrně nejnižší hodnoty vykazuje kolektor cenoman + podloží. Plošná distribuce chloridů je znázorněna v Příloze 3b.



Obr. 12. Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce

Přirozené koncentrace chloridů v podzemní vodě (až na chloridové vody v nejhlubším kolektoru s pomalou výměnou vody) by měly dosahovat max. 10 mg/l. Vyšší koncentrace ukazují přítomnost antropogenního znečištění (zejména hnojiva-KCl, solení silnic, splaškové a odpadní vody) a tudíž příměs moderní vody. Takto zvýšené koncentrace se vyskytují ve všech kolektorech. Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi převyšujícími 10 mg/l chloridů v jednotlivých kolektorech je uvedeno v Tab. 9. Příměs moderní vody je převážně v kolektoru mělká zvoďeň a kvartér, kde více než 82% vrtů dosahuje vyšších koncentrací než 10 mg/l, ale i u ostatních kolektorů tuto hodnotu přesahuje kolem 50% vrtů. Příměsi moderní vody jsou tedy i u hlubokých vrtů.

Tab 9. Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi > 10 mg/l chloridů v jednotlivých kolektorech

kolektor	mělká zvoďeň a kvartér	KT1	KT2	KT3	KT	cenoman + podloží	KT + cenoman + křída	ostatní
% vrtů s c > 10mg/l	82,5	50	75	62,5	45,5	47,6	50	37,1

Z plošné distribuce chloridů je zřejmé, že vyšší koncentrace chloridů jsou vázány na severozápadní část Vysokomyštské synklinály. Vysvětlení těchto zvýšených koncentrací může být důsledkem stagnující podzemní vody v této oblasti (Vavřínová, 1981). Tuto domněnku potvrzují i poměrně vysoké hodnoty stanovení stáří podzemních vod (Šilar in Vavřínová, 1981)

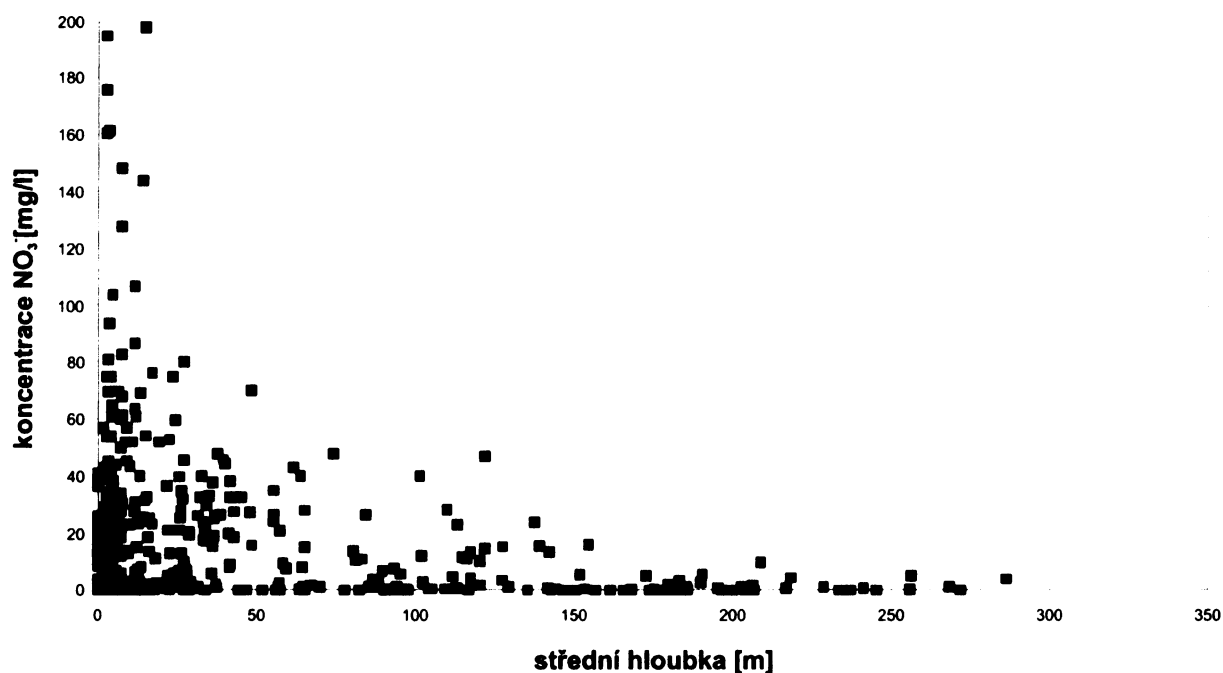
5.2.2. Dusičnany

Koncentrace dusičnanů se pohybují v rozmezí 0-195 mg/l. Na grafu (Obr. 13) je možné pozorovat výrazný pokles koncentrace s hloubkou. Nejvyšší koncentrace dusičnanů se vyskytují v malých hloubkách a výrazně přesahují mezní hodnoty pro pitnou vodu, která je pro dusičnany 50 mg/l. Od hloubek kolem 50 m se již koncentrace pohybují pod touto hranicí. Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi převyšujícími 15 a 50 mg/l dusičnanů v jednotlivých kolektorech je uvedeno v Tab. 10. Hodnota 15 mg/l představuje přibližně horní mez jejich nejvyšší přirozené koncentrace. Vyšší hodnoty znamenají příměs mladé vody a tudíž antropogenní znečištění.

Tab. 10. Procentuelní zastoupení vrtů s koncentracemi > 15 a > 50 mg/l dusičnanů v jednotlivých kolektorech

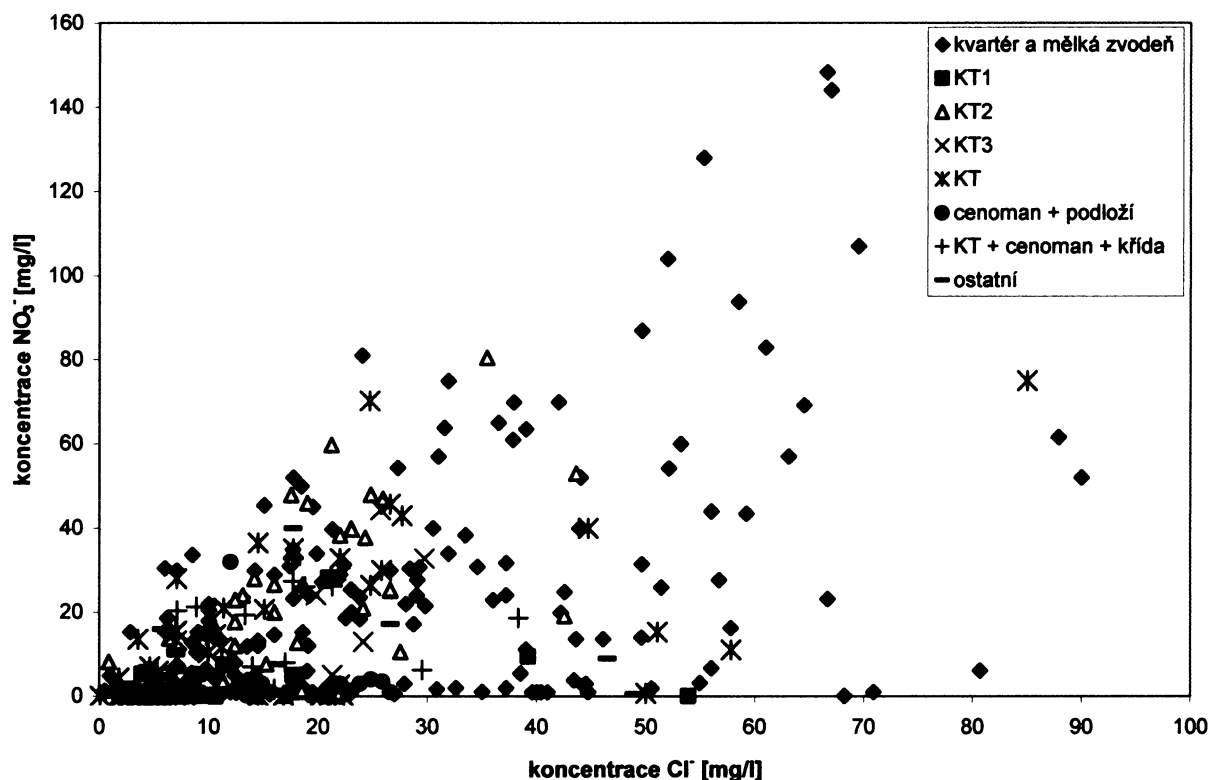
kolektor	mělká zvođeň a kvartér	KT1	KT2	KT3	KT	cenoman + podloží	KT + cenoman + křída	ostatní
% vrtů s $c > 15\text{mg/l NO}_3^-$	48,7	7,1	56	37,5	30,2	9,5	27,5	12,1
% vrtů s $c > 50\text{mg/l NO}_3^-$	17,3	0	6,3	0	3,8	0	0	0

Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2c. Koncentrace dusičnanů v kvartéru jsou velmi variabilní a velké množství vrtů přesahuje hodnoty 50 mg/l. Kromě několika výjimek se velmi nízké koncentrace vyskytují v kolektorech KT1 a cenoman + podloží, ale ani v kolektoru KT3 nebyla překročena mezní hodnota. Plošná distribuce dusičnanů je znázorněna v Příloze 3c. Z plošné distribuce dusičnanů je vidět, že zatímco v jižní a střední části Vysokomyštské synklinály se v kolektorech turonu vyskytují poměrně vysoké koncentrace dusičnanů, v její severní části naopak dusičnany dosahují velmi nízkých hodnot.



Obr. 13. Závislost koncentrací dusičnanů na střední hloubce

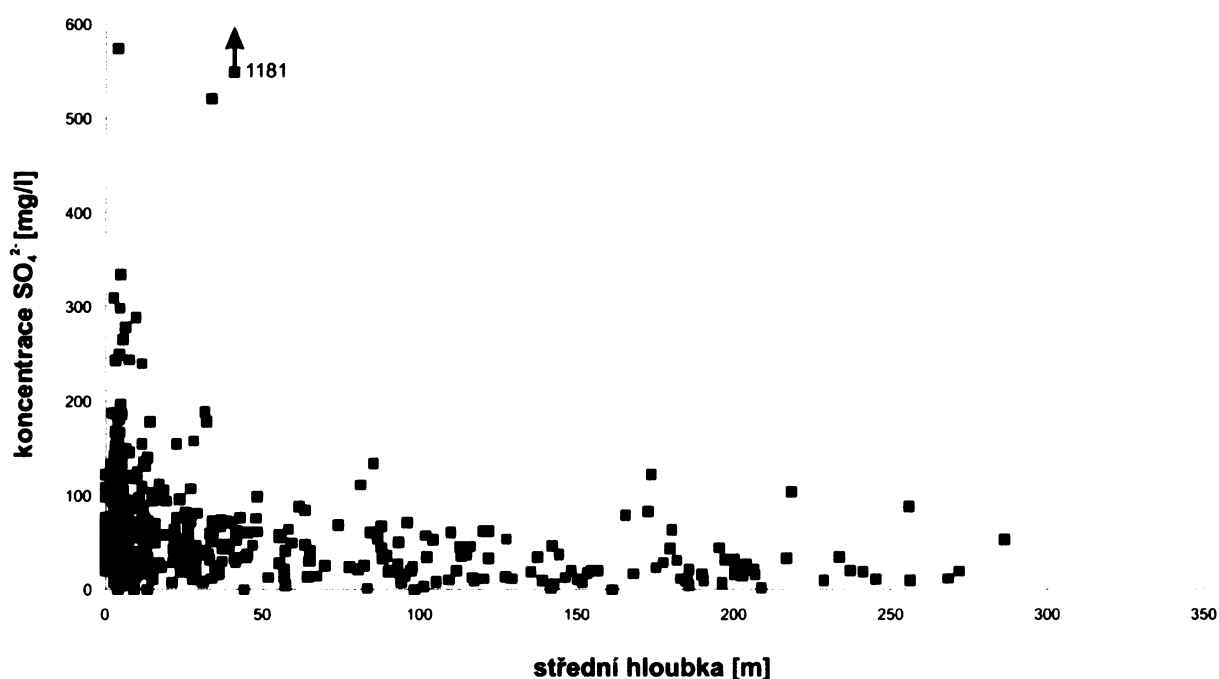
Na Obr. 14 je znázorněna závislost koncentrací chloridů na koncentracích dusičnanů pro jednotlivé kolektory. Je vidět, že maximální koncentrace dusičnanů mají těsný vztah s chloridy. To ukazuje na stejný zdroj znečištění. V mnoha případech jsou koncentrace dusičnanů nižší než by odpovídalo korespondujícím hodnotám chloridů, což by mohlo být způsobeno denitrifikací.



Obr. 14. Závislost koncentrací chloridů na koncentracích dusičnanů pro jednotlivé kolektory

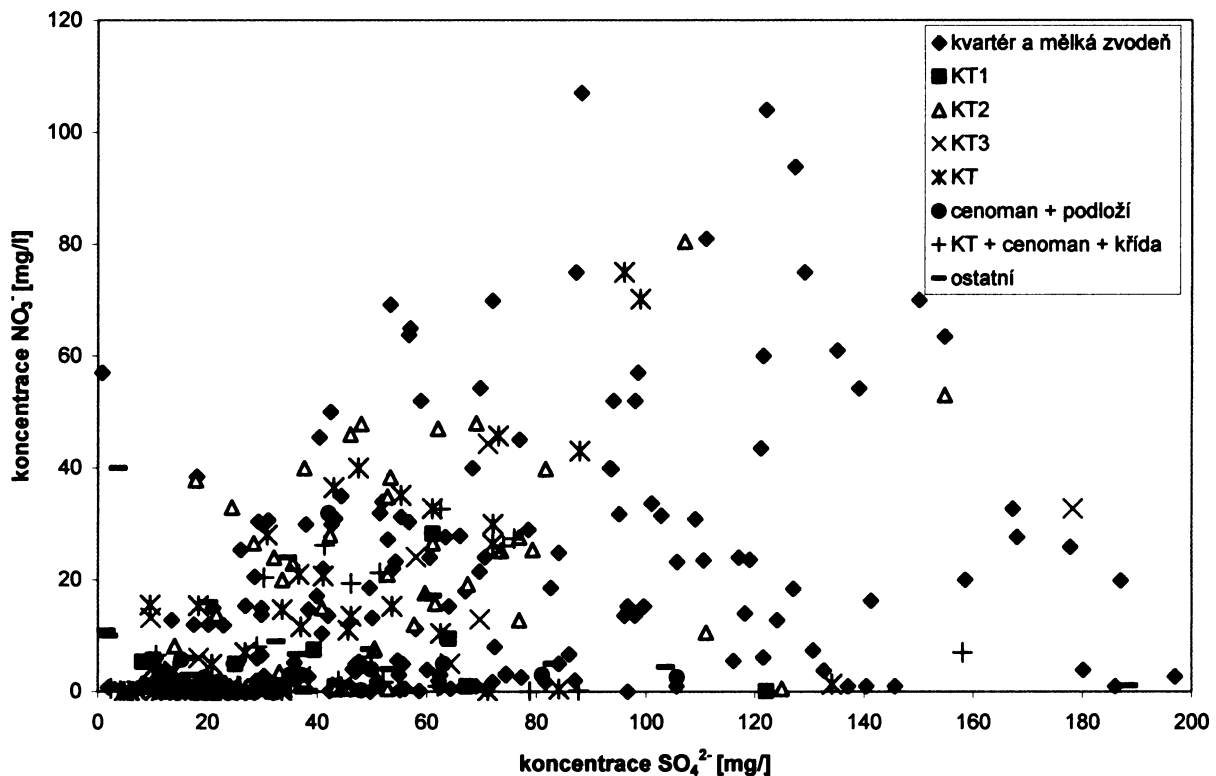
5.2.3. Síraný

Koncentrace síranů se pohybují v rozmezí 0-335 mg/l, výjimkou jsou dvě hodnoty dosahující koncentrací 521 a 575 mg/l a jedné extrémní hodnoty, která činí 1180 mg/l. Mezní hodnoty, které udává vyhláška, jsou v případě síranů stanoveny na 250 mg/l. S výjimkou několika vrtů, u kterých je tato hranice překročena se ostatní hodnoty pohybují pod touto mezí. Z Obr. 15 je vidět významná závislost koncentrace síranů na hloubce, kdy se zvyšováním střední hloubky otevřeného úseku dochází ke snižování koncentrací síranů a v hloubkách pod 50 m se již převážně pohybují pod hranicí 100 mg/l. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2d, e. Vody kvartéru vykazují velkou variabilitu a dosahují též nejvyšších hodnot. Vody kolektorů KT1, KT2, KT3 ani cenomanu nepřekračují mezní hodnotu pro pitnou vodu. Plošná distribuce síranů je znázorněna v Příloze 3d.



Obr. 15. Závislost koncentrací síranů na střední hloubce

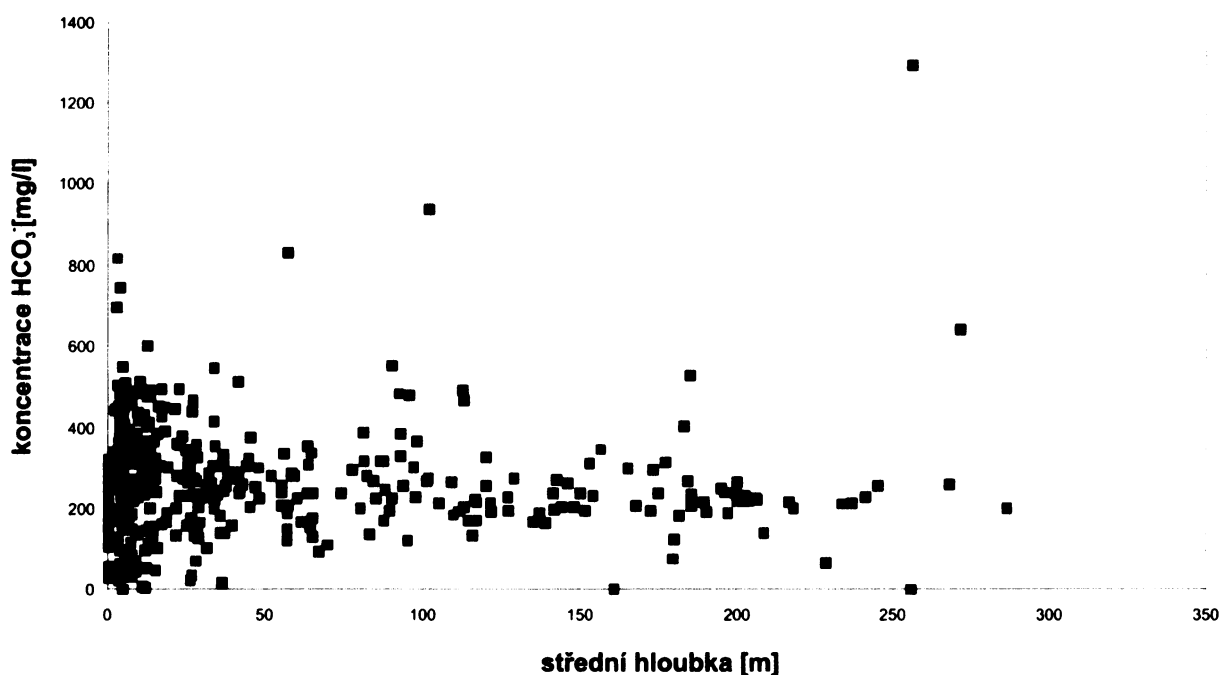
Na Obr. 16 je vidět závislost koncentrací dusičnanů na koncentracích síranů. Zvýšené koncentrace síranů jsou pravděpodobně způsobeny jejich přínosem z atmosférické depozice a ze srážkových vod v posledních 60. letech. Tuto teorii nastiňuje již Vavřínová (1981), která dělala chemické rozbory na mnoha vrtech a pramenech Vysokomyštské synklinály a zmiňuje vyšší obsahy síranů a jejich velkou variabilitu, která je způsobena právě zmiňovaným přínosem ze srážkové vody.



Obr. 16. Závislost koncentrací síranů na koncentracích dusičnanů pro jednotlivé kolektory

5.2.4. Hydrogenuhličitaný

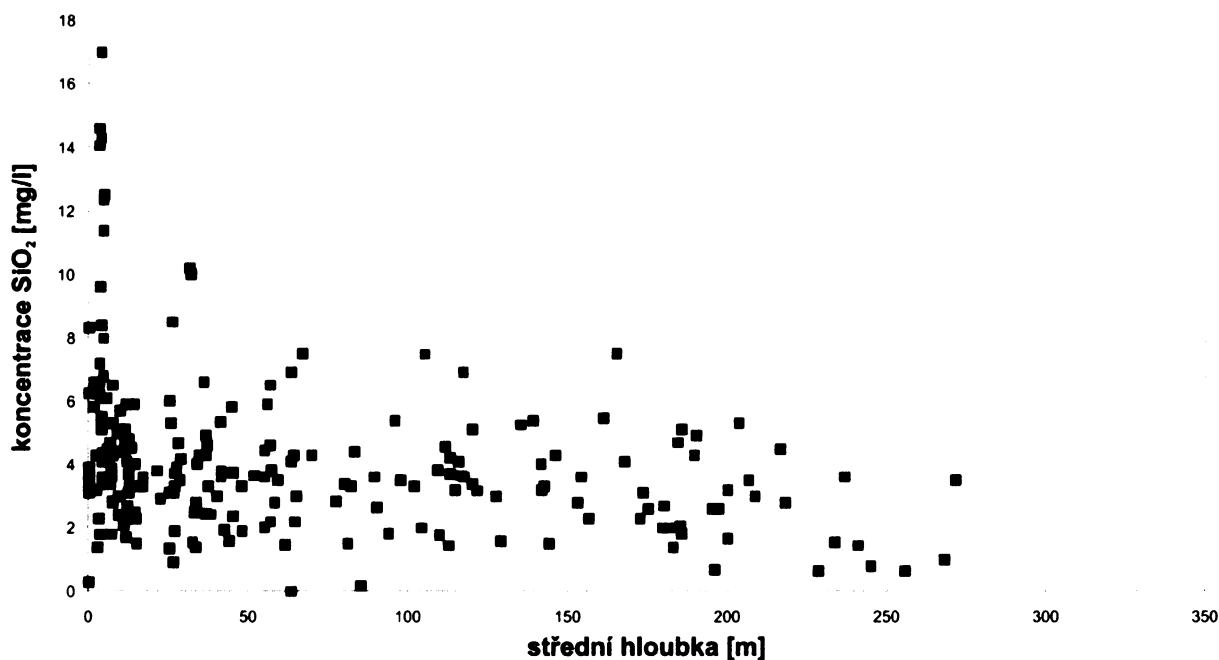
Koncentrace hydrogenuhličitanů se pohybují v rozmezí 0-1293 mg/l, většina hodnot ale nepřesahuje 500 mg/l. Norma pro pitnou vodu neuvádí maximální přípustné koncentrace hydrogenuhličitanů. Není zde žádná závislost koncentrací na hloubce, hodnoty se se zvyšující hloubkou pohybují v přibližně stejných rozmezích, což je vidět na Obr. 17. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2f, g. Vody kvartéru a kolektoru KT2 vykazují největší variabilitu, zatímco vody z kolektorů KT1, KT3 a cenomanu mají koncentrace velmi podobné. Plošná distribuce hydrogenuhličitanů je znázorněna v Příloze 3e. Výrazně vyšší koncentrace hydrogenuhličitanů jsou vázány na severozápadní část Vysokomýtské synklinály. Z plošné distribuce hydrogenuhličitanů je vidět, že kromě jedné vysoké hodnoty, jsou koncentrace hydrogenuhličitanů v cenomanu velmi nízké, což je pravděpodobně způsobeno nízkým obsahem až nepřítomností CaCO_3 v cenomanských pískovcích.



Obr. 17. Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce

5.2.5. Oxid křemičitý

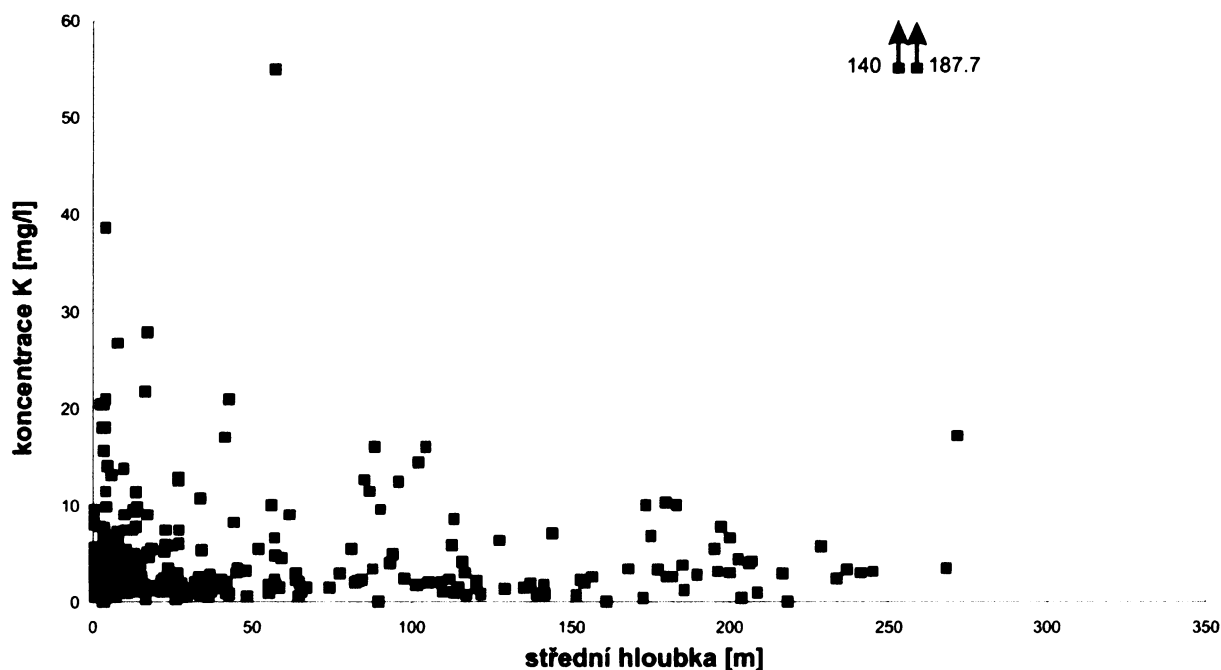
Hodnoty oxidu křemičitého se pohybují v rozmezí 0-16 mg/l, většina hodnot nepřesahuje 8 mg/l. Oxid křemičitý není uveden ve vyhlášce stanovujících požadavky pro pitnou vodu. Na Obr. 18 je znázorněna závislost koncentrace oxidu křemičitého na hloubce. Je vidět, že maximální koncentrace oxidu křemičitého klesají s hloubkou, nejvyšší hodnoty mají vody velmi mělkých kolektorů kvartéru, od hloubek kolem 30 m již není pokles tak výrazný. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2h. Nejvyšší variabilitu vykazují opět vody kvartéru, ostatní kolektory mají koncentrace velmi podobné. Plošná distribuce oxidu křemičitého je znázorněna v Příloze 3f. Z mapy plošné distribuce oxidu křemičitého nejsou patrné výraznější rozdíly koncentrací v závislosti na ploše.



Obr. 18. Závislost koncentrací oxidu křemičitého na střední hloubce

5.2.6. Draslík

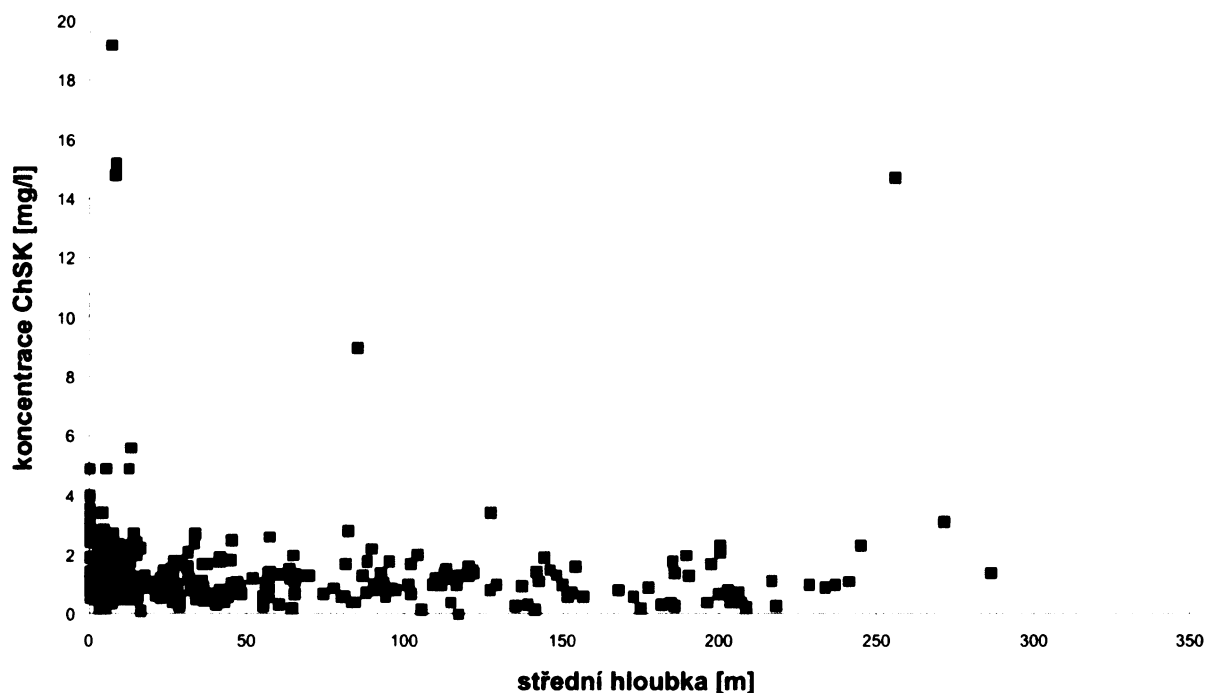
Koncentrace draslíku se ve zkoumaných vrtech pohybují v rozmezí 0-55 mg/l, výjimku tvoří dvě hodnoty dosahující extrémních hodnot 140 a 187,5 mg/l. Tyto hodnoty korespondují s vysokými hodnotami chloridů. Vyhláška nestanovuje mezní hodnoty pro draslík. Na Obr. 19 je vidět závislost koncentrace draslíku na hloubce, se zvyšující se hloubkou klesají koncentrace draslíku ve vodách. Kromě několika extrémních hodnot se vyšší koncentrace nacházejí v hloubkách do 50m. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2i, j. Plošná distribuce draslíku je znázorněna v Příloze 3g. Vyšší koncentrace draslíku mohou být buď výsledkem iontové výměny, neboť draslík je látka, která se velmi ochotně sorbuje na půdu nebo je jejich původ způsoben vzezováním z povrchových vodotečí (případně přímý průsak vody do vrtu netěsnostmi). Z mapy plošné distribuce draslíku je vidět, že vyšší koncentrace se nacházejí ve vrtech umístěných v blízkosti povrchových toků. To spíše svědčí pro domněnku, že zde dochází k infiltrování vody z povrchových toků.



Obr. 19. Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce

5.2.7. Chemická spotřeba kyslíku

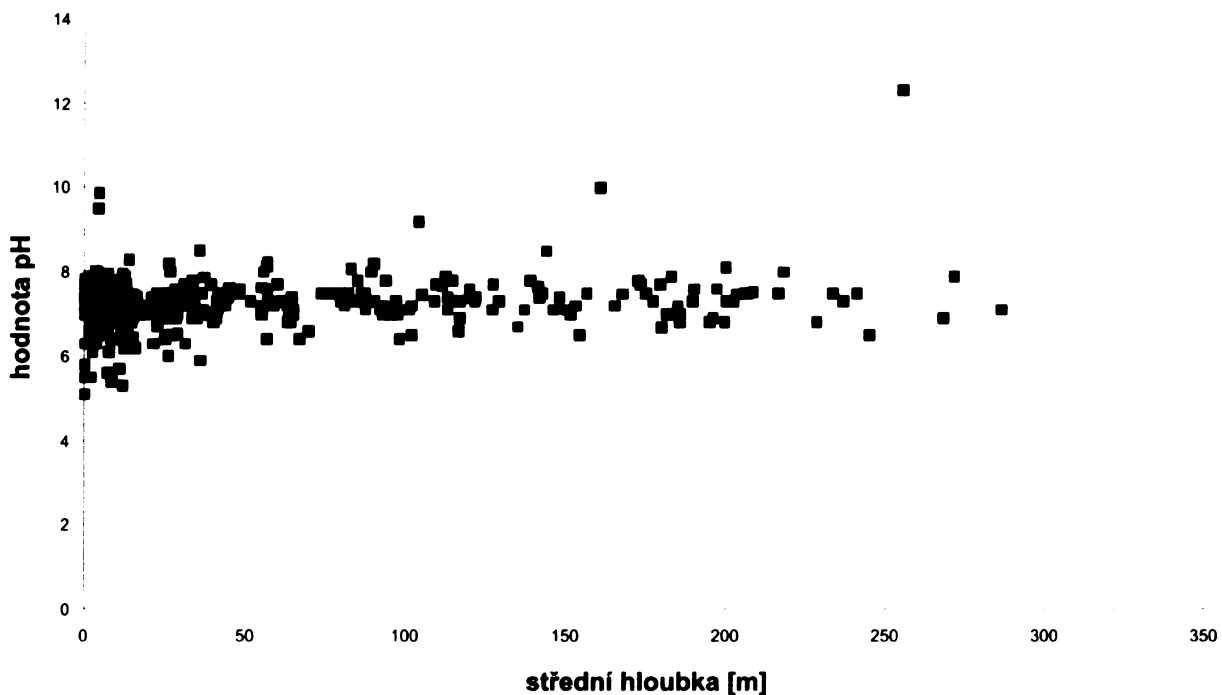
Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) je definována jako množství kyslíku, které se spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě se silným oxidačním činidlem. Hodnota CHSK je tedy mírou celkového obsahu organických látek ve vodě. Hodnoty ChSK se pohybují v rozmezí 0-19,2 mg/l. Pro pitnou vodu určuje vyhláška ministerstva zdravotnictví č.252/2004 Sb. „Požadavky na pitnou vodu, rozsah a četnost její kontroly“ mezní hodnotu chemické spotřeby kyslíku (manganistanovou metodou) na 3,0 mg kyslíku v 1 litru vody. Na Obr. 20 je znázorněna závislost hodnot ChSK na hloubce. Není zde vidět významná závislost změn ChSK s hloubkou, vysoké koncentrace se ale vyskytují především v mělkých vodách. S výjimkou přibližně deseti vrtů se hodnoty pohybují pod mezí určenou vyhláškou. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2k, l. Kromě několika vrtů z kvartéru, kde maximální hodnota dosahuje již zmiňovanou koncentraci 19,2 mg/l, překračuje mezní hodnotu jeden vrt z KT a také jeden z kolektoru KT + cenoman + křída. Hodnoty vod ostatních kolektorů se pohybují pod touto hranicí. Plošná distribuce ChSK je znázorněna v Příloze 3h. Z mapy plošné distribuce CHSK nejsou patrné rozdíly mezi jednotlivými oblastmi.



Obr. 20. Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce

5.2.8. pH

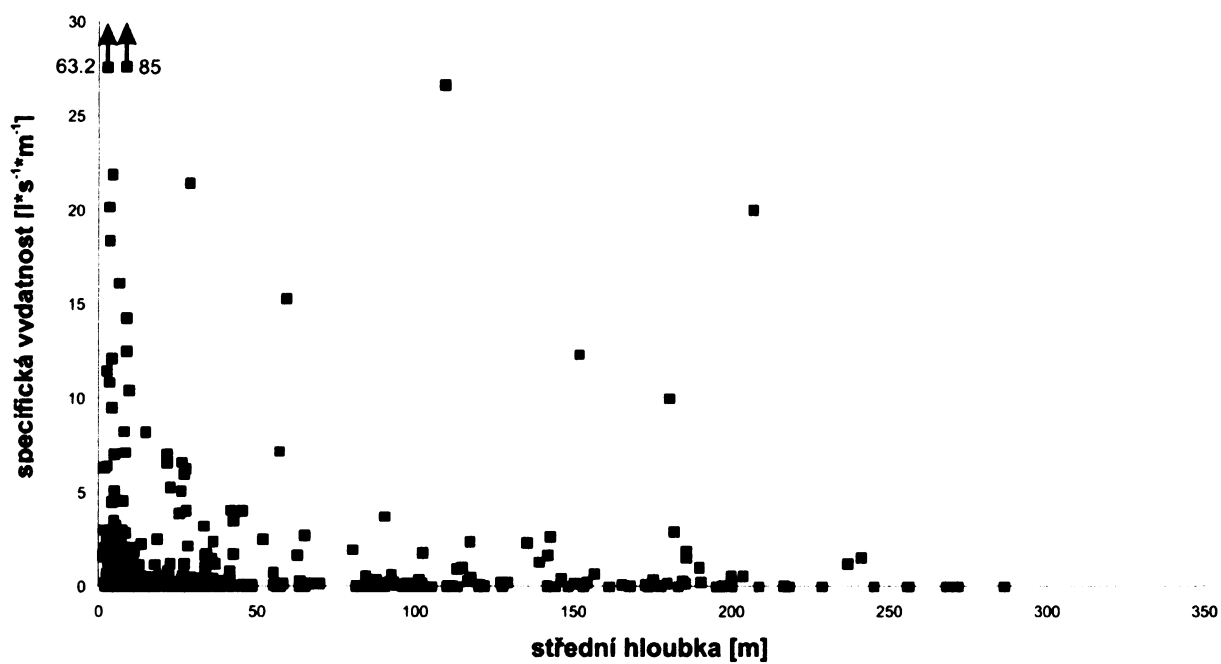
Hodnoty pH se pohybují v rozmezí 5,3-10, s výjimkou jedné extrémní hodnoty, která činí 12,32. Hodnoty, které udává vyhláška, jejíž překročení nebo snížení může negativně ovlivnit jakost pitné vody, je v případě pH rozmezí 6,5-9,5. S výjimkou 3 vrtů, u kterých je překročena tato horní hranice a několika vrtů mající pH pod 6,5 se ostatní hodnoty pohybují v tomto rozmezí. Jak je vidět na Obr. 21 není zde žádná závislost hodnot pH hloubce. Koncentrace rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2m. Kyselejší vody byly zastiženy především v mělkých vrtech kvartéru, několika vrtech cenomanu + podloží a po jedné hodnotě v kolektorech KT1 a KT3. Plošná distribuce pH je znázorněna v příloze 3i. Pokud kolektor tvoří horniny s vysokým obsahem karbonátů (dolomit, vápenec), dochází k neutralizaci vodíkových iontů při relativně rychlém rozpouštění těchto minerálů. V kvartéru a hlavně v kolektoru cenoman + podloží může chybět vyšší zastoupení CaCO_3 . Protože zde nedochází k rozpouštění CaCO_3 , jsou pH v těchto vodách nižší.



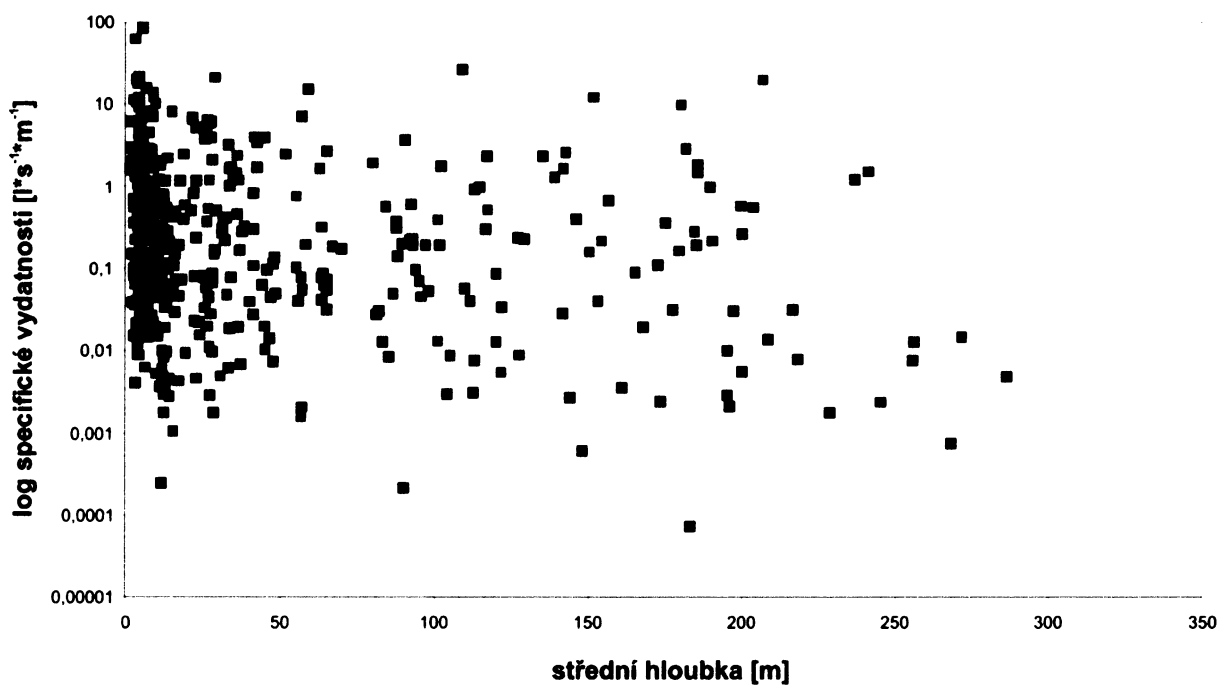
Obr. 21. Závislost pH na střední hloubce

5.3. Plošná distribuce specifické vydatnosti a závislost na hloubce pod povrchem

Hodnoty specifických vydatností (q) se pohybují v rozmezí $0-85 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$. Je zde vidět nevýrazný trend poklesu specifické vydatnosti s hloubkou, což znázorňují Obr. 22 a 23. Je zde ale několik vrtů, které se od toho trendu odchyľují. Maximální specifické vydatnosti se nacházejí u mělkých vrtů a dosahují hodnot $63,2$ a $85 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$. Specifické vydatnosti rozdělené podle jednotlivých kolektorů ukazuje Příloha 2n, o. Nejvyšší hodnoty a všeobecně vyšší hodnoty specifických vydatností spadají do vod mělké zvodně. Vyšší hodnoty q se též vyskytují u vrtů z cenomanu a specifické vydatnosti větší než $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ jsou též u kolektoru KT1. Hlubší vrty mají poměrně nízké hodnoty q . Plošná distribuce specifických vydatností je znázorněna v Příloze 3j. Z mapy plošné distribuce specifických vydatností je vidět, že výrazně vydatné vrty jsou situovány v místech, kde jsou vodní toky.



Obr. 22. Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce



Obr. 23. Logaritmičká závislost specifické vydatnosti na střední hloubce

Tab. 7. Maximální a průměrné hodnoty chemických komponent v jednotlivých kolektorech

	kvartér	KT1	KT2	KT3	KT	cenoman	KT+cen.+křída	ostatní
pH max.	8,3	7,9	9,2	7,6	8,5	7,9	12,3	10
pH průměr	7,1	7,4	7,3	7,1	7,3	6,9	7,5	7,5
ChSK max.	19,2	2,1	2,7	1,4	9	2,3	14,7	3,1
ChSK průměr	1,7	1	1,1	0,7	1,3	1,1	1,5	1,2
K max. [mg/l]	38,6	10	55	2,9	12,6	14,4	140	187,7
K průměr [mg/l]	4,6	3,5	5,1	2	3,5	4,1	10,6	11,3
Cl ⁻ max. [mg/l]	198,5	53,9	43,6	29,7	256,4	26,6	136,1	2678
Cl ⁻ průměr [mg/l]	29,3	14,9	16,7	19,4	21,6	11,7	15,8	100,2
NO ₃ ⁻ max. [mg/l]	195	28,3	80,5	44,3	75	32	32,7	40
NO ₃ ⁻ průměr [mg/l]	25,1	4,7	20,7	17,6	12,1	5,3	7,9	5,6
HCO ₃ ⁻ max. [mg/l]	817,7	317,3	830	357,6	546,1	939	483,3	1292,9
HCO ₃ ⁻ průměr [mg/l]	284,7	244,5	306,7	237,1	257,4	208,8	241,7	277,3
SO ₄ ²⁻ max. [mg/l]	335	122	154,7	178,2	521,2	105,7	1180,8	188,6
SO ₄ ²⁻ průměr [mg/l]	80,4	39,4	48,5	63,3	46,4	36	81,5	34,3
Si max. [mg/l]	17	4,9	6,6	10	6,9	7,5	7,5	10,2
Si průměr [mg/l]	5,1	2,9	3,5	5,8	3,3	3	3,5	3,8
vydatnost max. [l/s/m]	85	12,4	7,2	2,4	26,7	26,6	21,4	15,3
vydatnost průměr [l/s/m]	2	1,4	1,2	0,6	1,6	2,3	1,3	0,8

Tab. 8. Maximální a průměrné hodnoty chemických komponent rozdělené podle hloubkových intervalů

	0-30m	30-100m	>100m
pH max.	9,9	8,5	12,3
pH průměr	7,1	7,3	7,4
ChSK max.	19,2	9	14,7
ChSK průměr	1,7	1,2	1,3
K max.	38,6	55	286,2
K průměr	4,5	4,7	9
Cl max.	199	256,4	2678
Cl průměr	28,8	17,9	55,3
NO ₃ max.	198	70,2	47
NO ₃ průměr	26,2	16,4	5,7
HCO ₃ max.	817,7	830	1293
HCO ₃ průměr	272,1	267,9	257
SO ₄ max.	575	1180,8	122
SO ₄ průměr	77	65,1	29,3
Si max.	17	10,2	7,5
Si průměr	4,8	3,7	3,3
vydatnost max.	85	15,3	26,7
vydatnost průměr	2	0,8	1,4

5.4. Vyhodnocení režimních sledování průtoků

Z Českého hydrometeorologického ústavu jsem získala režimní měření vydatností a teplot pěti pramenů ve Vysokomyšské synklinále. Seznam studovaných pramenů a jejich základní statistické charakteristiky průtoků jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11. Statistické hodnoty průtoků studovaných pramenů

Pramen	Průměr	Max	Min	Modus	Median	Počáteční datum	Koncové datum
PP0096 Němčice Zl. Pásek	49,2	99,8	5,2	30,7	48,8	6.11.1968	27.12.2006
PP0097 Končiny Kaple	15,1	93	0	0,01	15,3	6.11.1968	27.12.2006
PP0105 Nadymač Nové Hrady	82,5	926,3	24,7	40,2	69,6	2.11.1966	4.5.2005
PP0106 Zderaz	3,9	5,8	2,1	4		6.11.1963	12.5.2004
PP0108 Střemošice	5,8	85	0	0,01	3,3	6.11.1957	1.5.1996

5.4.1. Hodnocení čar vyprazdňování

Čára vyprazdňování je definována jako klesající část výtokové čáry pramene dokumentovaná dostatečným počtem měření. Výsledný režim podzemních vod je závislý na subrežimech zvodněných sítí puklin a případných krasových kanálů v horninovém prostředí, přičemž vztah těchto subrežimů závisí na mnoha faktorech. Mezi nejdůležitější patří vzájemný poměr rozevřených mikro- a makropuklin, rozsah zkrasování, stupeň naplnění horninového komplexu vodou a hydraulické vztahy podzemních vod v zóně provzdušnění a zvodněné zóně (Kullman, 1990). Hodnoty, kterými se liší čáry vyprazdňování z různých geologických prostředí jsou koeficienty vyprazdňování α a β . Kullman (1990) rozlišuje 5 základních typů čar vyprazdňování, přičemž každý charakterizuje určitý typ otevřených diskontinuit horninového prostředí a tím i určitý typ filtračního prostředí.

- I. typ** - reprezentuje jednoduchý režim s laminárním prouděním. Filtračním prostředím jsou tektonické poruchy vyplněné drceným materiálem.
- II. typ** - složité čáry vyprazdňování vytvořené kombinací více subrežimů s laminárním prouděním. Filtračním prostředím jsou převážně velmi rozpukané karbonátové horniny, většinou s hustou a pravidelnou sítí mikro- a makropuklin, v extrémních případech i s větší filtrační heterogenitou.
- III. typ** - složité čáry vyprazdňování vytvořené kombinací subrežimů s laminárním a turbulentním prouděním. Filtračním prostředím jsou horniny porušené hlavně sítí otevřených (drobných, středních i velkých) nezkrasovělých i zkrasovělých puklin v

rozsahem významné zvodněné zóně a s podřadnými velkými otevřenými poruchami nebo krasovými kanály.

- IV. typ** - složité čáry vyprazdňování vytvořené kombinací subrežimu (případně i subrežimů) s laminárním prouděním a dvěmi až třemi subrežimy s turbulentním prouděním. Reprezentují filtrační prostředí rozvinutého až velmi rozvinutého krasu.
- V. typ** - složité čáry vyprazdňování vytvořené kombinací dvou až tří subrežimů s turbulentním prouděním. Reprezentují filtrační prostředí s kanálovým systémem vodičů podzemních vod bez významnějších hydraulických souvislostí s puklinovými systémy přilehlých horninových bloků.

K hodnocení výtokových čar pramenů jsem použila týdenní řady měření Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Jedná se o prameny Němčice Zl. Pásek (PP0096), Končiny Kaple (PP0097), Nadymač Nové Hrady (PP0105), Zderaz (PP0106) a Střemošice (PP0108).

Všechny parametry zkoumaných pramenů pro konstrukci výtokových čar jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12. Základní parametry studovaných pramenů pro vytvoření výtokových čar

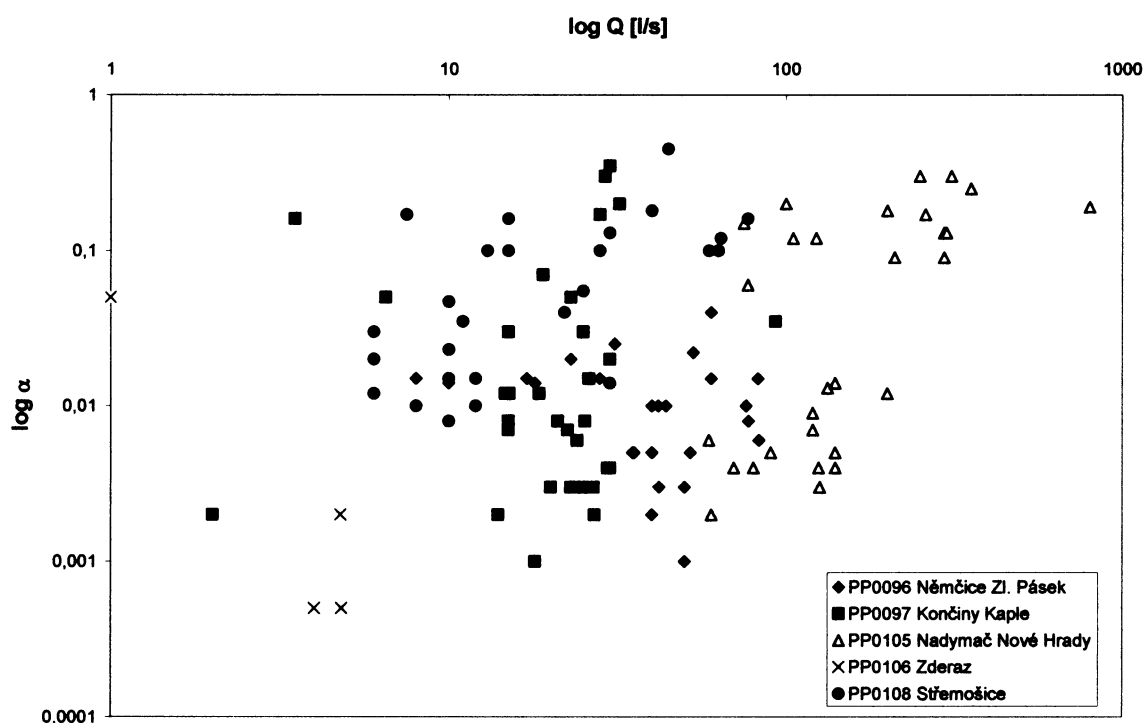
Pramen	kód ČHMÚ	Období vyhodnocení	Počet vyhodnocovaných úseků
Němčice Zl. Pásek	PP0096	6.11.1968-27.12.2006	16
Končiny Kaple	PP0097	6.11.1968-27.12.2006	20
Nadymač Nové Hrady	PP0105	2.11.1966-4.5.2005	15
Zderaz	PP0106	6.11.1963-12.5.2004	3
Střemošice	PP0108	6.11.1957-1.5.1996	16

Výtokové čáry všech pramenů odpovídají typu II podle klasifikace Kullmana (1990) a výsledné zprůměrované koeficienty vyprazdňování jsou uvedeny v Tab. 13. Hodnota koeficientu α_1 , který charakterizuje nejmenší (a nejdéle se vyprazdňující) nehomogenity je v případě pramene Zderaz velmi nízká, což odpovídá podle Kullmana (1990) proudění v husté a převážně rovnoměrné síti puklin s převahou mikropuklin a drobných puklin. Rovněž rozdíl koeficientů $\alpha_2 - \alpha_1$ je u tohoto pramene velice nízký, což znamená daleko menší rozdíly ve velikosti puklin a větší homogenitu celého prostředí. To je dáno tím, že tento pramen odvodňuje cenomanské pískovce, které mají velké objemy průlinové porozity a hydraulický ráz se tak utlumí (porézní prostředí obklopující pukliny po srážkách pojme velké množství vody a pomalu ji uvolňuje což ovlivní charakter průtoku a potažmo i výtokovou čáru). Naopak ostatní čtyři prameny vyvěrající z turonských slínovců mají velmi nízkou průlinovou porozitu (vede k prudkému nárůstu a poklesu vydatnosti v čase) a tomu odpovídají nižší

hodnoty koeficientů α . Pramen Končiny Kaple má nízký rozdíl koeficientů $\alpha_2 - \alpha_1$ což svědčí o homogenitě prostředí. Hodnoty koeficientů vyprazdňování pramene Střemošice α_1 a α_2 i jejich rozdíl jsou rovněž velmi nízké. V případě pramenů Némčice Zl. Pásek a Nadymač Nové Hrady jsou hodnoty koeficientů α_1 a α_2 o něco vyšší. Jedná se o prostředí s převážně rovnoměrnou sítí puklin, ale o něco méně homogenní v porovnání s předchozími prameny. Všechny koeficienty α a hodnoty Q (průtok daného subrežimu proudění) jsou vyneseny do logaritmického grafu Q vs. α . Obr. 24. Koeficienty vyprazdňování jsem zde kvůli logaritmickému měřítku převedla na kladnou hodnotu.

Tab. 13. Přehled koeficientů vyprazdňování α_1, α_2

Název pramene	Číslo pramene	α_1	α_2	$\alpha_2 - \alpha_1$
Némčice Zl. Pásek	PP0096	$-6,4 \cdot 10^{-3}$	$-1,7 \cdot 10^{-1}$	$-1,7 \cdot 10^{-1}$
Končiny Kaple	PP0097	$-6,8 \cdot 10^{-3}$	$-1,3 \cdot 10^{-1}$	$-1,2 \cdot 10^{-1}$
Nadymač Nové Hrady	PP0105	$-6,5 \cdot 10^{-3}$	$-1,7 \cdot 10^{-1}$	$-1,7 \cdot 10^{-1}$
Zderaz	PP0106	$-1 \cdot 10^{-3}$	$-5 \cdot 10^{-2}$	$-4,9 \cdot 10^{-2}$
Střemošice	PP0108	$-2,4 \cdot 10^{-2}$	$-1,3 \cdot 10^{-1}$	$-1,5 \cdot 10^{-1}$



Obr. 24. Vztah mezi Q (průtok daného subrežimu proudění) a jeho koeficientem α

5.4.2. Čáry překročení

Čáry překročení udávají, v kolika procentech (graficky vyjádřeno jako percentil od 0 % do 100 %) z celkového souboru měření došlo k překročení průměrné hodnoty průtoku. Týdenní čáry překročení pěti zkoumaných pramenů jsem vytvořila pomocí dat získaných z ČHMÚ (týdenní režimní měření)(Obr. 25).

Pro hodnocení vyrovnanosti pramenů jsem použila parametr r , který udává poměr průtoku 10 % percentilu ku 90 % percentilu. Podle hodnot $r \in (1, n)$ je možné prameny rozdělit do pěti kategorií (Zařko, 1969):

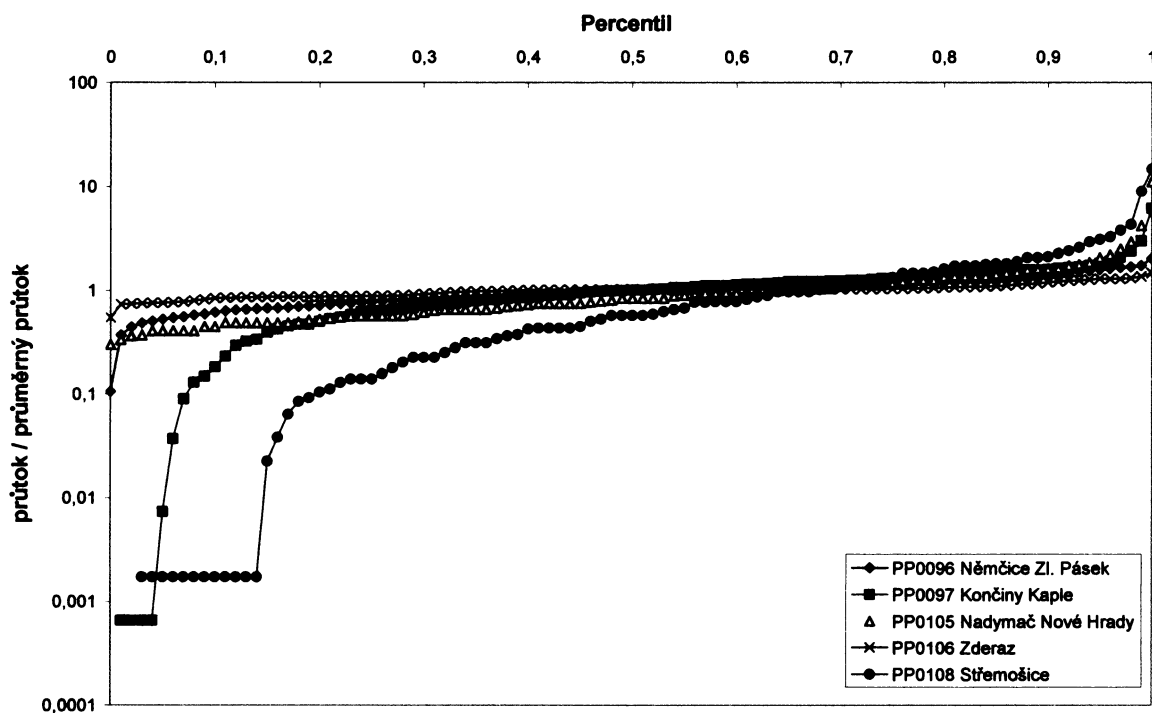
1. prameny mimořádně vyrovnané, $r = 1,0 - 2,5$
2. prameny značně vyrovnané, $r = 2,6 - 5,0$
3. prameny průměrně vyrovnané $r = 5,1 - 7,5$
4. prameny málo vyrovnané, $r = 7,6 - 10,0$
5. prameny mimořádně nevyrovnané $r = > 10$

Je zřejmé, že jediný pramen s poměrně vyrovnanou vydatností je PP0106 Zderaz, který má hodnotu $r = 1.4$ (překročení 60 %) a patří tak do skupiny mimořádně vyrovnaných pramenů. Jeho průtoky se pohybují v rozmezí 2,14 l/s a 5,78 l/s. Tento pramen drénuje křemenné pískovce cenomanu a příčina vyrovnanosti je tak stejná jako v případě výtokových čar.

Ostatní 4 prameny vykazují větší rozdíly mezi minimálními a maximálními hodnotami vydatností. Přestože prameny PP0096 Němčice Zl. Pásek, PP0097 Končiny Kaple a PP0108 Střemošice mají hodnoty průtoků mezi 0 a ~ 100 l/s, vykazují velmi odlišné hodnoty parametru $r - 2,3; 8,8$ a 1220. Velmi vysoká hodnota koeficientu rozkolísanosti r u posledně zmiňovaného pramene je způsobena jeho převážně velmi nízkými až nulovými průtoky, několikrát ovšem vzroste jeho průtok až na 85 l/s. Naopak poslední zkoumaný pramen PP0105 Nadymač Nové Hrady vykazuje sice největší rozptyl hodnot průtoků (od 24,7 l/s do 926,30 l/s), ale parametr r má hodnotu pouze 3,6 a spadá tudíž do kategorie prameny značně vyrovnané. Nicméně, maximální naměřené průtoky byly negativně ovlivněné tím, že za vysokých vodních stavů přetékal přes přepad občasný povrchový tok (Vavřínová, 1981).

Čáry překročení ukazují, že prameny Střemošice a Nadymač Nové Hrady mají podobné charakteristiky – 32 % respektive 36 % překročení. Podobné hodnoty překročení (48-51%) vykazují prameny Němčice Zl. Pásek a Končiny Kaple. Prudký pokles průtoku u pramenů Končiny a Střemošice znamená, že tyto nedrénují celou strukturu, ale jen část vod (přetokové prameny). Část vody musí téct do jiného pramene, nebo ještě spíš podtéká měrný přeliv a ústí

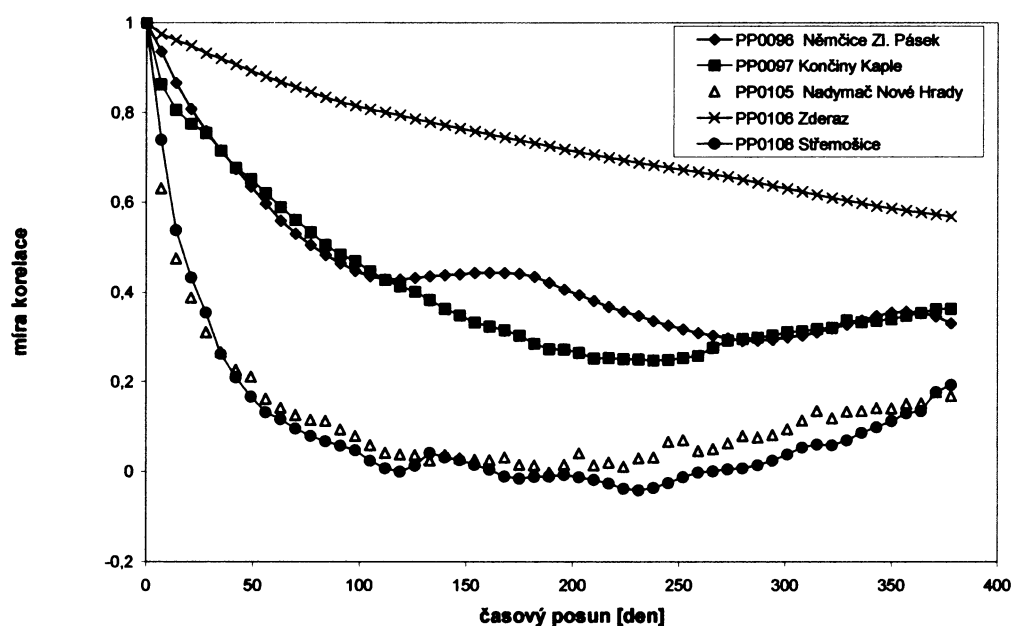
do blízkého povrchového toku. Celkově vzato vykazují prameny vysokou nevyrovnanost, která je silně závislá na množství srážek/tání sněhu. Důvodem je velmi nízká storativita kolektorů, protože slínovce mají malý objem průlinové porozity. To je zřejmé i z velkého kolísání hladiny ve vrtech během roku, které na řadě vrtů dosahuje prvních desítek metrů (Vavřínová, 1981).



Obr. 25. Čáry překročení studovaných pramenů

5.4.3. Autokorelace vydatností pramenů

Na Obr. 26 je znázorněna míra autokorelace vydatností jednotlivých pramenů. Ukazuje, jak rychle se v čase mění průtok (zprůměrováno za celý úsek měření). Je vidět, že prameny PP0105 Nadymač Nové Hrady a PP0108 Střemošice mají velmi podobné průběhy. Korelace prudce klasají s časem, tzn. že se průtok v čase velmi rychle mění. Naopak pramen PP0106 Zderaz odvodňující cenomanské pískovce vykazuje na rozdíl od ostatních pramenů naprosto rozdílné výsledky. Čára vyjadřující korelaci klesá velmi mírně a z toho vyplývá, že se průtok v čase mění pozvolna. Zbylé dva prameny (PP0096 Němčice Zl. Pásek a PP0097 Končiny Kaple) mají podobné tvary míry korelace a jejich průběhy jsou o něco mírnější než v případě prvních dvou pramenů, ale prudší než v případě pramene Zderaz.



Obr. 26. Míra autokorelace vydatností studovaných pramenů

5.5. Střední doba zdržení

5.5.1. Tritium

Naměřené koncentrace tritia ve studovaných pramenech pro roky 2005 a 2007 jsou znázorněny v Tab. 14, pravděpodobné procentuelní zastoupení vod ze 60. let ve studovaných pramenech, jejichž vzorky byly odebrány v roce 2005 jsou znázorněny v Tab. 15.

Tab. 14. Koncentrace tritia [TU] ve studovaných pramenech a směrodatné odchylky měření

Název pramene	Kód ČHMÚ	^3H [TU] (30.6.2005)	so+-	^3H [TU] (13.1.2007)	so +-
Svatý Antonín	PP0091	20,6	0,8	18,9	0,7
Panna Marie	PP0092	9,9	0,2	9,8	0,3
Člupek Zl. pásek	PP0096	11,1	0,3	10,8	0,3
Končiny Kaple	PP0097	12,8	0,4	-	-
V korytech	PP0100	15,7	0,6	13,0	0,4
Pekla I	PP0610	11,6 (19*)	0,3	11,1	0,3
Pekla II	PP0611	18,3*	0,7	11,0	0,3
Osík	-	12,7	0,4	-	-
Litomyšl I	-	12,4	0,3	8,9	0,2

* odběr 7.6.2004

Tab. 15. Procentuelní zastoupení vod ze 60. let ve studovaných pramenech (odběr 2005)

Název pramene	Kód ČHMÚ	60.+REC 1:1	60.+REC 1:0,3	60.+OLD 1:1	60.+OLD 1:0,3
Svatý Antonín	PP0091	25%	30-35%	40%	45%
Panna Marie	PP0092	0-5%	5%	15-20%	20-25%
Člupek Zl. pásek	PP0096	5%	5-10%	20%	25%
Končiny Kaple	PP0097	5-10%	10-15%	20-25%	25-30%
V korytech	PP0100	15%	20%	30%	35%
Pekla I	PP0610	5%	10%	20%	25%
Pekla II	PP0611	20%	25%	30-35%	35-40%
Osík	-	5-10%	10-15%	20-25%	25-30%
Litomyšl 1	-	5-10%	10%	20-25%	25-30%

Data z roku 2007 jsem nemohla vyhodnotit, protože poslední hodnoty tritia ze srážek, které jsem měla k dispozici jsou z prosince 2004. Výsledky z Tab. 15 ukazují na velký rozptyl hodnot u jednotlivých pramenů při použití modelů míšení (60.-REC, 60.-OLD), nicméně omezují interval, ve kterém se skutečné zastoupení vod ze 60. – 70. let vyskytuje. Je vidět, že ve všech pramenech je alespoň určitý podíl vody, která se infiltrovala po roce 1955, protože koncentrace tritia se pohybují v rozmezích 9,9 – 20,6 TU. Nejnižší zastoupení vody z 60. a 70. let mají prameny Panna Marie, Člupek, Osík a Pekla I. Pravděpodobné zastoupení je do 10%, maximální 25%. Naopak nejvyšší zastoupení má pramen Svateý Antonín (25 až 45%). Zajímavý je výrazný rozdíl koncentrací tritia mezi prameny Pekla I a Pekla II, které se nacházejí nedaleko od sebe. V případě Pekla I vychází již zmiňované pravděpodobné procentuelní zastoupení vod ze 60.-70. let do 10%, kdežto u Pekly II se pohybuje kolem 25%.

Ze stejných pramenů jako byly odebrány vzorky pro stanovení tritia byly analyzovány též koncentrace dusičnanů a chloridů. Z těchto výsledků nebyla zjištěna vzájemná korelace mezi obsahem tritia a obsahem dusičnanů nebo chloridů.

Tab. 16. Hodnoty tritia a radiouhlíku ve vrtech Vysokomýtské synklinály (Šilar, 1982)

Název vrtu	Lokalita	Kolektor	Hlbod*	Hlbdo**	¹⁴ C [pmc]	³ H [TU]	Cl ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]
S-1	Vysoké Mýto	coniak	6	42	81	90±10	5,4	6,0
VS-3	Perná	cenoman	66	88	35	<3	6,4	0,2
VS-3A	Perná	sp. turon	16	35	26	<3	4,6	7,0
VS-4A	Chmelík	cenoman	151	185	14	<3	3,1	0,3
VS-4	Chmelík	sp. turon	93	130	26	<3	6,9	4,9
VS-4B	Chmelík	stř. turon	50	65	95	99±9	15,1	20,7
VS-6A	Hor. Újezd	sp. turon	100	140	31	<3	6,4	1,9
VS-6B	Hor. Újezd	stř. turon	29	61	90	82±8	22,0	32,9
VS-7	Lezník	cenoman	156	203	52	12±7	10,6	1,9

* hloubka otevřeného úseku od, **hloubka otevřeného úseku do

Šilar (1982) publikoval hodnoty tritia z několika vrtů Vysokomýtské synklinály, odebírané v roce 1980, které zasahovaly až do cenomanského kolektoru (Tab. 16.). Je zřejmé, že nejstarší vrstvy (cenoman, spodní turon) české křídové pánve v této oblasti vykazují velmi nízké hodnoty tritia, což ukazuje na dominantní podíl vod infiltrovaných před rokem 1955. Naopak svrchní vrstvy (coniak a střední turon) mají koncentrace tritia velmi vysoké (až 99 TU) a obsahovaly tedy vodu moderní.

5.5.2. Dusičnany a chloridy

Vzorky pro stanovení dusičnanů a chloridů jsme odebrali v červnu 2005 z vybraných pramenů. Druhou sérii vzorků odebral Jiří Bruthans v lednu 2007. Naměřené koncentrace dusičnanů a chloridů ve studovaných pramenech jsou znázorněny v Tab. 17.

Tab. 17. Koncentrace dusičnanů a chloridů ve studovaných pramenech

Název pramene	Kód ČHMÚ	dusičnany [mg/l] 30.6.05	dusičnany [mg/l] 13.1.07	chloridy [mg/l] 30.6.05	chloridy [mg/l] 13.1.07
Svatý Antonín	PP0091	76	79	48	51
Panna Marie	PP0092	87	79	27	20
Člupek Zl. pásek	PP0096	44	44	58	37
Končiny Kaple	PP0097	48		18	
V korytech	PP0100	58	60	42	40
Pekla I	PP0610	42	40	29	26
Pekla II	PP0611	49*	51	22*	19
Osík	-	57		38	
Litomyšl 1	-	39	39	18	16

* odběr 7.6.2004

Navíc jsem z Českého hydrometeorologického ústavu získala koncentrace dusičnanů ze všech jimi sledovaných pramenů Vysokomýtské synklinály. Seznam těchto pramenů je uveden v Tab. 18.

Koncentrace dusičnanů, jejichž sledované období bylo krátké, popř. je známá pouze jedna hodnota, jsou uvedené v Tab. 19 Pro zjednodušení je zde uveden pouze rok odběru. U pramenů, které byly sledovány po delší dobu jsem vytvořila graf vývoje koncentrace dusičnanů v čase Obr. 27. Námi naměřené koncentrace dusičnanů jsem přidala ke sledovaným pramenům a vytvořila tak kompletní vývoj až do současnosti.

Tab. 19. Koncentrace dusičnanů pro krátké řady pramenů

Lokalita	Kód ČHMÚ	koncentrace dusičnanů [mg/l] r.1969	koncentrace dusičnanů [mg/l] r.1970	koncentrace dusičnanů [mg/l] r.1974	koncentrace dusičnanů [mg/l] r.1978	koncentrace dusičnanů [mg/l] r.1982
Litomyšl	PP0090			24	29,7	
Říkovice	PP0093			14,5	9,9	
Janov	PP0095		9,7			
Zálší	PP0098				48,8	
Libecina	PP0099	24			36,8	
Dobříkov	PP0101	1			0,9	
Dobříkov	PP0102				23,3	
Nové Hrady	PP0105		22,7		22,1	
Zderaz	PP0106		23		24,7	
Leština	PP0107	3,4		34,4	34,1	
Střemošice	PP0108			20	27,4	
Jarošov	PP0145				2,1	
Jarošov	PP0146				1,9	
Ústí nad Orlicí	VP0118					1,6

Z Tab. 17 a Obr. 27 je vidět, že zvýšené koncentrace dusičnanů se vyskytují u téměř všech sledovaných pramenů. Je pravděpodobné, že prameny, které vykazují po celou sledovanou dobu nízké koncentrace dusičnanů (VP0203, VP7305, VP7308) představují lesní povodí. Žádný z těchto pramenů nepřekročil hodnotu 15 mg/l, což je přibližně maximální přirozená koncentrace dusičnanů v podzemní vodě. Naopak mnoho pramenů (PP0091, VP7307, VP0119...) přesahuje dokonce koncentraci 50 mg/l, což je mezní hodnota dusičnanů pro pitnou vodu. Dá se tedy předpokládat, že voda pramenů má střední dobu zdržení desítky let a méně.

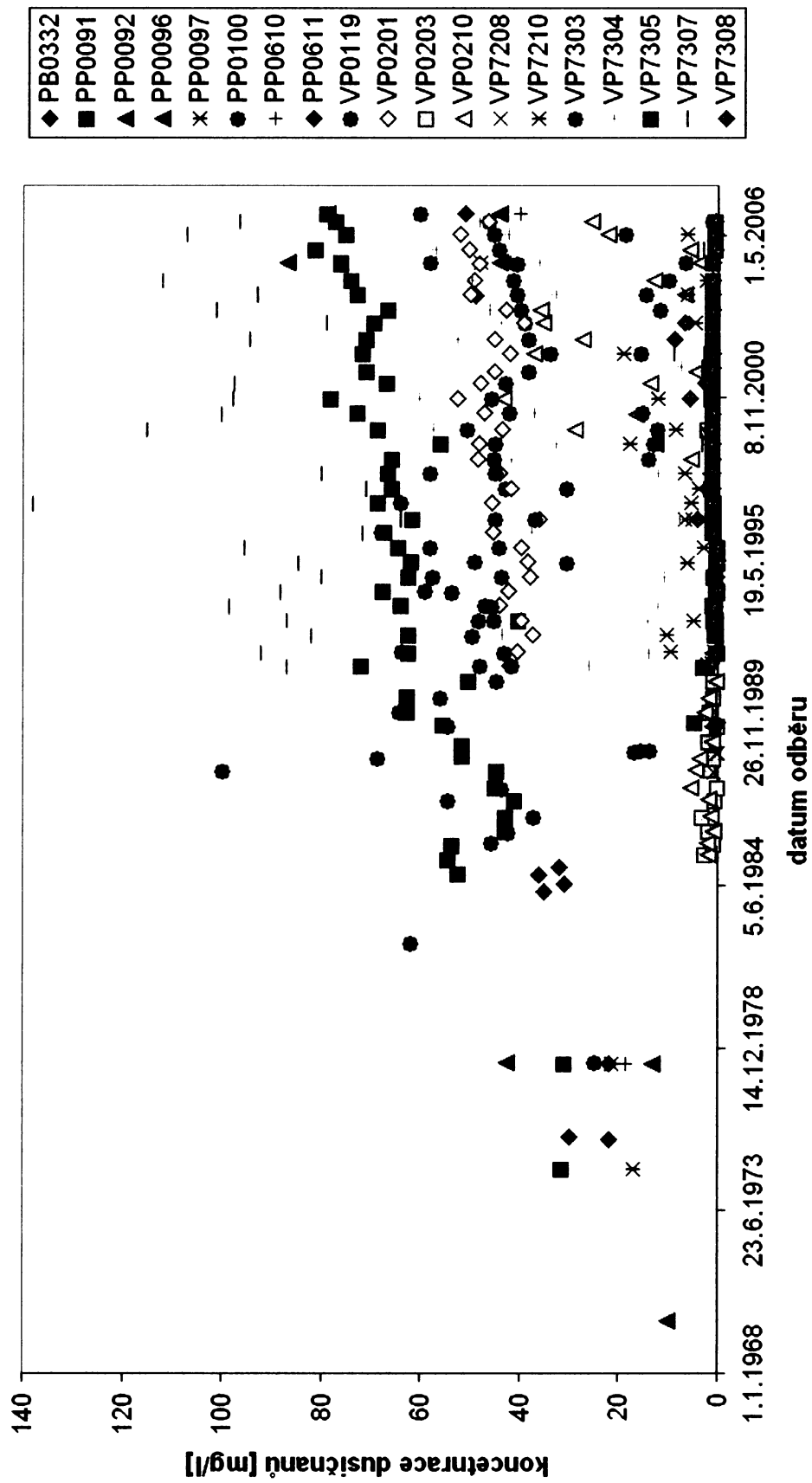
Obecně lze říci, že koncentrace dusičnanů s časem stoupají. Neplatí to ovšem pro všechny prameny. Například hodnoty pramenů VP7303 a VP0119 z posledních let oproti hodnotám naměřeným v 80. letech značně klesly, nyní se pohybují těsně pod hranicí 50 mg/l, v případě pramene VP7303 pod hodnotou 20 mg/l. U pramenů, jejichž koncentrace dusičnanů byly všeobecně nízké není vidět významný nárůst koncentrací dusičnanů s časem. Naopak výrazný nárůst hodnot oproti dřívějším letům (až 60 mg/l) vykazují prameny VP0210 a VP7304. Pramen VP7307 dosahuje nejvyšších koncentrací dusičnanů a zároveň také velkou variabilitu hodnot v průběhu let. Postupný nárůst koncentrací dusičnanů je také vidět u pramene PP0091.

Zajímavé výsledky jsou u pramenů, které byly měřeny Českým hydrometeorologickým ústavem naposledy v 60. a 70. letech a jsou doplněny námi naměřenými hodnotami z roku

2005 a 2007. Jedná se např. o prameny PP0092, PP0096, PP0100 nebo PP0611. U všech těchto pramenů je vidět výrazný nárůst koncentrací dusičnanů oproti původním měřením. Tyto hodnoty často překračují mezní hodnotu pro pitnou vodu. U těchto pramenů lze tedy do budoucnosti předpokládat pokračující nárůst koncentrací dusičnanů.

Tab. 18. Seznam pramenů a jejich sledované období

Lokalita	Kód ČHMÚ	Začátek sledování	Konec sledování
Stašov	PB0332	11.11.1975	16.1.1985
Litomyšl	PP0090	14.11.1974	29.5.1978
Litomyšl	PP0091	14.11.1974	16.10.2006
Horní Újezd	PP0092	22.6.1978	
Říkovice	PP0093	10.10.1974	29.5.1978
Janov	PP0095	2.12.1970	
Němčice	PP0096	13.10.1969	29.5.1978
Horní Sloupnice	PP0097	15.11.1974	29.5.1978
Zálší	PP0098	29.5.1978	
Libecina	PP0099	13.10.1969	7.6.1978
Vysoké Mýto	PP0100	16.6.1978	
Dobříkov	PP0101	11.9.1969	15.6.1978
Dobříkov	PP0102	16.6.1978	
Nové Hrady	PP0105	3.12.1970	22.6.1978
Zderaz	PP0106	2.12.1970	22.6.1978
Leština	PP0107	5.12.1969	7.6.1978
Střemošice	PP0108	10.10.1974	7.6.1978
Jarošov	PP0145	22.6.1978	
Jarošov	PP0146	22.6.1978	
Cerekvice n. Loučnou	PP0610	7.6.1978	
Cerekvice n. Loučnou	PP0611	7.6.1978	
Ústí nad Orlicí	VP0118	23.6.1982	
Choceň	VP0119	24.6.1982	16.10.2006
Říkovice	VP0201	24.10.1991	16.10.2006
Hrušová	VP0203	13.6.1985	17.10.2006
Radhošť	VP0210	13.6.1985	13.10.2006
Zdelov	VP7208	30.3.1988	9.10.2006
Mikuleč	VP7210	20.11.1991	15.10.2006
Trstěnice	VP7303	8.12.1988	14.10.2006
Trstěnice	VP7304	5.11.1991	14.10.2006
Cerekvice	VP7305	27.11.1989	17.10.2006
Vračovice	VP7307	17.10.1991	13.10.2006
Slatina	VP7308	26.10.1989	13.10.2006



Obr. 27. Vývoj koncentrací dusičnanů v čase

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce je postavena v první řadě na terénních měřeních, ale zpracovala jsem též mnoho archivních dat a jejich výsledky vyhodnotila.

V roce 2006 jsem provedla měření teplot a konduktivit na povrchových tocích Desná I (od Poříčí u Litomyšle do Vísky), Desná II (v celé délce obce Osík) a Loučná (od železniční stanice v Cerekvici nad Loučnou po Soukenickou Valchu před Vysokým Mýtem). Celkem se jednalo o přibližně 16 km vodních toků. Cílem bylo lokalizovat všechny prameny a skryté přítoky do těchto toků. Zároveň jsem vypočetla jejich vydatnosti na základě změny teploty a konduktivity, kterou pramen vyvolal v povrchovém toku. Díky tomu jsem mohla vypočítat přibližné množství vody, které vyvěrá do toků v těchto zkoumaných oblastech.

V roce 2006 jsem zároveň s termometrií změřila průtoky všech zmiňovaných toků na začátcích zkoumaných úseků. Detailnější měření průtoků, které zahrnovalo počáteční a koncové úseky toků a vybrané prameny jsem provedla v roce 2007.

V roce 2005 jsme společně se školitelem odebrali vzorky z několika vybraných pramenů Vysokomýtské synklinály na stanovení dusičnanů, chloridů a tritia. Další sérii vzorků odebral školitel v roce 2007. Tyto výsledky byly použity pro rámcový odhad střední doby zdržení. Z hodnot obsahů tritia jsem spočetla přibližné procentuální zastoupení vod ze 60. a 70. let.

Z databáze Hydrofond jsem obdržela soubor týkající se všech dostupných vrtů (683) Vysokomýtské synklinály včetně chemismu podzemních vod, výsledků čerpacích zkoušek a pro některé též geologický profil. Tyto data jsem zpracovala a vytvořila jednak hloubkovou distribuci NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , SiO_2 , pH, CHSK a specifických vydatností rozdělených podle jednotlivých kolektorů a pomocí programu ArcMap 9.1 též plošnou distribuci všech zmiňovaných komponent. Díky těmto grafům a mapám jsem poukázala na změny koncentrací s hloubkou a na oblasti se zvýšenými koncentracemi jednotlivých komponent a diskutovala důvody jejich výskytu.

Z Českého hydrometeorologického ústavu jsem získala režimní měření vydatností a teplot pěti pramenů ve Vysokomýtské synklinále za celou dobu sledování. Z těchto dat jsem vytvořila čáry vyprazdňování a překročení a zhodnotila tyto prameny podle metodiky Kullmana (1990), kde každá čára charakterizuje určitý typ otevřených diskontinuit horninového prostředí a tím i určitý typ filtračního prostředí. Dále jsem prameny zhodnotila co se týká jejich vyrovnanosti (Zařko, 1969). Pro tyto prameny jsem též vytvořila autokorelaci vydatnosti pramenů, která ukazuje, jak rychle se v čase mění průtok.

Dále jsem z Českého hydrometeorologického ústavu získala koncentrace dusičnanů ze 34 zkoumaných pramenů Vysokomýtské synklinály. K pramenům, u kterých jsme stanovovali

koncentrace dusičnanů (2005 a 2007), jsem přidala tyto nejnovější údaje a zhodnotila jejich vývoj v čase.

Měření teploty a konduktivity toku Loučná v okolí Vysokého Mýta prokázalo, že ve zkoumaném osmikilometrovém úseku dochází k velkému nárůstu průtoku, přičemž většina představuje skryté přírny podzemních vod přímo do toku Loučná. Naopak výsledky měření průtoků Desné od Poříčí u Litomyšle do Vísky ukázala, že zde pravděpodobně dochází k vsakování potoční vody do náplavů a dotaci křídového kolektoru.

Vzorky odebrané z několika pramenů na stanovení dusičnanů a chloridů ukazují, že téměř ve všech pramenech se vyskytují koncentrace vyšší než je jejich přirozená hodnota v podzemních vodách. U dusičnanů často koncentrace přesahují mezní hodnotu pro pitnou vodu, která je v jejich případě 50 mg/l. Vývoj koncentrací dusičnanů v čase u pramenů, které sleduje ČHMÚ ukazuje, že většina pramenů má stoupající trend a do budoucnosti se dá očekávat další nárůst koncentrací.

Hlubková distribuce chemismu především poukázala na to, že příměsi mladé vody a tudíž antropogenní znečištění jsou nejen v mělkých zvodních, ale zasahují též do hlubokých kolektorů. I vrty, jejichž střední hloubka otevřeného úseku je 200 m a více, obsahují téměř ze 40% větší koncentrace chloridů než 10 mg/l. Koncentrace dusičnanů vyšší než 15 mg/l má v hloubkách přes 100 m necelých 30% vrtů. Je tak zřejmé, že nejméně 30% i hlubších vrtů obsahuje významné množství vody infiltrované během několika málo desítek let. Ani hlubší části pánevní výplně tak nejsou chráněny před antropogenním znečištěním v řádu desítek let. Přítomnost vysoce propustných zón a infiltrace vody z povrchových toků vede k vysoké zranitelnosti i hlubších kolektorů.

Co se týká plošné distribuce, vyšší koncentrace chloridů, hydrogenuhličitanů, síranů a draslíku se vyskytují v severozápadní části Vysokomýtské synklinály, což může být důsledkem stagnace podzemních vod v této oblasti. Zvýšená koncentrace chloridů zde zřejmě pochází ze starých vod a nemá v tomto případě původ v antropogenním znečištění.

Vyhodnocení režimních sledování průtoků poukázalo na rozdíly mezi pramenem Zderaz, který odvodňuje cenomanské pískovce a ostatními prameny vyvěrajícími z turonských slínovců. Pramen z pískovců vykazuje nejvyšší vyrovnanost vydatností. Též výsledky autokorelace, poukázali na velmi pozvolnou změnu průtoků v čase na rozdíl od ostatních pramenů.

Podle aktivity tritia pramenů odebraných v roce 2005 je zřejmé, že ve všech pramenech je přítomna voda, která se infiltrovala po roce 1955, neboť koncentrace tritia se pohybují v rozmezí 9,9 – 20,6 TU. Z výpočtů vychází, že množství vod z 60. a 70. let se pohybuje mezi

10% až 25%. Dá se tedy předpokládat, že voda pramenů má střední dobu zdržení v řádech desítek let.

7. LITERATURA

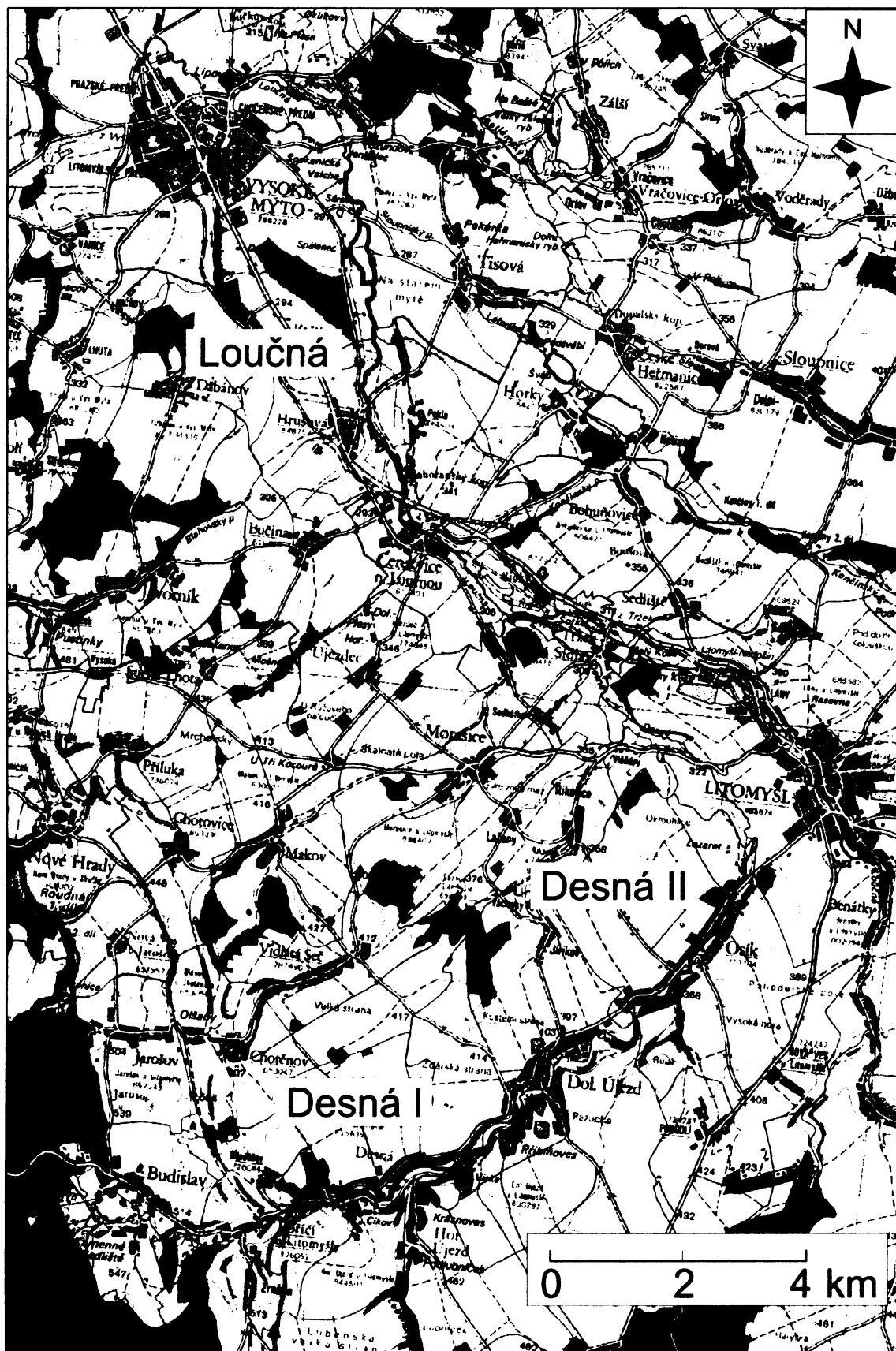
- BRUTHANS, J., (2006). Využití přirozených stopovačů (18O; 3H; freony; SF₆) a dalších metod pro zhodnocení doby. MS, Disertační práce, PřF UK, 207 s.
- BRUTHANS, J., ZEMAN, O. (2001). Regional permeable zones and stream thermometry in karst areas. 31th IAH Congress, vol. 2, 697-700, München.
- BRUTHANS, J., KADLECOVÁ, R. (2005). Využití freonů (CFC 11, 12, 113), SF₆ a tritia pro určení zastoupení recentních vod kontaminovaných dusičnany v české křídové pánvi (jímací území Litá a Řepínský důl). Zprávy o geologických výzkumech v roce 2004, 161-163.
- BURIÁNEK, D., NĚMEČKOVÁ, M., HANŽL, P. (2003). Petrology and geochemistry of plutonic rocks from the Polička and Zábřeh crystalline units (NE Bohemian Massif). Bulletin of geosciences 78, 9-22.
- CLARK, I.D., FRITZ, P. (1997). Environmental isotopes in hydrogeology. New York, Lewis Publishers, 328 s.
- ČECH, S. (1995). Korelace turonských sedimentů východočeské křídý (13-14 Poděbrady, 13-23 Chlumec nad Cidlinou, 13-42 Pardubice, 14-31 Vysoké Mýto). Zprávy o geologických výzkumech v roce 1994, 23-24.
- ČECH, S. et al. (1996). Geologická mapa ČR. List 14-31 Vysoké Mýto. Měřítko 1:50 000. Český geologický ústav, Praha
- ČECH, S., VALEČKA, J. (1991). Významné transgrese a regrese v české křídové pánvi. MS, Český geologický ústav, Praha.
- ČECH, S., VALEČKA, J. (1994). Cretaceous. In: Sine (ed.): Regional geological subdivision of the Bohemian Massif on the territory of the Czech Republic. Journal of the Czech Geological Society, 39, 136-139.
- ČURDA, J. (1997). Hydrogeologické poměry jižního uzávěru vysokomýtské synklinály (24-11 Nové Město na Moravě). Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996, 20-21.
- ČURDA, J. (2000). Jižní úsek hydrogeologické hranice mezi vysokomýtskou a ústeckou synklinálou (14-33 Polička, 14-34 Svitavy, 24-11 Nové Město na Moravě, 24-12 Letovice). Zprávy o geologických výzkumech v roce 1999, 101-103.
- HERCOG, F. et al. (1971). Bilanční zhodnocení české křídý. Etapa II.a. Orlicko-žďárská faciální oblast. MS, Stavební geologie, Praha.
- HERČÍK, F., HERRMANN, Z., NAKLÁDAL, V. (1987). Hydrogeologická syntéza české křídové pánve. MS, Stavební geologie, Praha.

- HERČÍK, F., HERRMANN, Z., VALEČKA, J. (1999). Hydrogeologie české křídové pánve. Český geologický ústav, Praha, 43 s.
- HYNIE, O. (1949). Vodárensky využitelné vydatné nádrže podzemních vod v Čechách. Geotechnika 8, Ústřední ústav geologický, Praha.
- HYNIE, O. (1961). Hydrogeologie ČSSR, I. Prosté vody. Academia, Praha.
- IAEA/WMO (2006). Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at: <http://isohis.iaea.org>.
- MALKOVSKÝ, M., BENEŠOVÁ, Z., ČADEK, J., HOLUB, V., CHALOUPSKÝ, J., JETEL, J., MÜLLER, V., MAŠÍN, J., TÁSLER, R. (1974). Geologie české křídové pánve a jejího podloží. Ústřední ústav geologický, Československá Akademie věd, Praha, 262 s.
- MALKOVSKÝ, M. (1979). Tektogeneze platformního pokryvu Českého masivu. MS, Ústřední ústav geologický, 176 s.
- KANTA, J., ULIČNÝ, D. (2001). The Role of Palaeotopography and Tectonics in the Stratigraphy of Fluvial Through Shallow-Marine Deposits of the Peruc-Korycany Formation (Cenomanian) in the SE Part of the Bohemian Cretaceous Basin. Geolines 13, 75-76
- KENDALL, C., McDONELL, J.J. (1998). Isotope tracers in catchment hydrogeology. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 839 s.
- KULLMAN, E. (1990). Krasovo-puklinové vody. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 176 s.
- PELIKÁN, V. (1988). Hydrogeologická měření, SNTL Praha, 216 s.
- PITRA, P., GUIRAUD, M. (1996). Probable anticlockwise P-T evolution in extending crust: Hlinsko region, Bohemian Massif. Journal of metamorphic geology 14, 49-60.
- PRAŽÁK, J., ČECH, S., ELIÁŠ, M., HERCOGOVÁ, J., KNOBLOCH, E., MALECHA, A., ŠVÁBENICKÁ, L., VALEČKA, J. (1994). Křída. In: Klomínský, J. (ed.): Geologický atlas České republiky. Český geologický ústav, Praha.
- SLAVÍK, J., VALEČKA, J. (1988). Sedimentologie rohateckých vrstev (coniak) na stratotypové lokalitě Sutiny (Choceň). Zprávy o geologických výzkumech v roce 1985, Praha.
- SOUKUP, J. (1948). Stručná zpráva o výzkumu křídly na území listu Rychnov n. Kněžnou. Věstník státního geologického ústavu ČSR, 23.
- ŠILAR, J. (1982). Radiouhlíkové datování a tritium Vysokomýtské synklinály. MS, PřF UK, 20 s.
- ULIČNÝ, D. (1999). Interplay of Strike-Slip Tectonics and Eustasy in Coarsegrained

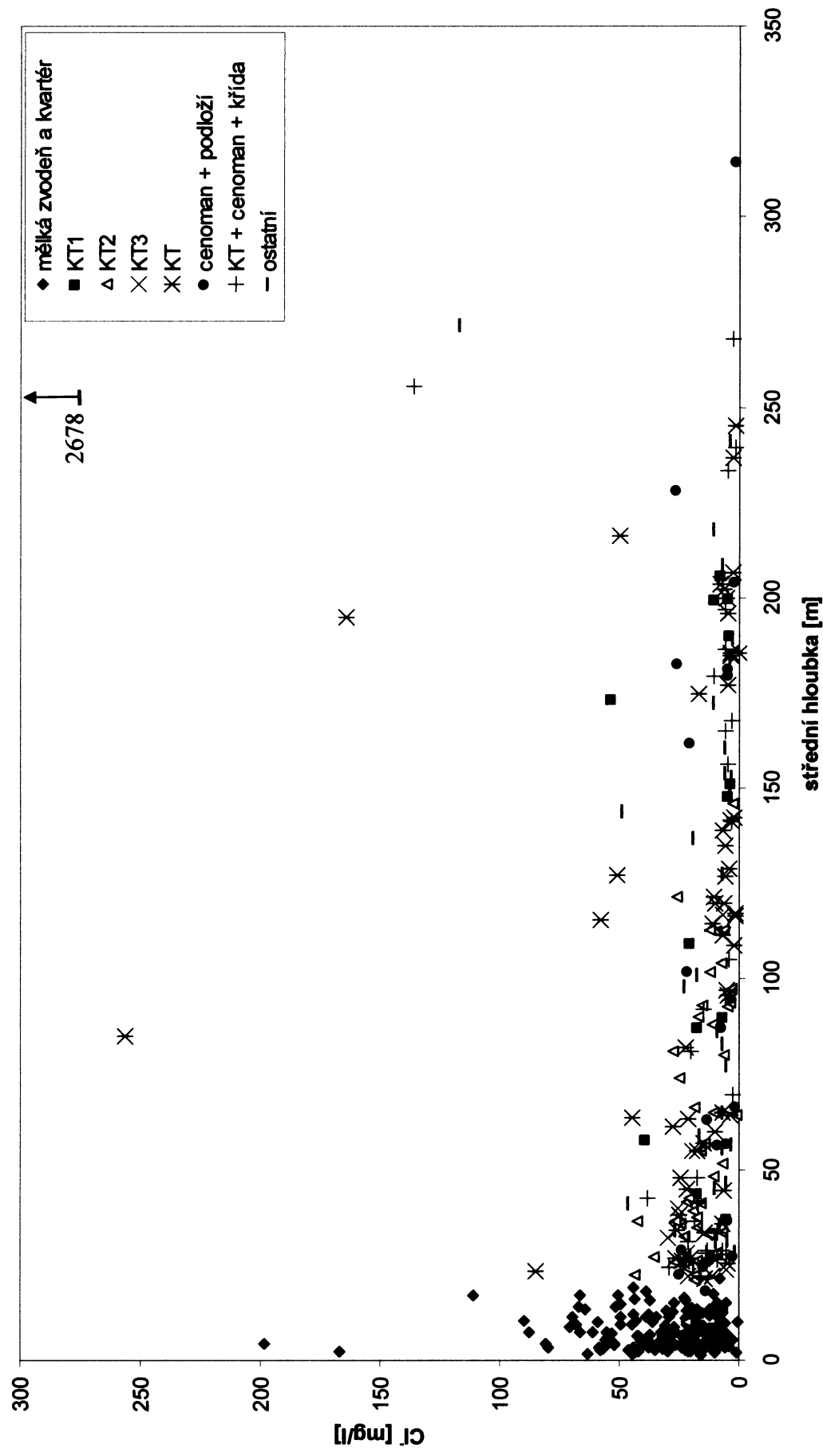
- Delta Systems, Bohemian Cretaceous Basin. *Geolines* 8, 72.
- ULIČNÝ, D., ŠPIČÁKOVÁ, L. (2002). Stratigraphic architecture of Cenomanian palaeovalley fills, central part of the Bohemian Cretaceous Basin: interplay of base-level change and tectonic influences. *Geolines* 14, 101.
- ULIČNÝ, D., KVAČEK, J., SVOBODOVÁ, M., ŠPIČÁKOVÁ, L. (1997). High-frequency sea-level fluctuations and plant habitats in Cenomanian fluvial to estuarine succession: Pecínov quarry, Bohemia. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 136, 165-197.
- VALEČKA, J. (1984). Storm surge versus turbidite origin of the Coniacian to Santonian sediments in the eastern part of the Bohemian Cretaceous Basin. *Geologische Rundschau* 73, 651-682.
- VALEČKA, J. (1988). Sedimentologie svrchní křídy v králickém příkopu. *Sborník geologických věd, Geologie* 43, 147-191.
- VALEČKA, J., SKOČEK, V. (1991). Late Cretaceous lithoevents in the Bohemian Cretaceous Basin, Czechoslovakia. *Cretaceous Research* 12, 561-577.
- VAVŘÍNOVÁ, D. (1981). Vysokomýtská synklinála. MS, *Stavební geologie*, Praha.
- VOTRUBA L., PATERA A. (1983). Teplotní a zimní režim toků, nádrží a vodních děl. *Academia, Praha*, 549s.
- VRBA, J. (1966). Nové poznatky o hydrogeologii východní části českého křídového útvaru. *Časopis pro mineralogii a geologii* 11, 295-305.
- ZAŤKO, M. (1969). Režim podzemných vôd Slovenska. MS, *Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského*, 82 s.
- ŽIŽKA, V. (1982). Hydrogeologické poměry v okolí Moravské Třebové. Bilanční studie s návrhem jímání. MS, *Vodní zdroje*, Praha.
- ŽIŽKA, V. (1985). Vysokomýtská synklinála. Regionální hydrogeologický průzkum. Závěrečná zpráva za III. etapu prací. MS, *Vodní zdroje*, Praha.

Přílohy

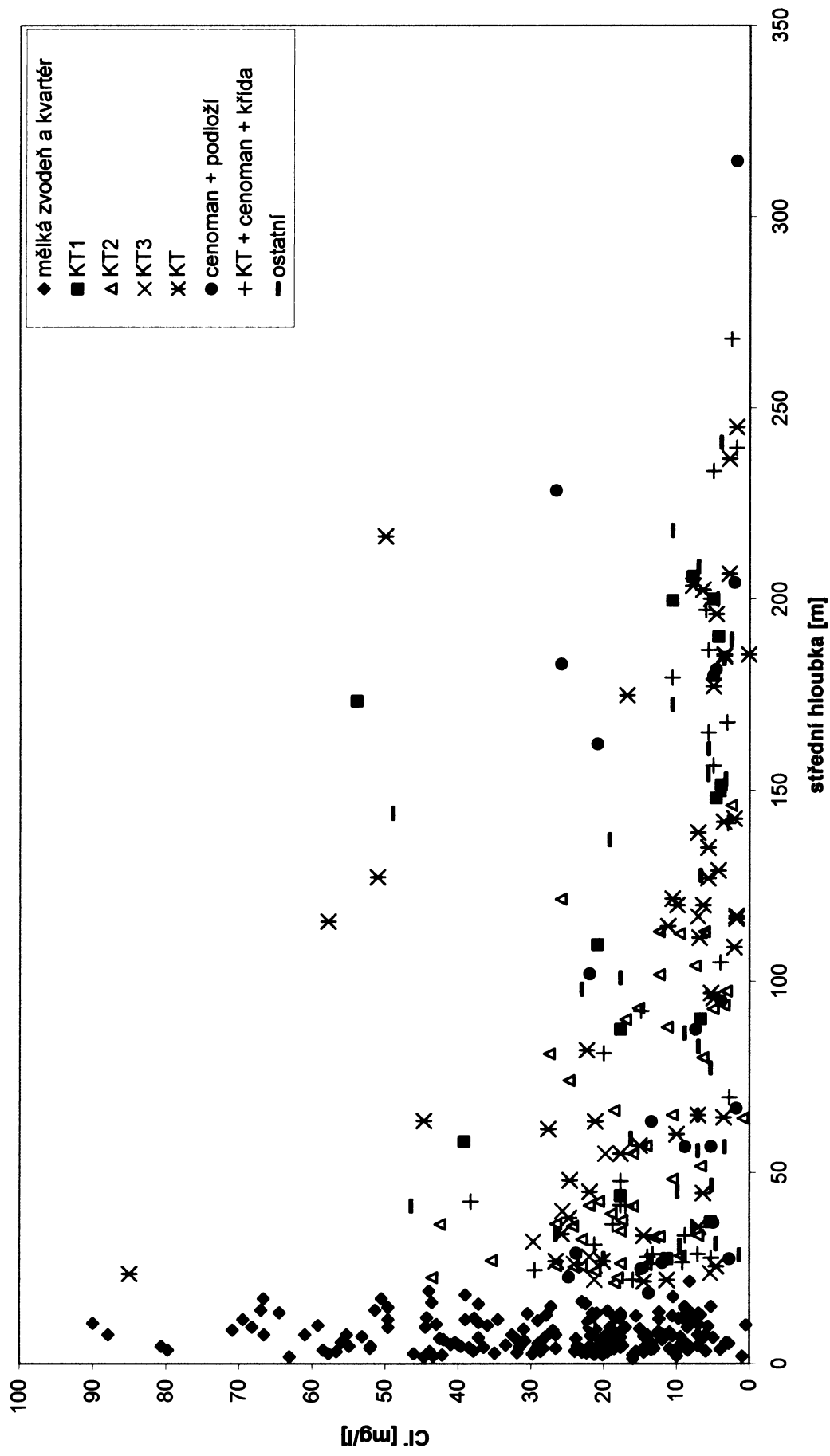
Příloha 1: Topografická mapa s vyznačenými měřeni úseky



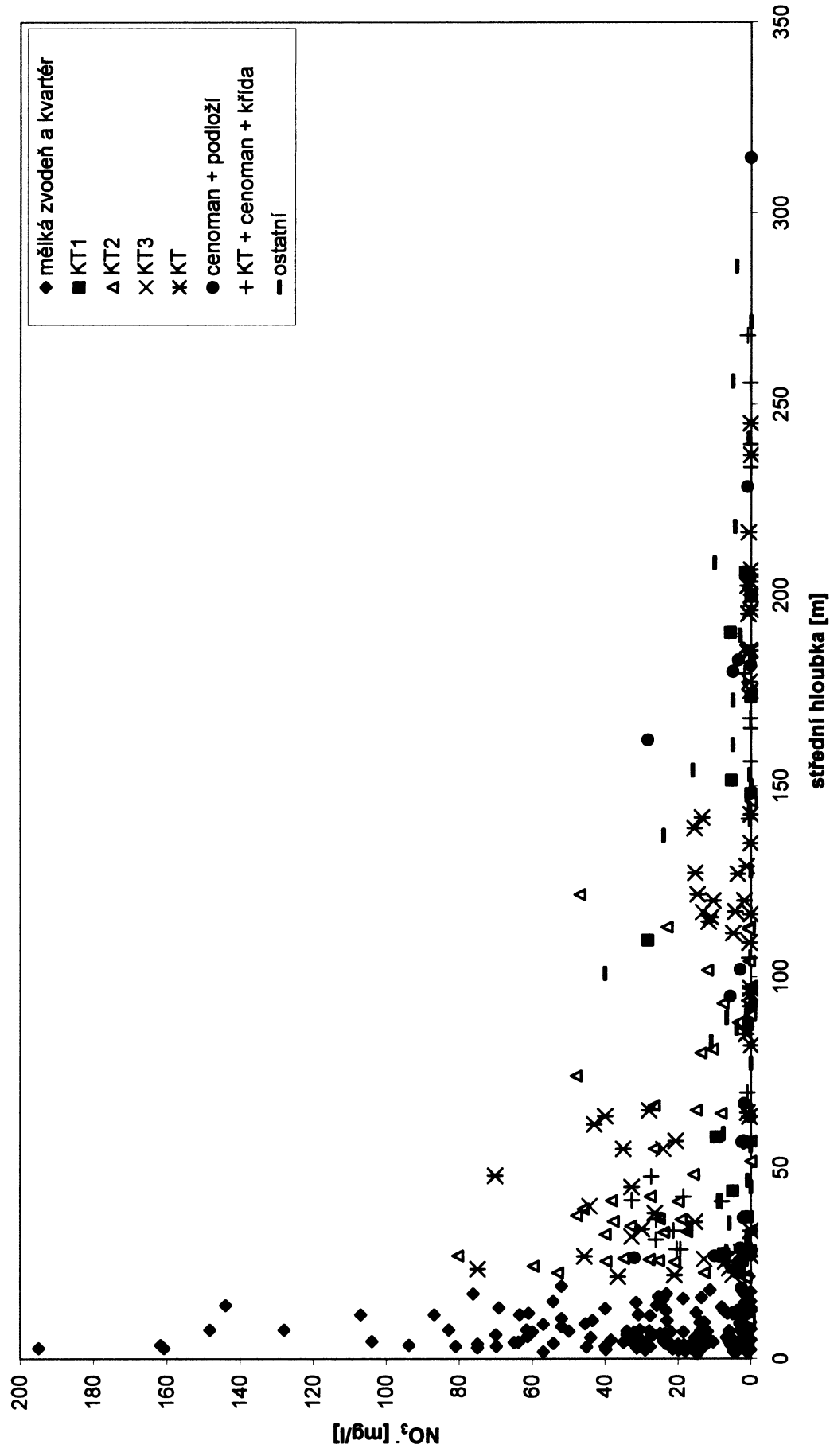
Příloha 2a: Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce



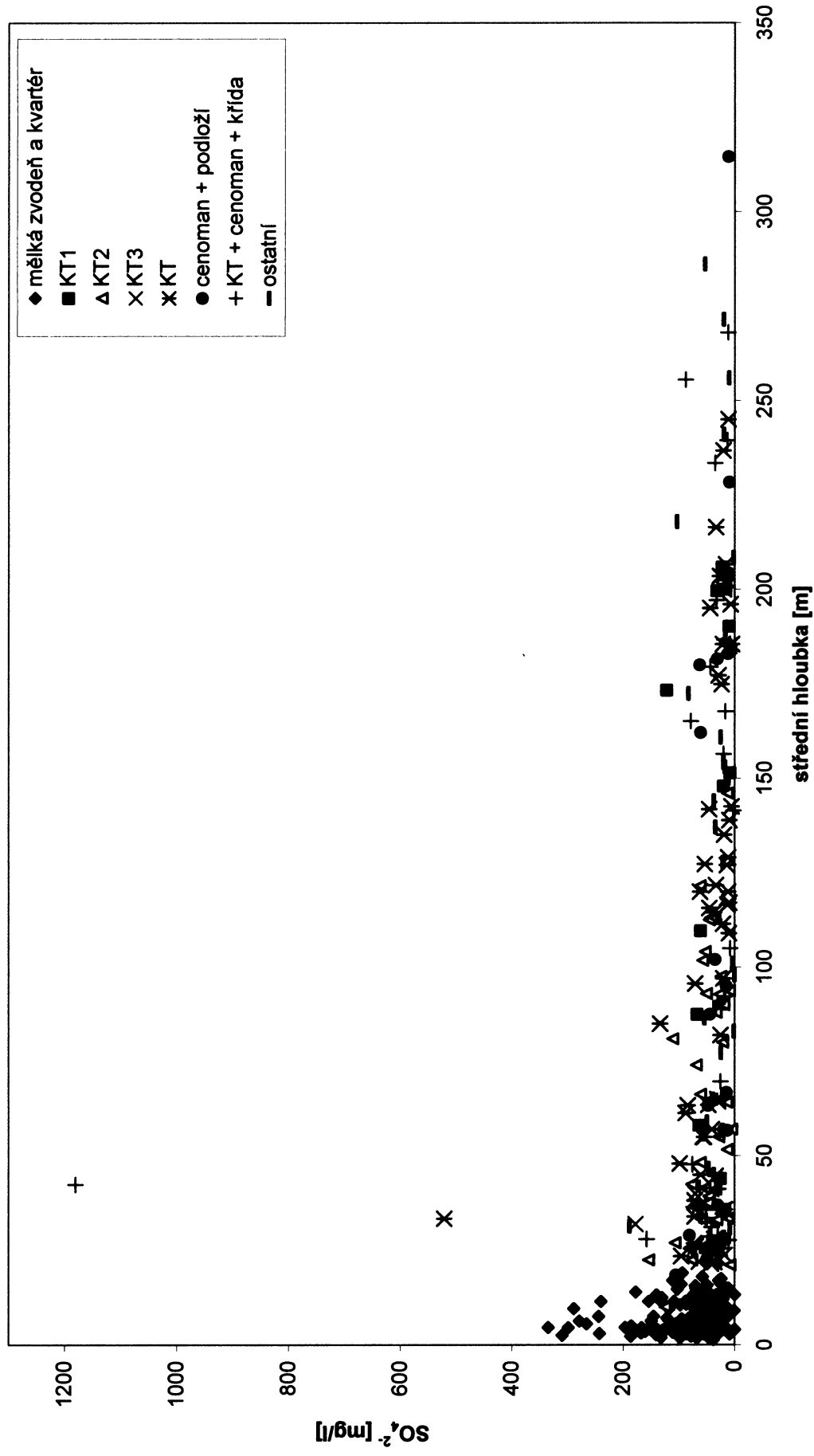
Příloha 2b: Závislost koncentrací chloridů na střední hloubce (0-100 mg/l)



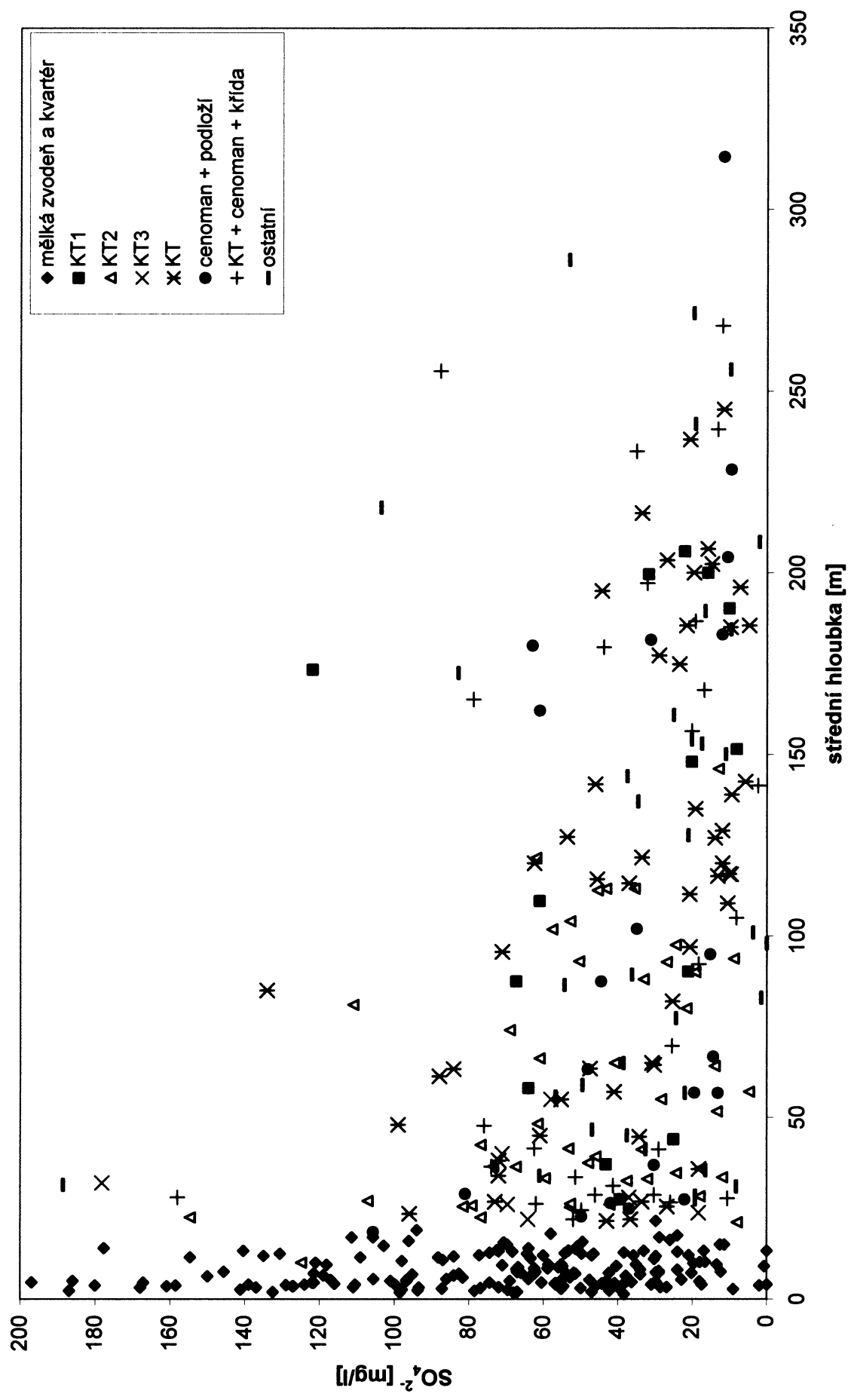
Příloha 2c: Závislost koncentrací dusičnanů na střední hloubce



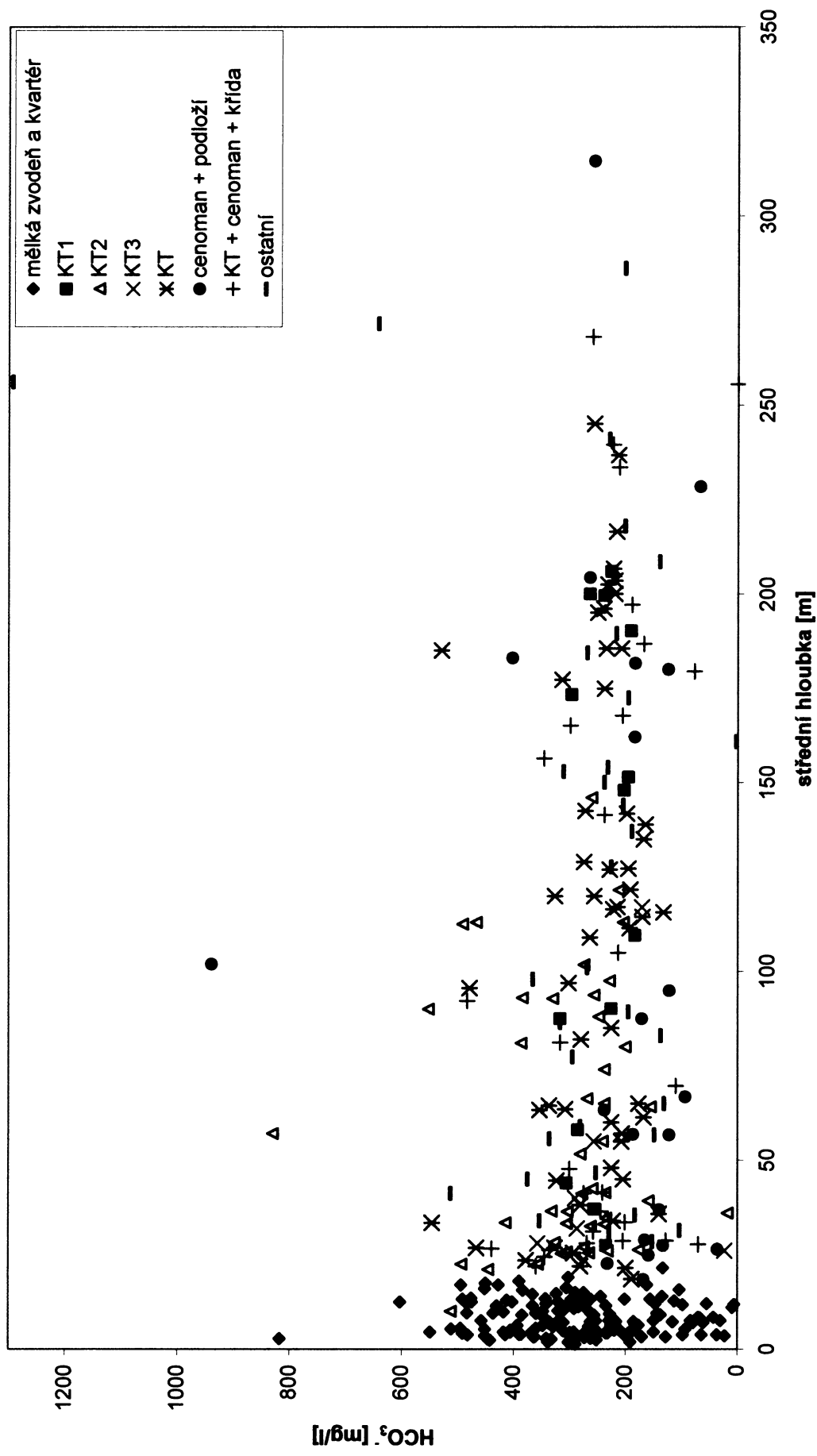
Příloha 2d: Závislost koncentrací síranů na střední hloubce



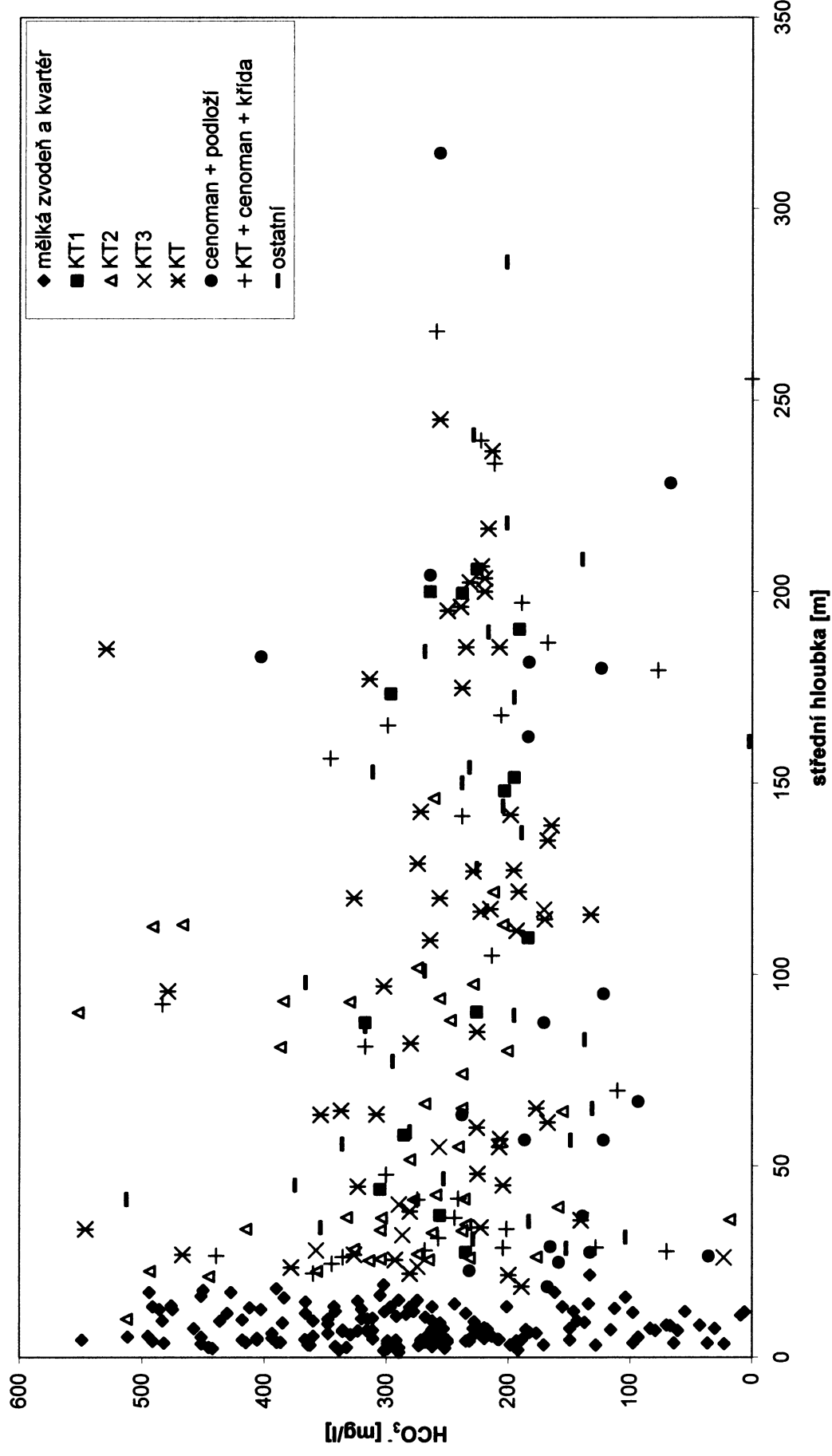
Příloha 2e: Závislost koncentrací síranů na střední hloubce (0-200 mg/l)



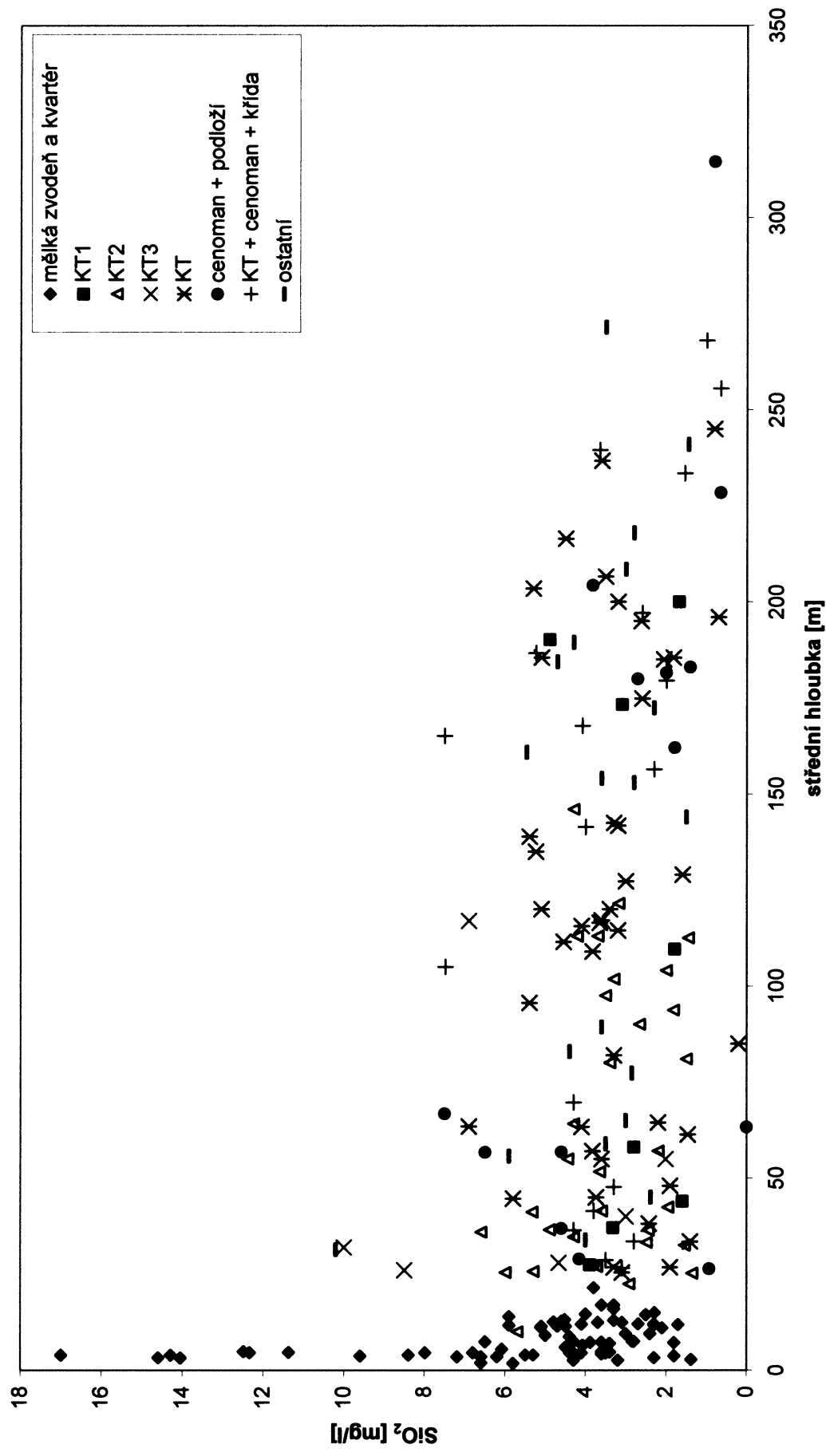
Příloha 2f: Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce



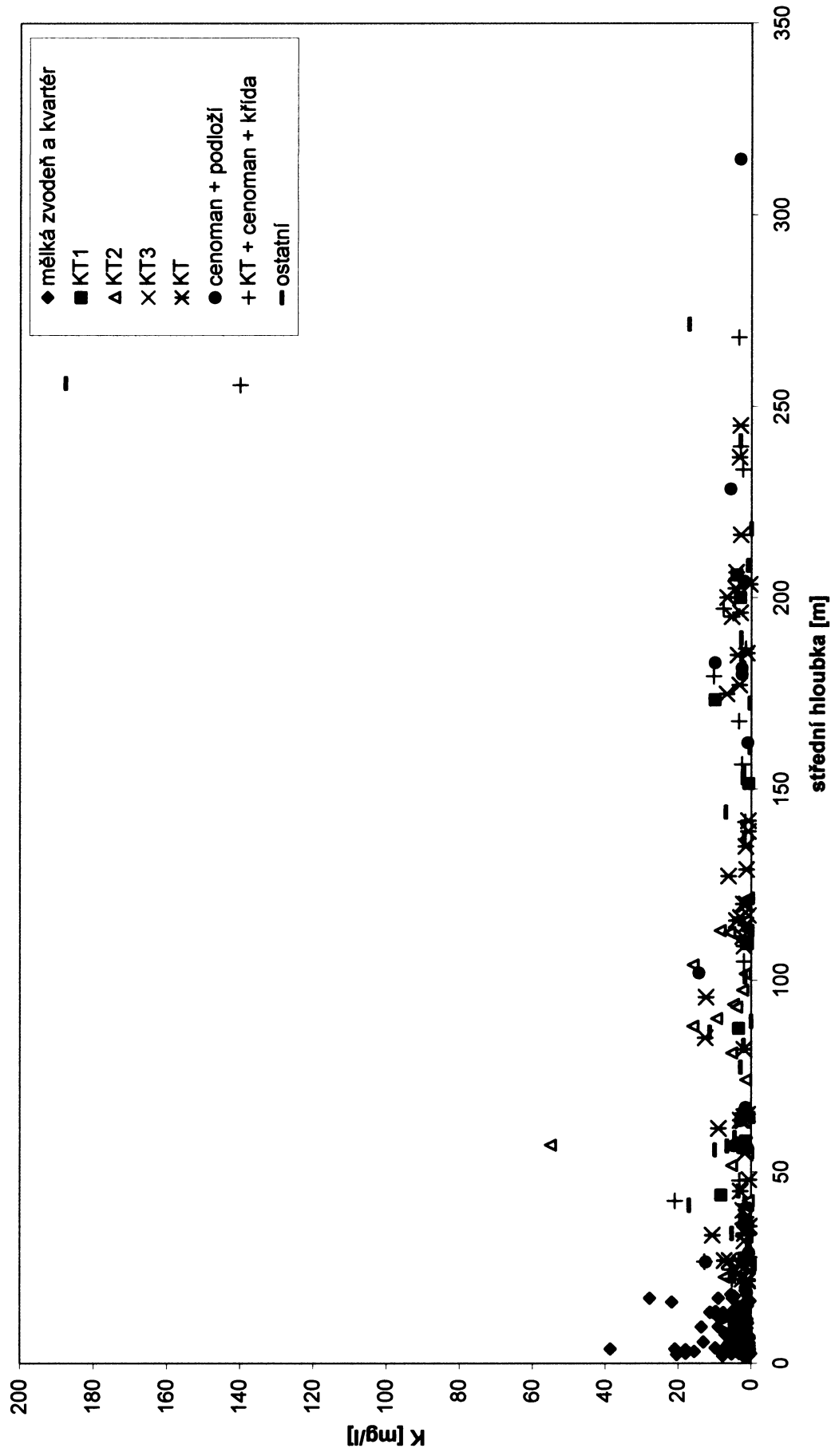
Příloha 2g: Závislost koncentrací hydrogenuhličitanů na střední hloubce (0-600 mg/l)



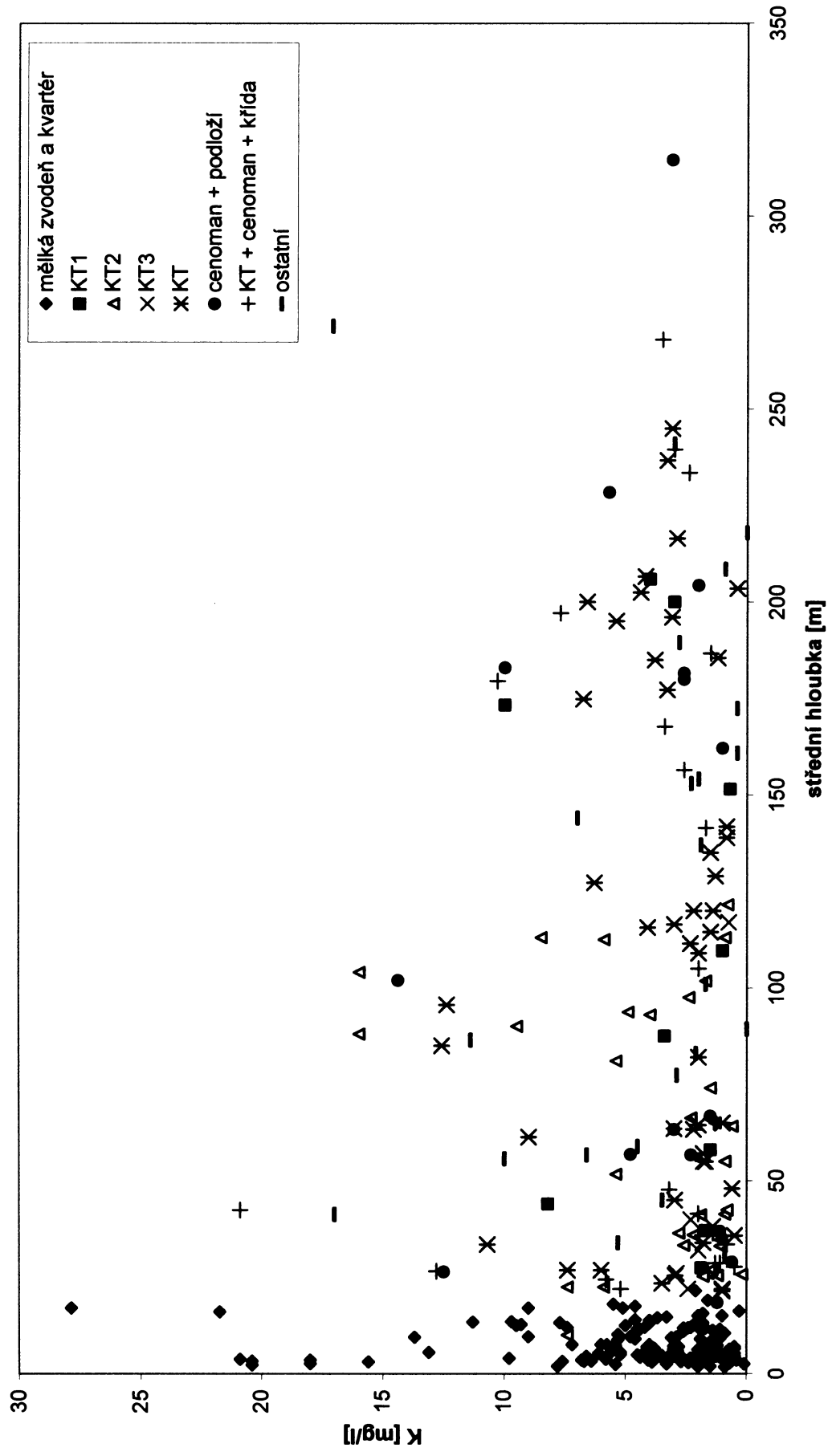
Příloha 2h: Závislost koncentrací oxidu křemičitého na střední hloubce



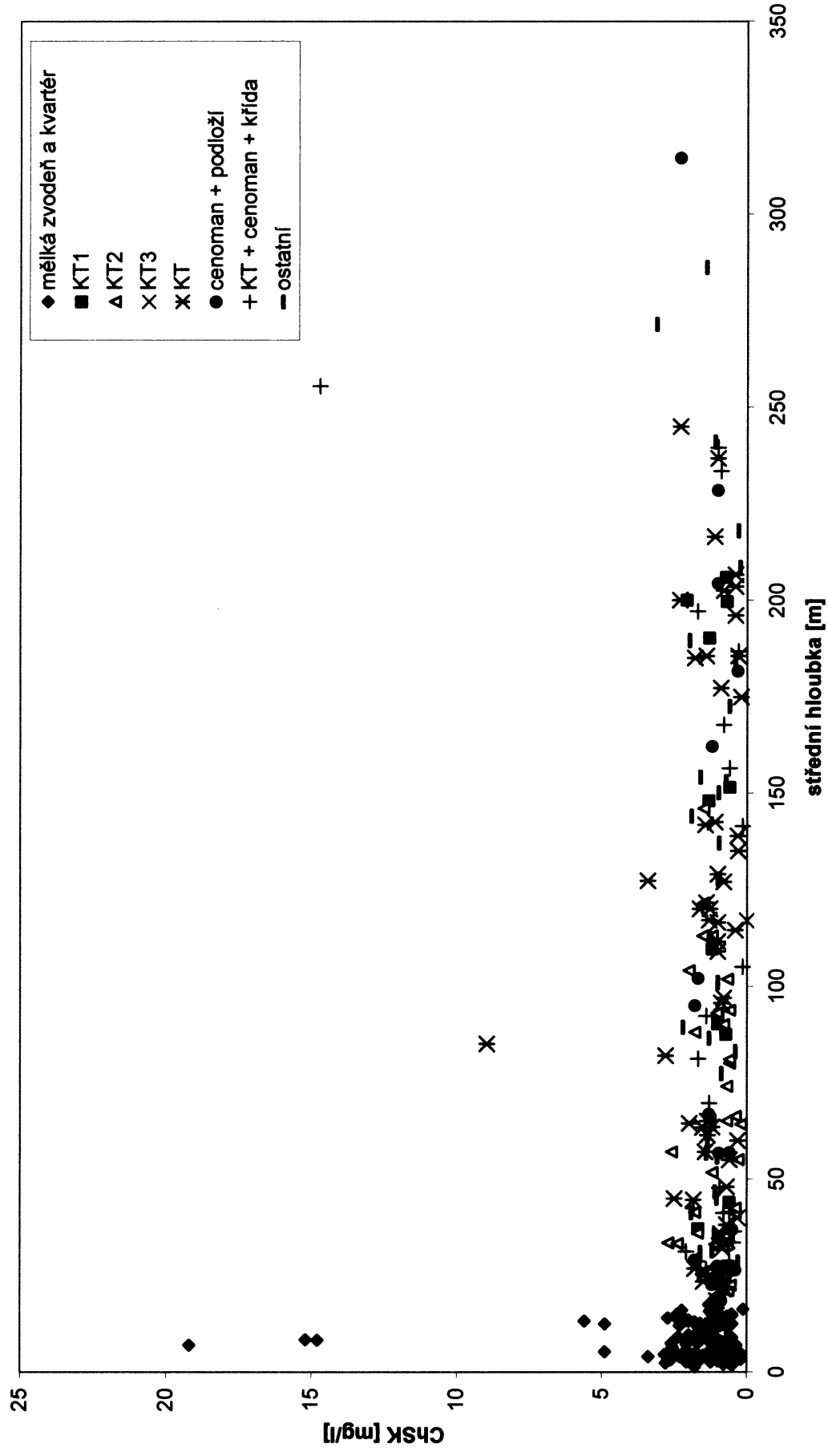
Příloha 2i: Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce



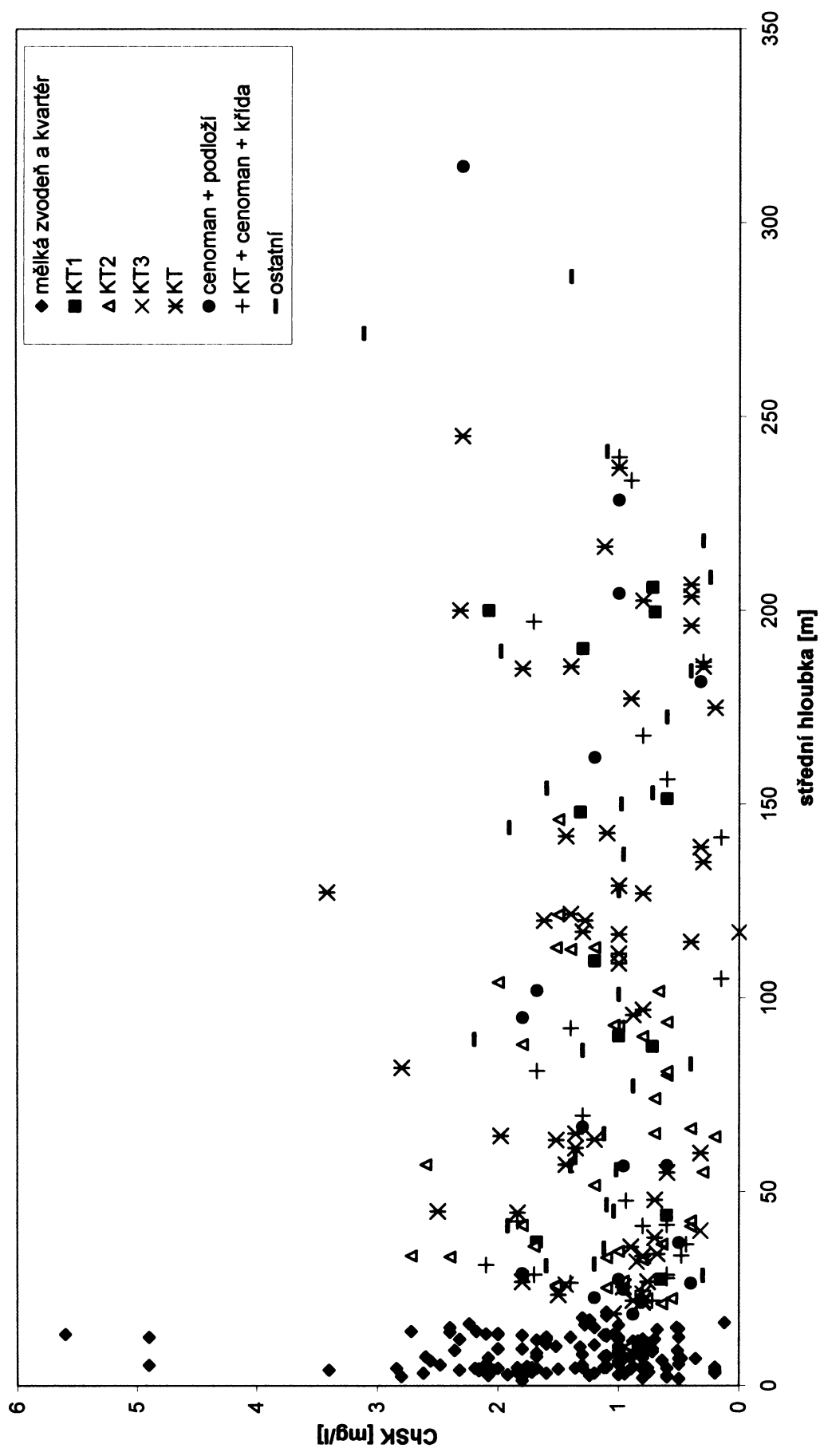
Příloha 2j: Závislost koncentrací draslíku na střední hloubce (0-30 mg/l)



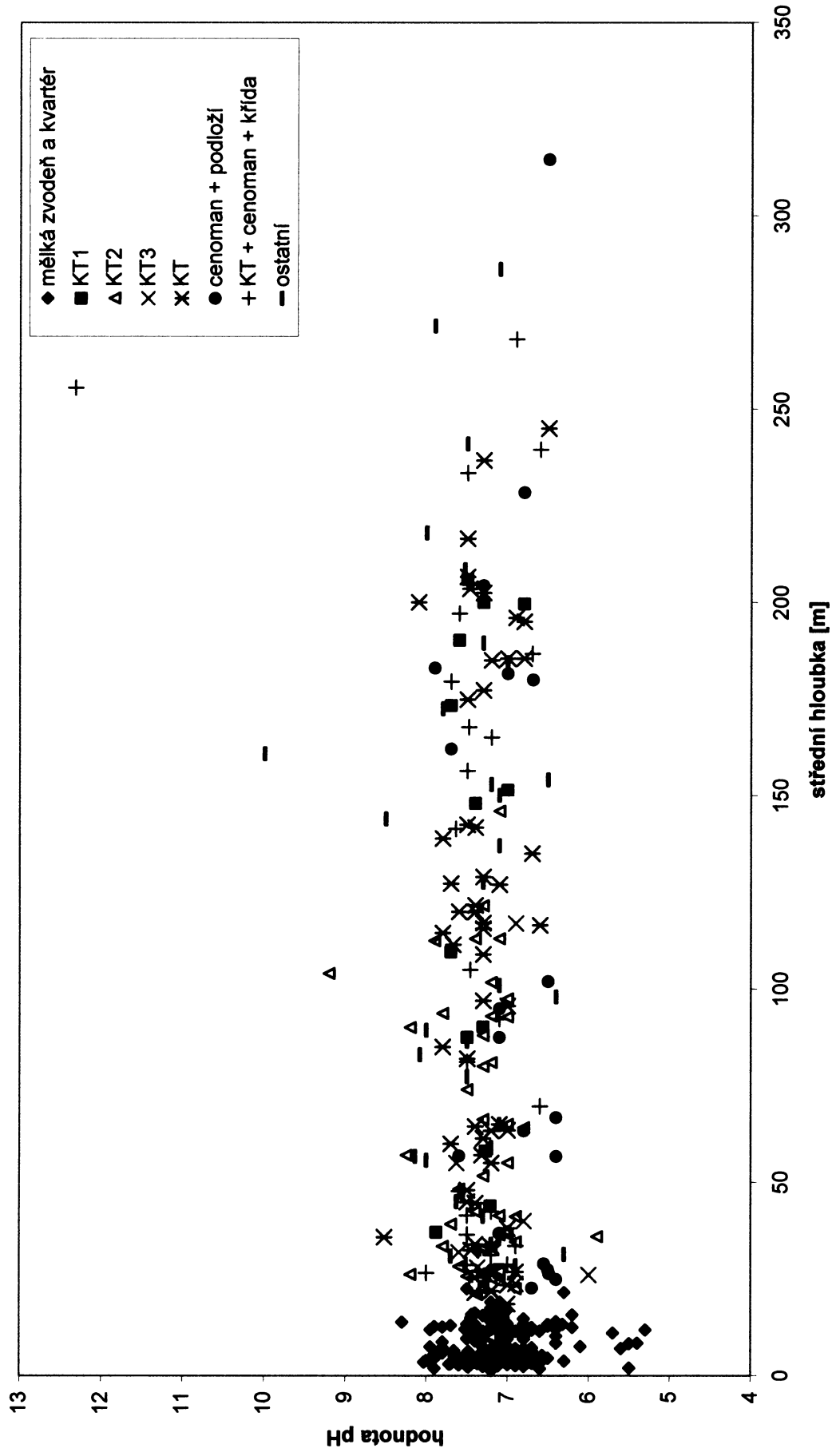
Příloha 2k: Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce



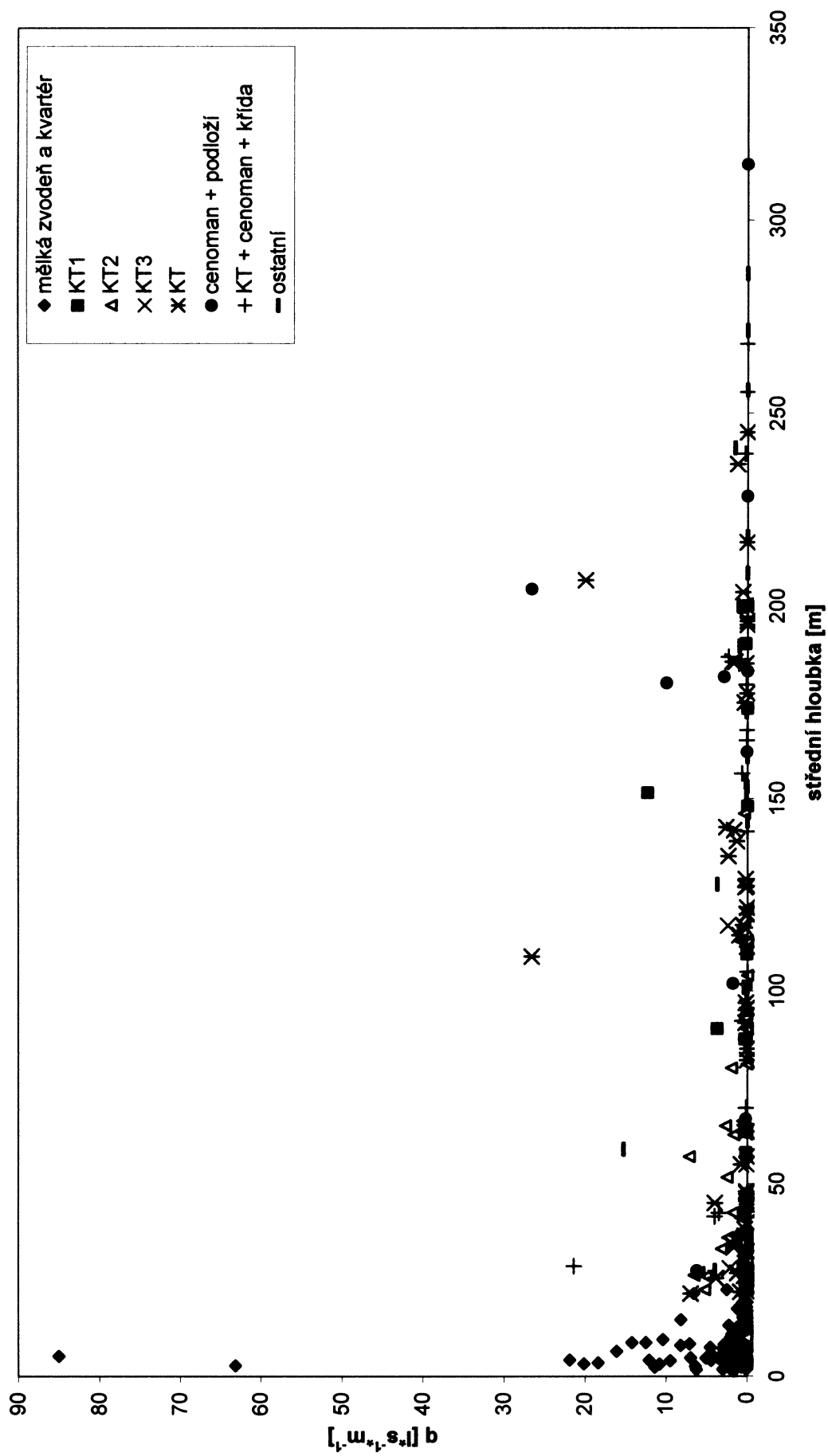
Příloha 21: Závislost koncentrací chemické spotřeby kyslíku na střední hloubce (0-6 mg/l)



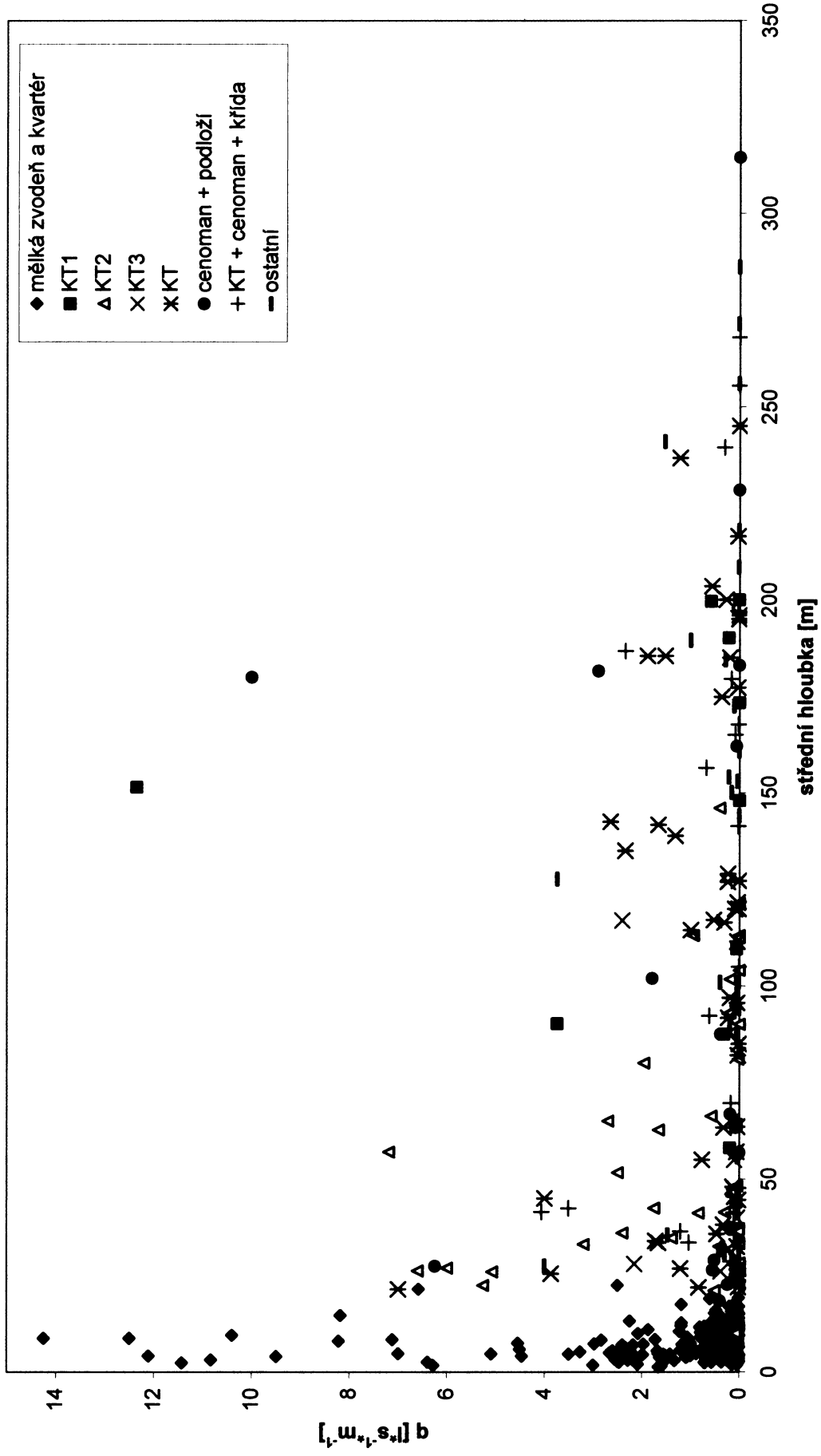
Příloha 2m: Závislost pH na střední hloubce



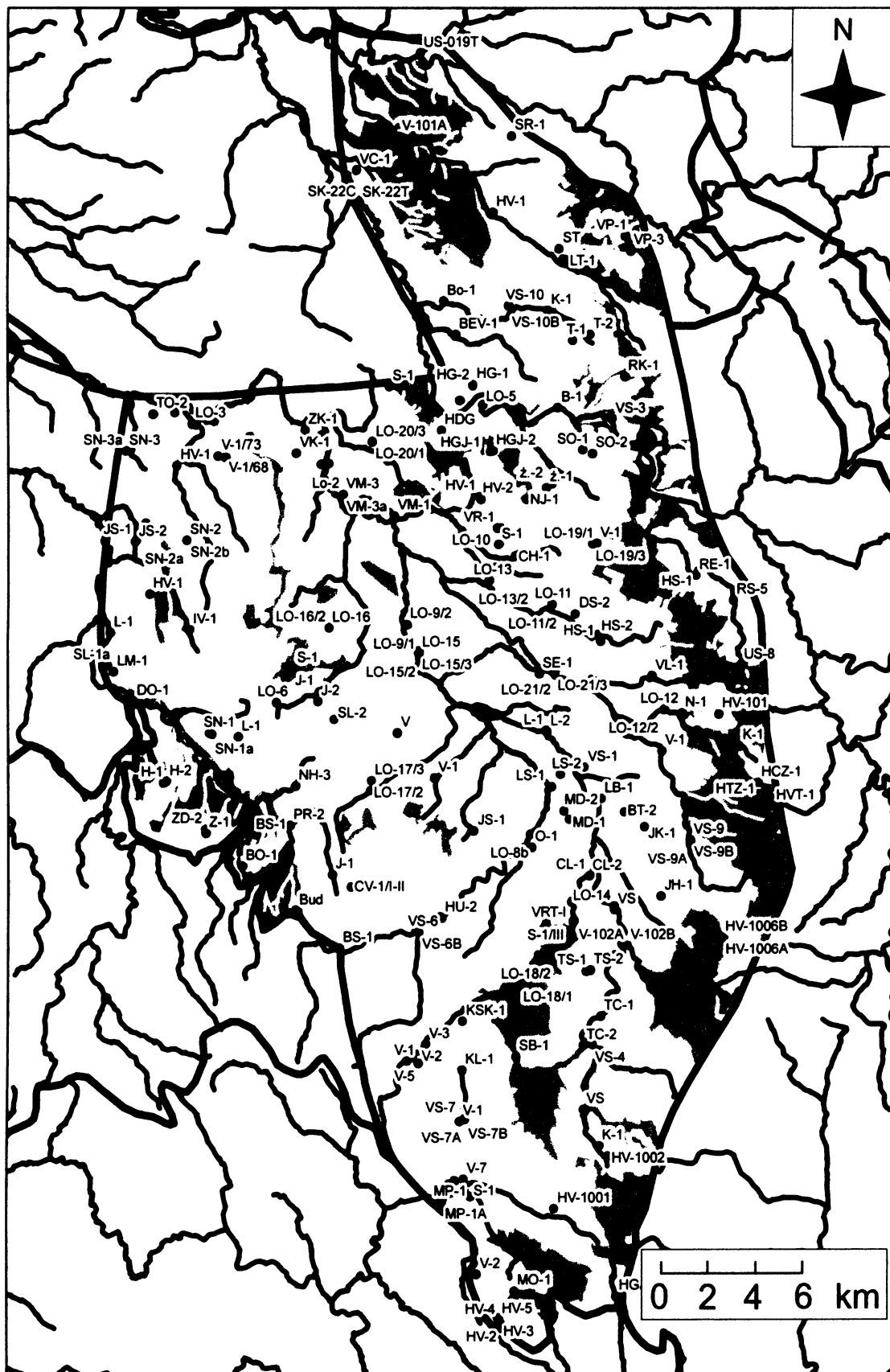
Příloha 2n: Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce



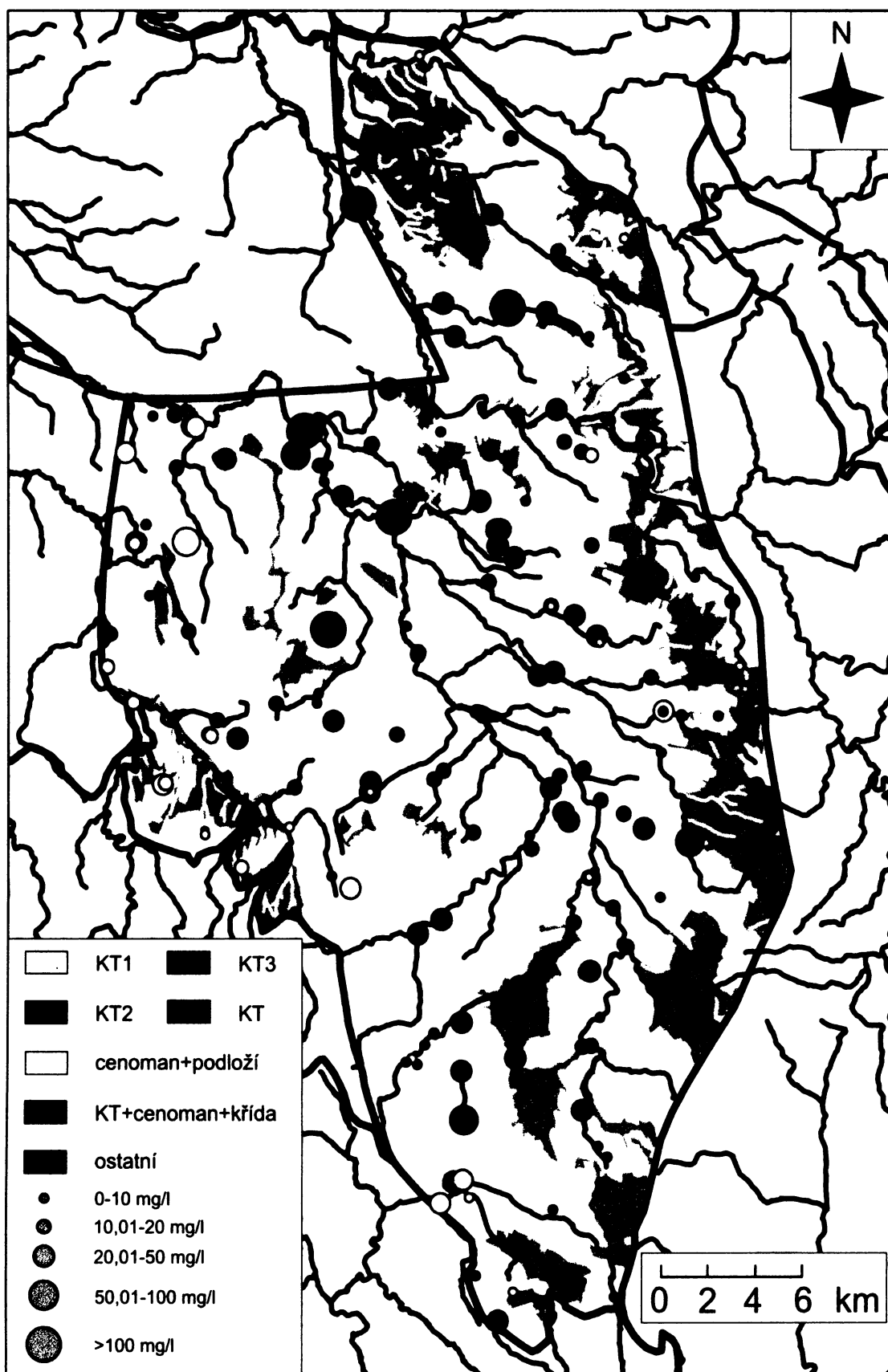
Příloha 2o: Závislost specifické vydatnosti na střední hloubce (0-15 l*s⁻¹*m⁻¹)



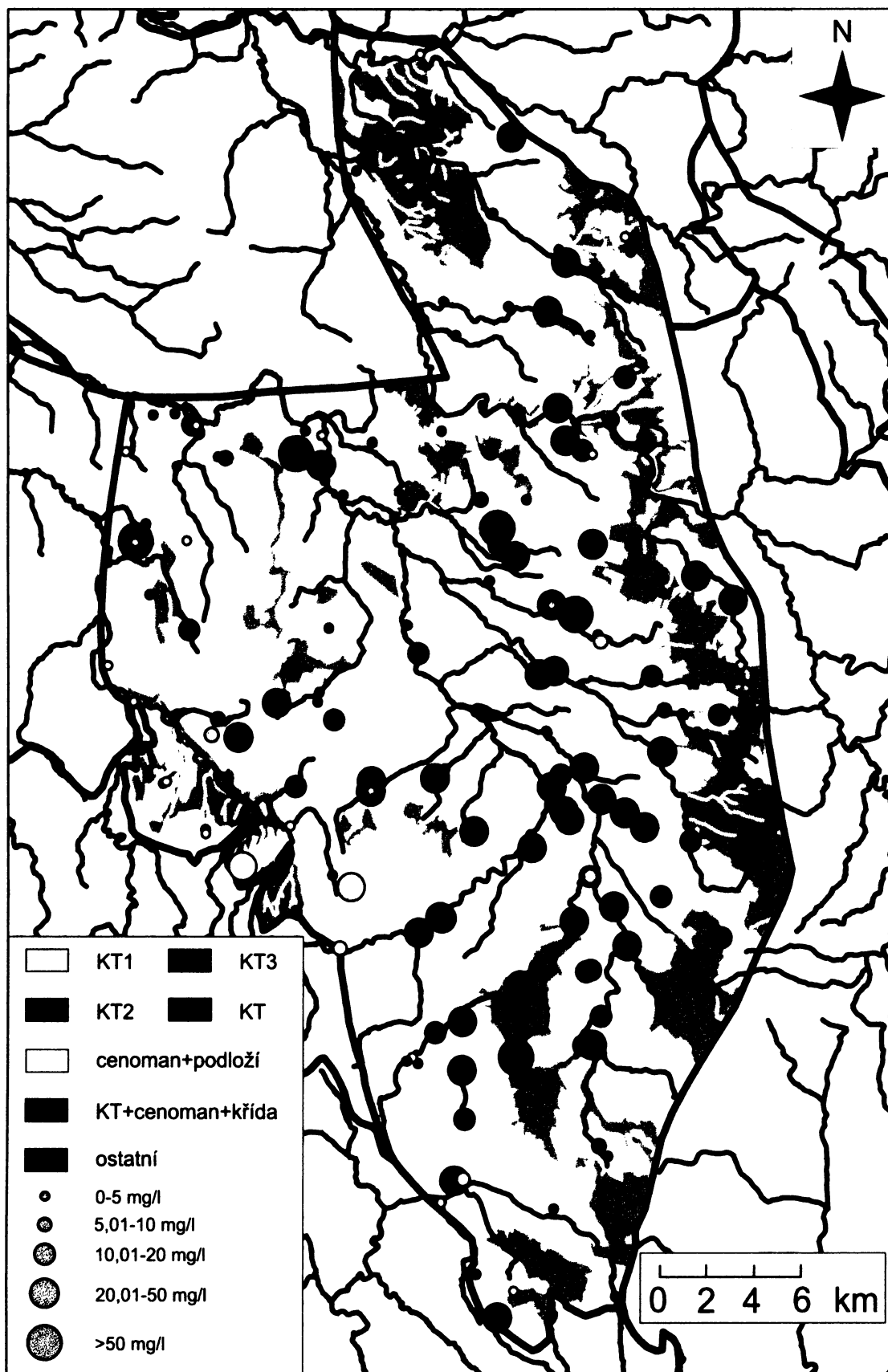
Příloha 3a: Původní označení vrtů ve Vysokomýtské synklinále



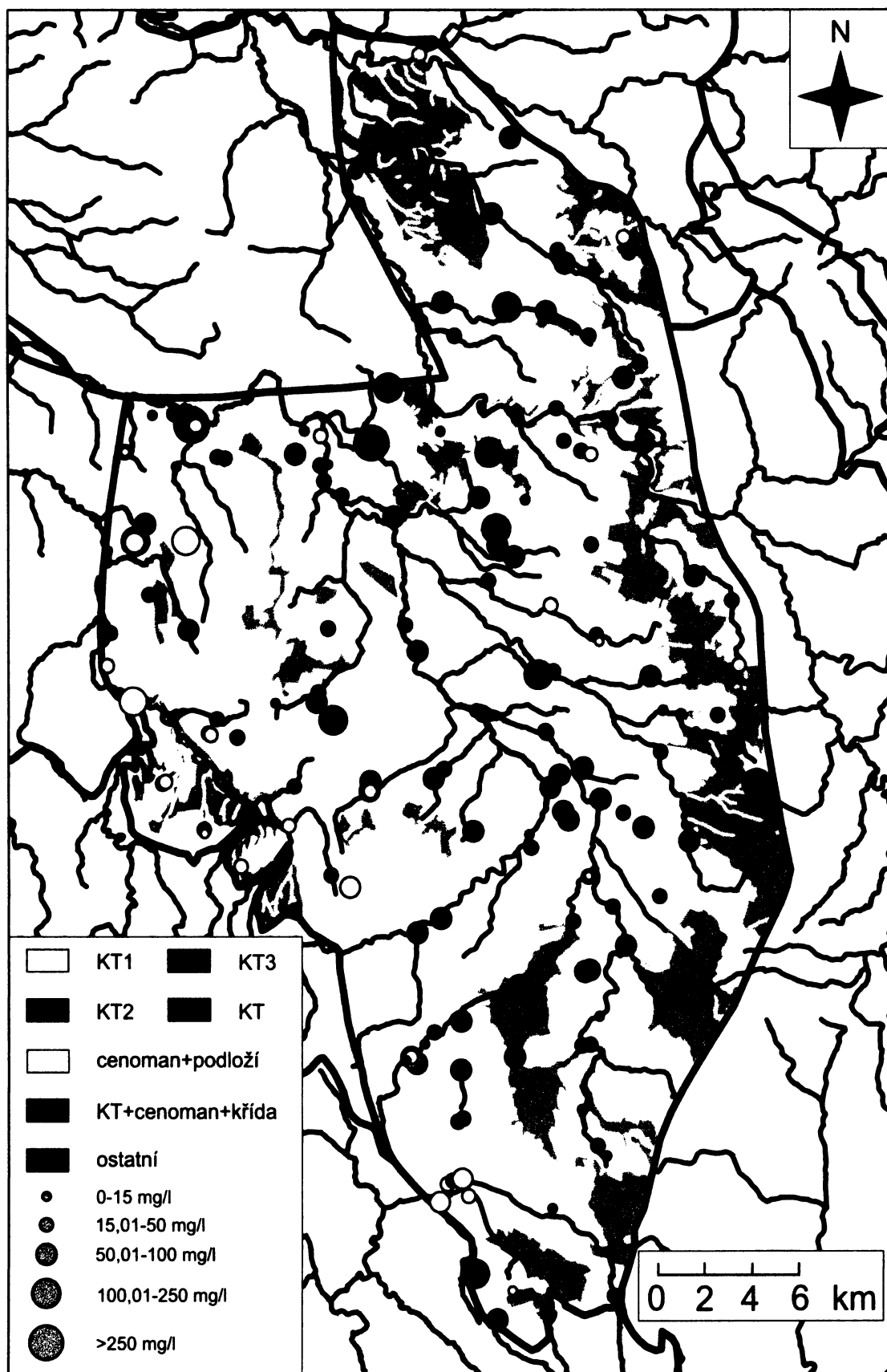
Příloha 3b: Plošná distribuce chloridů



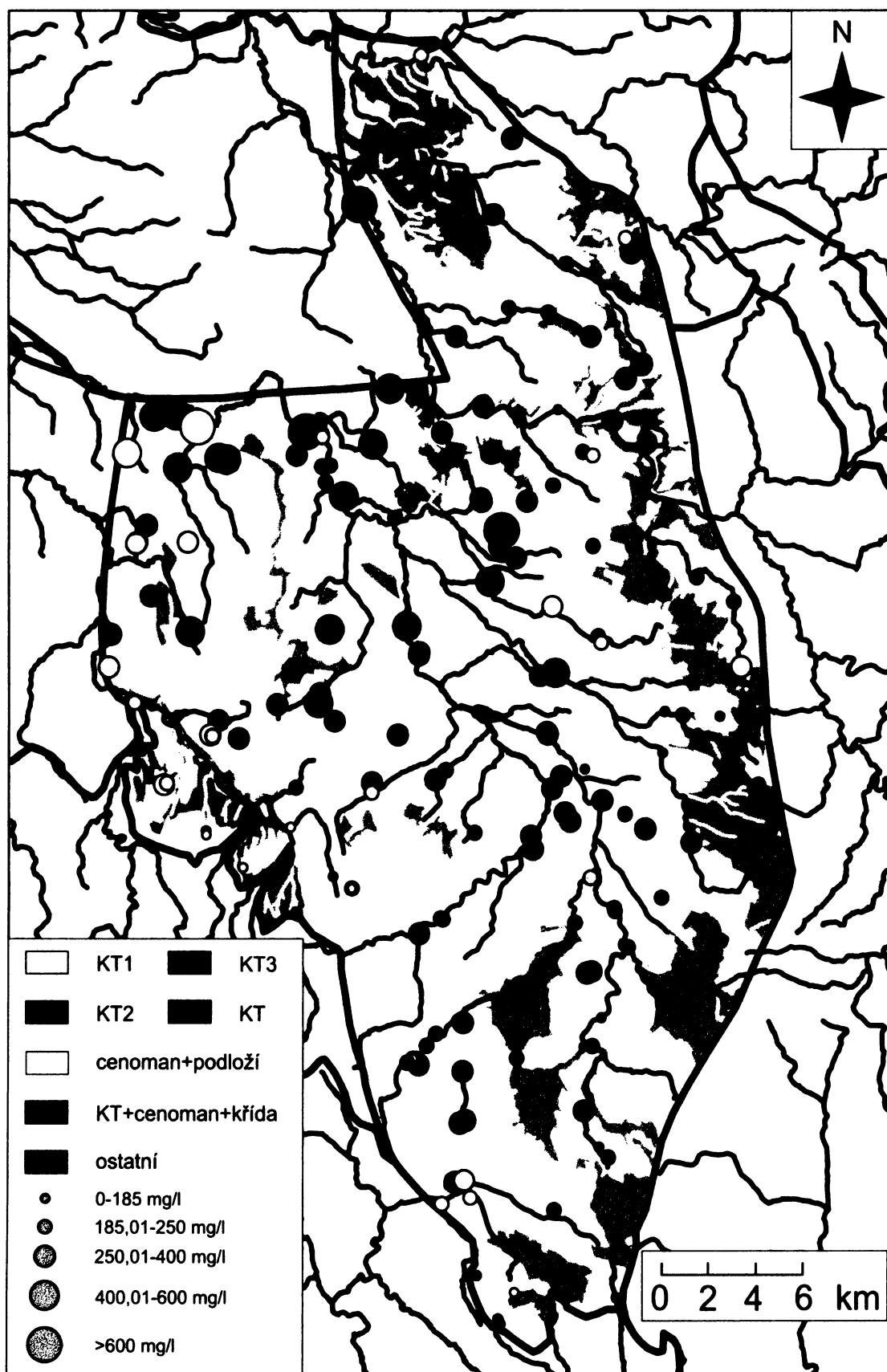
Příloha 3c: Plošná distribuce dusičnanů



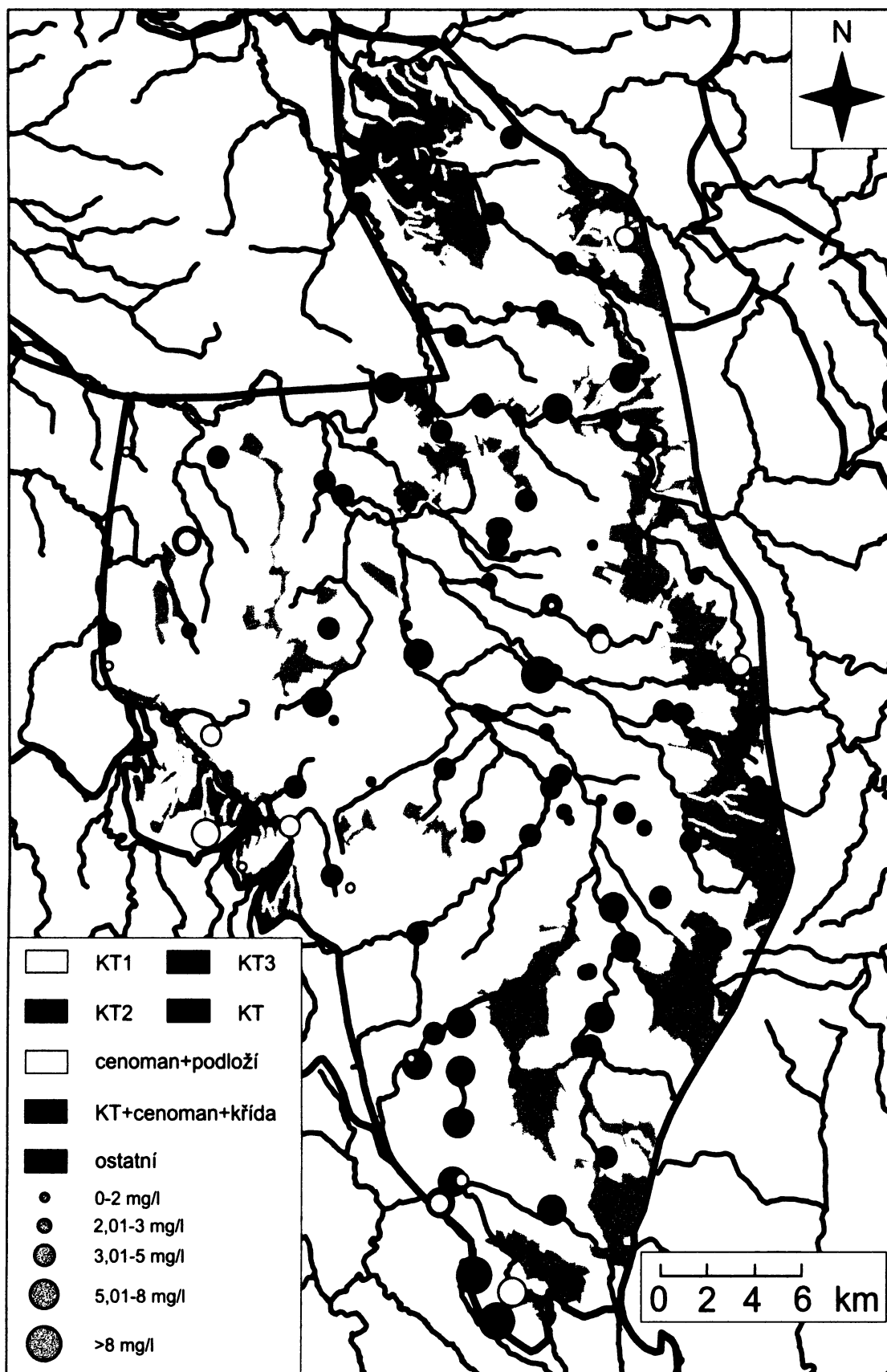
Příloha 3d: Plošná distribuce síranů



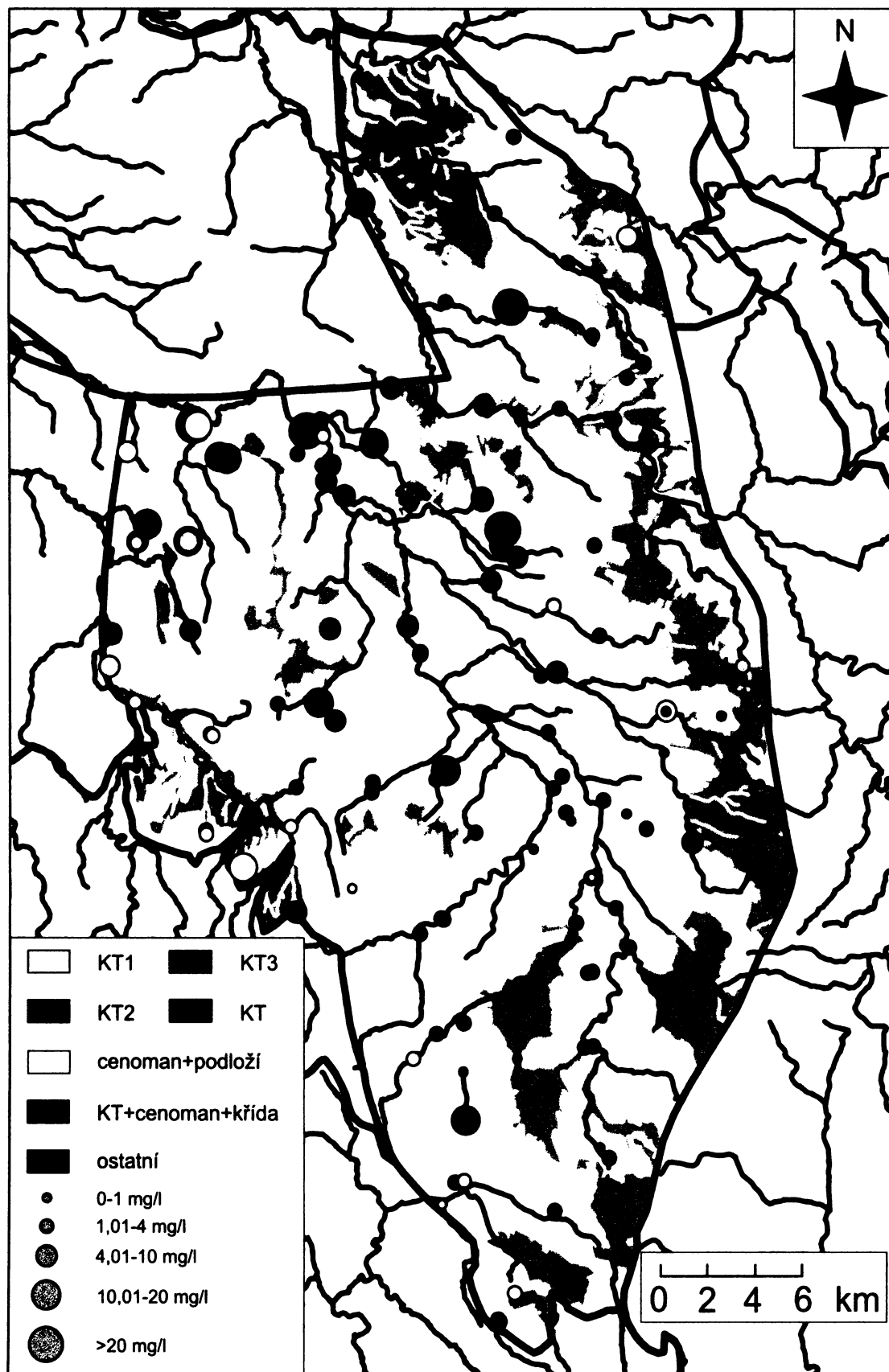
Příloha 3e: Plošná distribuce hydrogenuhličitanů



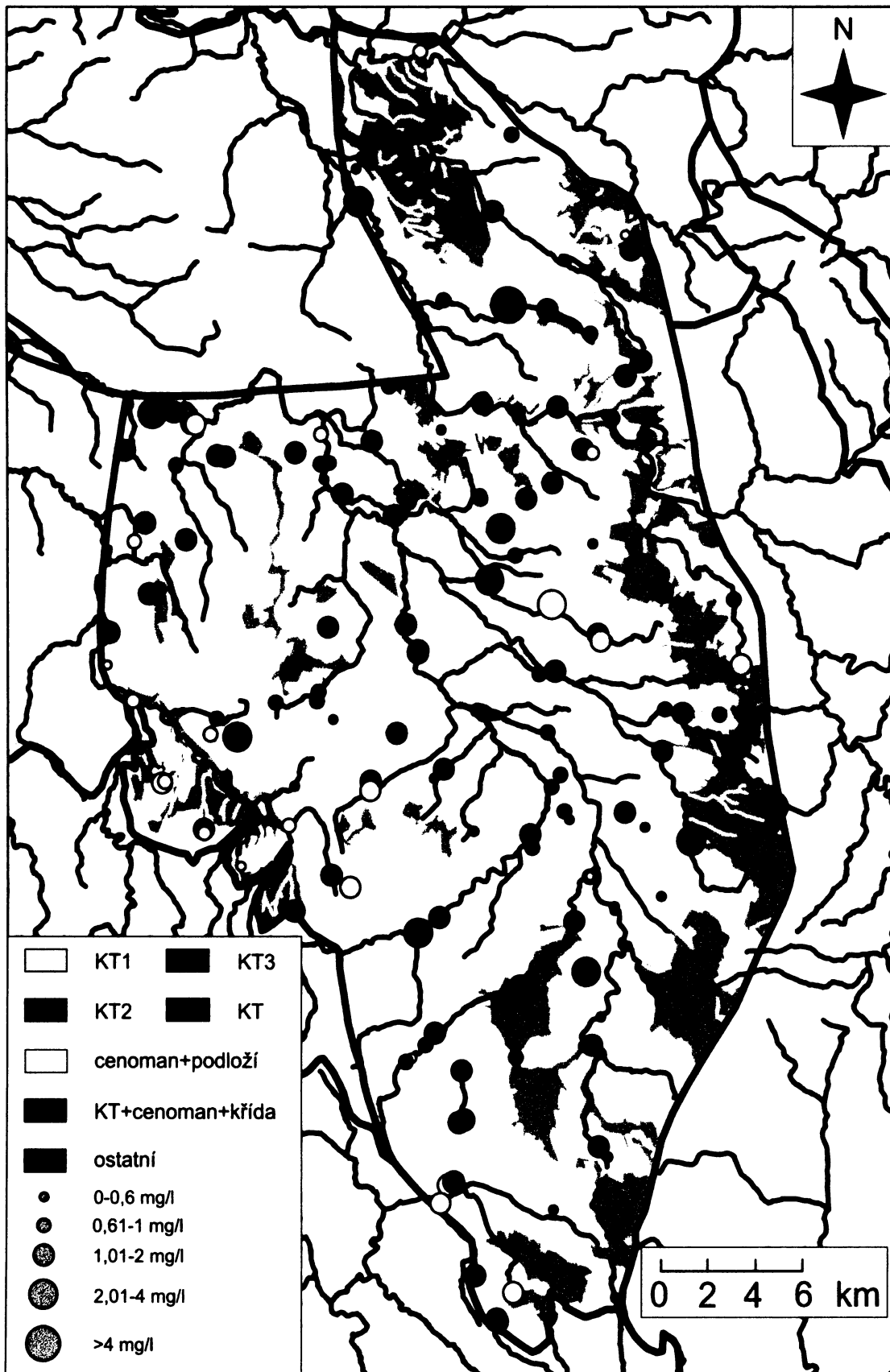
Příloha 3f: Plošná distribuce oxidu křemičitého



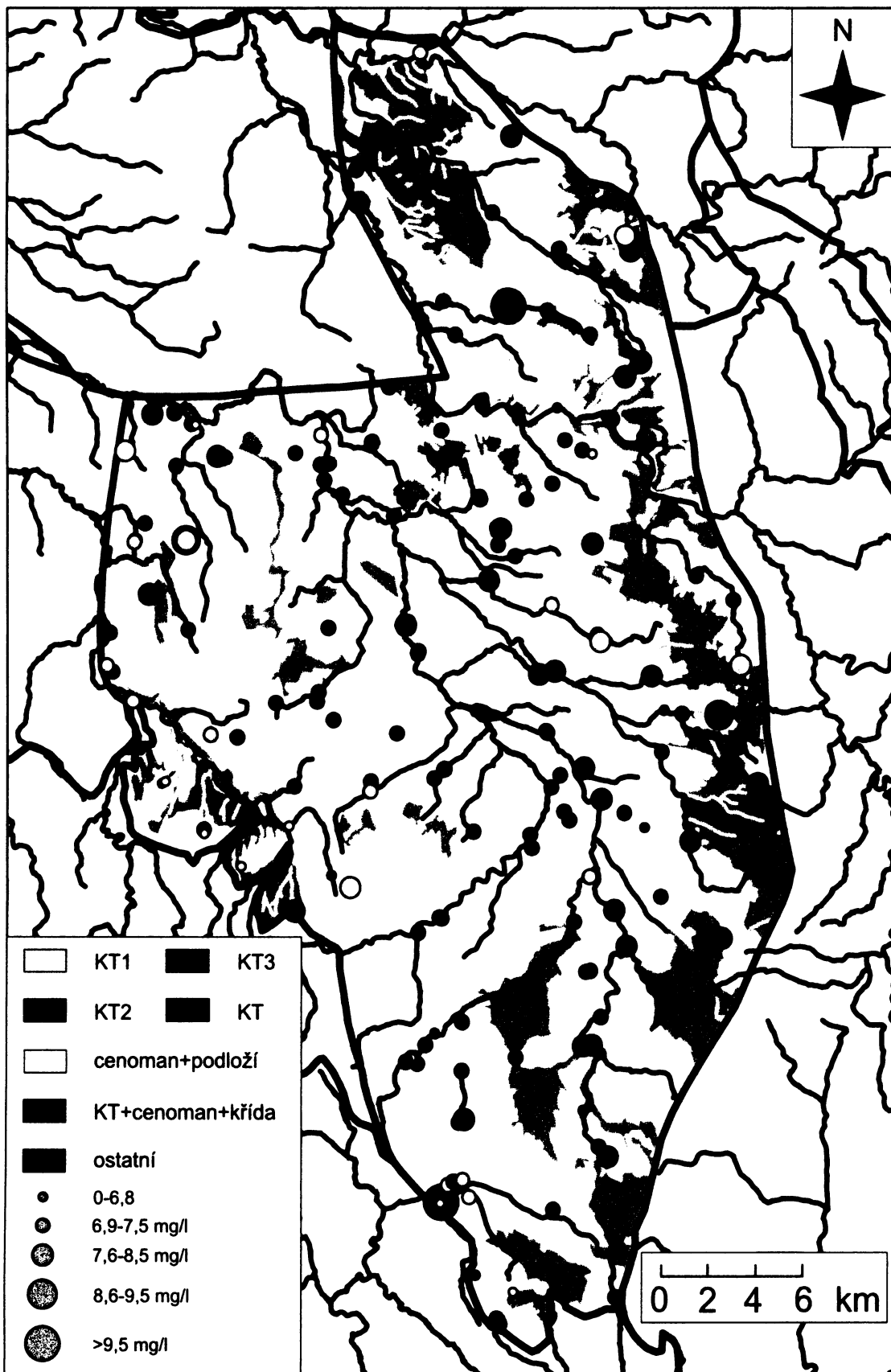
Příloha 3g: Plošná distribuce draslíku



Příloha 3h: Plošná distribuce chemické spotřeby kyslíku



Příloha 3i: Plošná distribuce pH



Příloha 3j: Plošná distribuce specifických vydatností

